



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i1.3715>

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

Use of recovered asphalt layers to improve the subgrade on roads with high traffic volumes

Utilização de camadas asfálticas recuperadas para melhorar o subleito em estradas com alto volume de tráfego

María Verónica Moreira-Rivadeneira ^I
veritomoreira_9@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3193-6880>

Eduardo Ortiz-Hernández ^{II}
eduardo.ortiz@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Correspondencia: veritomoreira_9@hotmail.com

***Recibido:** 30 de noviembre de 2023 ***Aceptado:** 24 de diciembre de 2023 * **Publicado:** 15 de enero de 2024

- I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Resumen

El material de Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP) se compone principalmente de elementos asfálticos retirados de infraestructuras existentes y, en menor cantidad, de mezclas desperdiciadas o rechazadas durante los procesos de producción de pavimentos. Una reutilización adecuada y consciente de estos compuestos desechados no renovables, puede garantizar la sostenibilidad de la construcción de pavimentos asfálticos y, a su vez, mejorar su calidad. Por este motivo, el objetivo principal de la presente investigación es utilizar elementos de carpetas asfálticas recuperadas para mejorar la capa subrasante en vías de altos volúmenes de tránsito. La metodología se basó en la reutilización de material recuperado de la Avenida Eloy Alfaro de la ciudad de Chone, Manabí, Ecuador, que posteriormente fue fraccionado para poder ser correctamente analizado en un laboratorio de suelos. Se identificaron seis combinaciones en general, que consistieron en la adición de RAP al 0%, 20%, 40%, 60%, 65% y 70% de la mezcla final, realizando los respectivos análisis a cada una de estas combinaciones experimentales. El CBR fue empleado como factor determinante de evaluación para la calidad de la mezcla final, considerando normativas internacionales relacionadas a la condición de la capa subrasante. Los resultados mostraron que la capa subrasante presentó mejorías en su calidad conforme se aumentaba la cantidad de RAP hasta llegar al 60% de la conformación de la mezcla. Valores superiores de adición generaron resultados negativos que estuvieron por debajo de la calidad de la muestra base (con 0% de RAP agregado). El análisis de Pearson mostró una correlación de -0.99, demostrando una gran compatibilidad en la adición del RAP con materiales vírgenes en la mezcla del pavimento final. La presente investigación puede ser replicada en otras vías del país con la finalidad de mejorar la calidad del pavimento y garantizar el uso sostenible de materiales de construcción en las vías del Ecuador.

Palabras Claves: Asfalto reciclado; Pavimento asfáltico recuperado; RAP; Mezcla en caliente; Manabí.

Abstract

Recovered Asphalt Pavement (RAP) material is mainly composed of asphalt elements removed from existing infrastructures and, to a lesser extent, of mixtures wasted or rejected during pavement production processes. An adequate and conscious reuse of these non-renewable discarded compounds can guarantee the sustainability of the construction of asphalt pavements and, in turn, improve their quality. For this reason, the main objective of this research is to use elements of recovered asphalt

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

layers to improve the subgrade layer on roads with high traffic volumes. The methodology was based on the reuse of material recovered from Eloy Alfaro Avenue in the city of Chone, Manabí, Ecuador, which was subsequently fractionated in order to be correctly analyzed in a soil laboratory. Six general combinations were identified, which consisted of the addition of RAP at 0%, 20%, 40%, 60%, 65% and 70% of the final mixture, performing the respective analyzes on each of these experimental combinations. The CBR was used as a determining evaluation factor for the quality of the final mix, considering international regulations related to the condition of the subgrade layer. The results showed that the subgrade layer presented improvements in quality as the amount of RAP increased until it reached 60% of the mixture composition. Higher addition values generated negative results that were below the quality of the base sample (with 0% RAP added). The Pearson analysis showed a correlation of -0.99, demonstrating great compatibility in the addition of RAP with virgin materials in the final pavement mix. This research can be replicated on other roads in the country with the purpose of improving the quality of the pavement and guaranteeing the sustainable use of construction materials on the roads of Ecuador.

Keywords: Recycled asphalt; Recovered asphalt pavement; RAP; Hot mix; Manabi.

Resumo

Recovered Asphalt Pavement (RAP) material is mainly composed of asphalt elements removed from existing infrastructures and, to a lesser extent, of mixtures wasted or rejected during pavement production processes. An adequate and conscious reuse of these non-renewable discarded compounds can guarantee the sustainability of the construction of asphalt pavements and, in turn, improve their quality. For this reason, the main objective of this research is to use elements of recovered asphalt layers to improve the subgrade layer on roads with high traffic volumes. The methodology was based on the reuse of material recovered from Eloy Alfaro Avenue in the city of Chone, Manabí, Ecuador, which was subsequently fractionated in order to be correctly analyzed in a soil laboratory. Six general combinations were identified, which consisted of the addition of RAP at 0%, 20%, 40%, 60%, 65% and 70% of the final mixture, performing the respective analyzes on each of these experimental combinations. The CBR was used as a determining evaluation factor for the quality of the final mix, considering international regulations related to the condition of the subgrade layer. The results showed that the subgrade layer presented improvements in quality as the amount of RAP increased until it reached 60% of the mixture composition. Higher addition values generated negative results

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

that were below the quality of the base sample (with 0% RAP added). The Pearson analysis showed a correlation of -0.99, demonstrating great compatibility in the addition of RAP with virgin materials in the final pavement mix. This research can be replicated on other roads in the country with the purpose of improving the quality of the pavement and guaranteeing the sustainable use of construction materials on the roads of Ecuador.

Palavras-chave: Asfalto reciclado; Pavimento asfáltico recuperado; RAP; Mistura quente; Manabi.

Introducción

El mayor porcentaje de desplazamientos en América del Sur se realiza por carretera (Gutiérrez et al., 2020; Loor et al., 2021). Para asegurar condiciones óptimas de circulación, incluyendo seguridad y comodidad, se requiere de inversiones elevadas para la construcción, mantenimiento y recuperación de las vías (Macías et al., 2021). Estos elevados costos se atribuyen a que, principalmente, los materiales empleados para la construcción de carreteras son agregados pétreos obtenidos por explotación minera (Castillo et al., 2020; Clavijo et al., 2022).

En la actualidad, los materiales provenientes de actividades de fresado o demolición de superficies asfálticas son depositados directamente en vertederos, sin recibir un tratamiento adecuado que pueda contrarrestar las partículas contaminantes residuales, lo que provoca consecuencias ecológicas catastróficas y, en particular, amenazas severas para la salud humana (contaminación del suelo, incendios, plagas, entre otros; Hoyos et al., 2021).

Por este motivo, se han ido consolidando metodologías que reutilicen los residuos de pavimentos a nivel mundial, como la correspondiente al pavimento asfáltico recuperado (reclaimed asphalt pavement, RAP; Cheng et al., 2018; Wang et al., 2020). El RAP ha generado un interés creciente en el uso de pavimentos recuperados debido a sus beneficios económicos, medioambientales y de rendimiento (Farooq & Mir, 2017). Por esto, es importante comprender las propiedades aglutinantes del RAP y su impacto en el desempeño del pavimento a corto y largo plazo (Wang et al., 2022).

Cuando el RAP (considerado un material envejecido) es mezclado con materiales nuevo, puede provocar que el agregado recubierto con aglutinantes antiguos no se mezcle correctamente en la mistura total (Al-Qadi et al., 2007; Huang et al., 2005). Esto puede provocar 3 suposiciones (Roja et al., 2021): 1) RAP es una roca negra (0% de aglutinante activo); 2) 100% de aglutinante activo en el RAP (el aglutinante virgen se puede reducir a la cantidad total de aglutinante RAP); 3) Sólo un porcentaje del aglutinante RAP está activo en la mezcla total. Varias investigaciones (Huang et al.,

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

2005; Shirodkar et al., 2011; Stroup-Gardiner, 2016) concluyeron que el aglutinante del RAP no está completamente activo en la mezcla por lo que solo se puede asumir que entre el 60% y 70% de RAP será efectivo en una mezcla asfáltica final.

Debido a que el RAP envejece durante el tiempo de servicio del pavimento, su adición a materiales asfálticos nuevos puede aumentar la rigidez total de la mezcla asfáltica (Roja et al., 2021). Este aumento de rigidez mejora la resistencia al ahuecamiento; sin embargo, puede afectar la resistencia a la fatiga (Al-Qadi et al., 2007). El Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (National Cooperative Highway Research Program, NCHRP) ha recomendado aumentar el contenido de RAP en todas las mezclas asfálticas recicladas. El 72% de los estados de EE. UU recomiendan un contenido de RAP del 10% al 50% (Shu et al., 2008). Así mismo, algunas investigaciones demostraron que la adición de RAP superior al 55% generó efectos adversos sobre el comportamiento de fatiga de la mezcla asfáltica (Al-Qadi et al., 2007; West et al., 2013).

Sin embargo, la trabajabilidad del RAP es distinta considerando las condiciones ambientales del medio analizado (Roja et al., 2021). Por este motivo, el objetivo principal de la presente investigación es reutilizar carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico en un porcentaje óptimo. Esto permitirá enfocarse hacia la sostenibilidad ambiental y económica, por la sustitución de materiales asfálticos que representan un ahorro en la cantidad de ligante de asfalto y los agregados nuevos requeridos para la elaboración de la mezcla.

Metodología

El RAP fue obtenido de la Avenida Eloy Alfaro en la ciudad de Chone, Ecuador (Fig. 1).

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

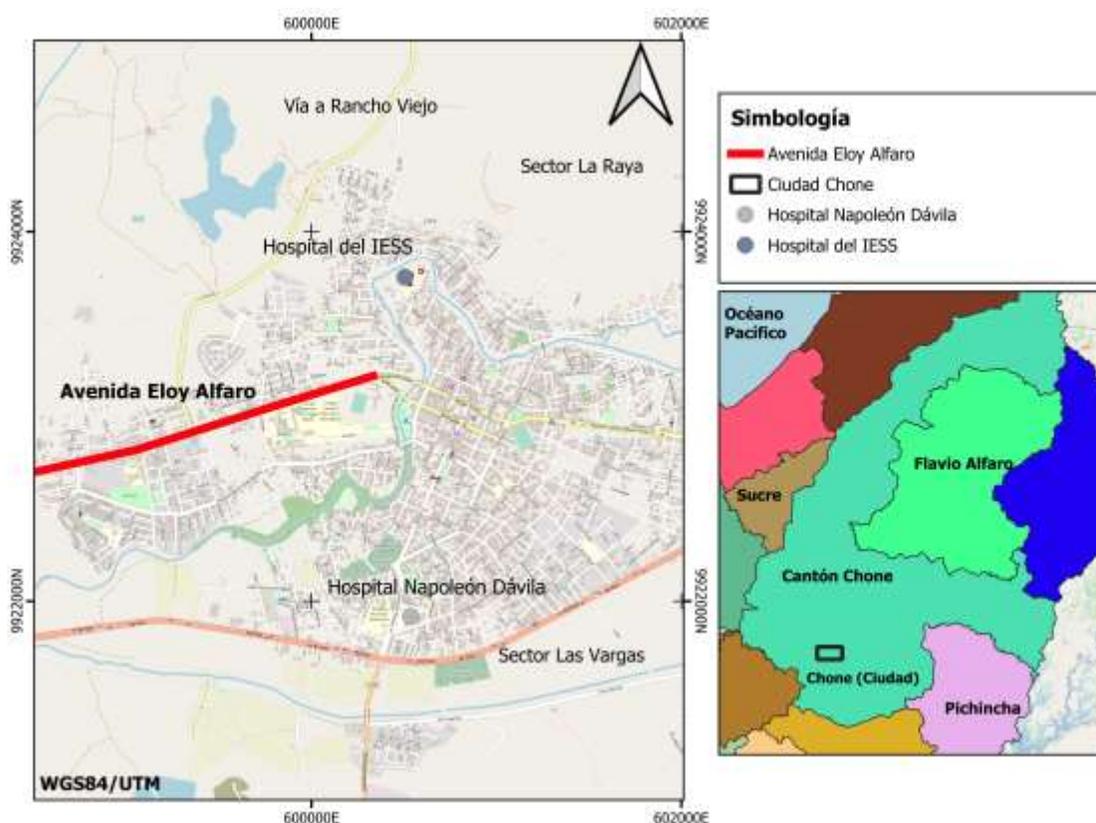


Fig. 1. Ubicación de la Avenida Eloy Alfaro, Chone, Ecuador

La capa asfáltica recuperada pertenece a una vía repavimentada de 15-20 cm de material asfáltico dentro de una zona urbana. Este tipo de vía es la más común en Manabí (Demera et al., 2020; Zambrano et al., 2020). En base a la información existente, se determinó que la temperatura de mezclado fueron entre 130 a 135 °C debido a que la viscosidad del material fue de 0.15 +/- 0.02 Pa.s mientras que la temperatura de compactación fue de 112.5 a 118.5 °C.

Este material de RAP fue suministrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chone, Manabí, Ecuador. Para cumplir con los límites de gradación, el RAP fue fraccionado en el Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Ángel B. Luzón” de la ciudad de Portoviejo, Manabí, pasando el tamiz de 12.5 mm (Fig. 2). Para el diseño de la mezcla se consideró el tamaño del tamiz y el aglutinante del RAP se extrajo mediante centrifugación y se recuperó con un evaporador rotatorio (según ASTM D 7906, 2014).

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico



Fig. 2. Selección de material RAP en laboratorio de suelos

Para el diseño de las combinaciones, se produjeron cuatro mezclas asfálticas que consideraron las siguientes condiciones: 1) mezcla con 0% de RAP; 2) mezcla con 20% de RAP; 3) mezcla con 40% de RAP y; 4) mezcla con 60% de RAP. Se consideró una metodología que busque identificar el contenido de asfalto adecuado de tal manera que la mezcla alcance un 95% de la densidad teórica máxima de esponjamiento del pavimento. Los materiales nuevos (vírgenes) y el material recuperado (RAP) se mezclaron a una temperatura de 153°C por un tiempo de 5 minutos.

Como indicador de calidad, se consideró emplear el Californian Bearing Ratio (CBR) para evaluar la capacidad portante de las nuevas combinaciones, mediante la utilización de moldes normalizados para posteriormente sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento estándar sobre la muestra analizada (Fig. 3). Se utilizó la normativa ASTM 1883 y UNE 103502. Es importante mencionar que, dentro de las normativas ecuatorianas, no se establece un porcentaje mínimo de CBR para clasificar la calidad de la capa subrasante, al igual que con las condiciones del tráfico. Por este motivo, se analizaron normativas internacionales que permitan categorizar los resultados obtenidos. El libro de Ingeniería de Pavimentos para Carreteras (Montejo, 1998) establece una clasificación de subrasantes en base a la sensibilidad del diseño a la resistencia del suelo, considerando que un CBR menor al 2% requerirá un tratamiento especial de adecuación (Tabla 1).

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico



Fig. 3. Análisis de CBR y medida de punzonamiento estándar sobre muestras identificadas

Tabla 1. Clasificación de los suelos de subrasantes (adaptado de Montejo, 1998)

Clasificación de la subrasante	CBR en %
S1	2
S2	3-5
S3	6-10
S4	11-20
S5	>20

Se consideró además el Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Perú, la cual también está representada por el CBR en 5 categorías (Tabla 2):

Tabla 2. Clasificación de los suelos de subrasantes (adaptado Perú, 2008)

Clasificación	CBR diseño
S0: Subrasante muy pobre	<3%
S1: Subrasante pobre	3%-5%
S2: Subrasante regular	5-10%
S3: Subrasante buena	10-20%
S4: Subrasante muy buena	>20%

Una vez observadas las diferencias entre las clasificaciones abordadas, se procedió a escoger la mostrada en la Tabla 2, debido a que presenta además una descripción cualitativa de la clase a obtener. Esto permitirá identificar la cantidad de RAP adecuada para agregar a la mezcla asfáltica.

Resultados y discusión

Combinación inicial (0% de RAP)

La presente sección considera la no adición de RAP a la mezcla de diseño. Mediante este análisis, se determinó que el porcentaje de humedad natural fue del 54.55%, un valor de límite líquido de 48.21%, índice plástico de 18.60, un índice de grupo de 13.1 y una clasificación A-7-6 según AASTHO y SUCS “ML”. Esto determina que el suelo es considerado de tipo Fino debido a que más del 35% del material pasa por el tamiz N°200.

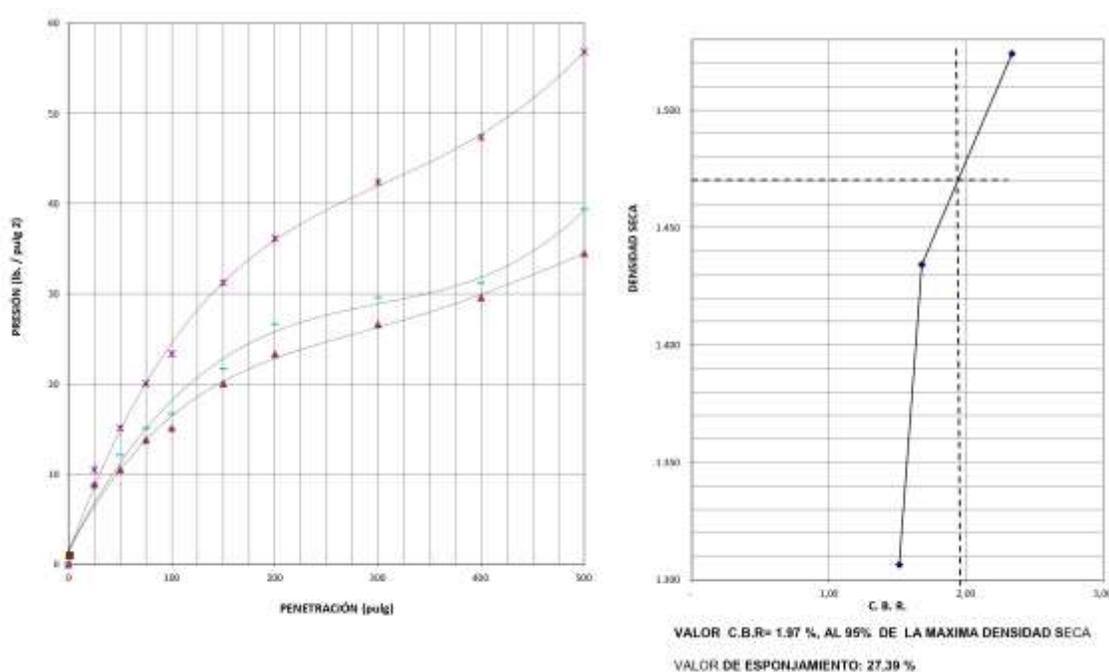


Fig. 4. Resultados de penetración y CBR para una adición de RAP del 0%

Mediante la Fig. 4 izquierda se pueden observar los resultados de las penetraciones en los distintos niveles de análisis mediante la presión introducida. Se puede observar que existe una diferencia considerable entre las presiones de las curvas pertenecientes a los moldes 2 y 3. La Fig. 4 derecha muestra los resultados de C.B.R. considerando un parámetro cruzado con la Densidad seca. Para esta combinación se determinó un valor de CBR de 1.97%. Esto lo cataloga como una capa subrasante muy pobre (>3% según Perú, 2008).

Segunda combinación (20% de RAP)

En esta sección se registraron cambios tomando en cuenta los resultados generados por la no adición de RAP. Aquí, el 20% del compuesto estuvo conformado por RAP, mientras que el 80% restante

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

correspondía a material virgen de subrasante. Con esta combinación, el porcentaje de humedad natural fue del 7.47%, un valor de límite líquido de 43.35%, índice plástico de 18.02, un índice de grupo de 9.9 y una clasificación A-7-6 según AASTHO y SUCS “CL”.

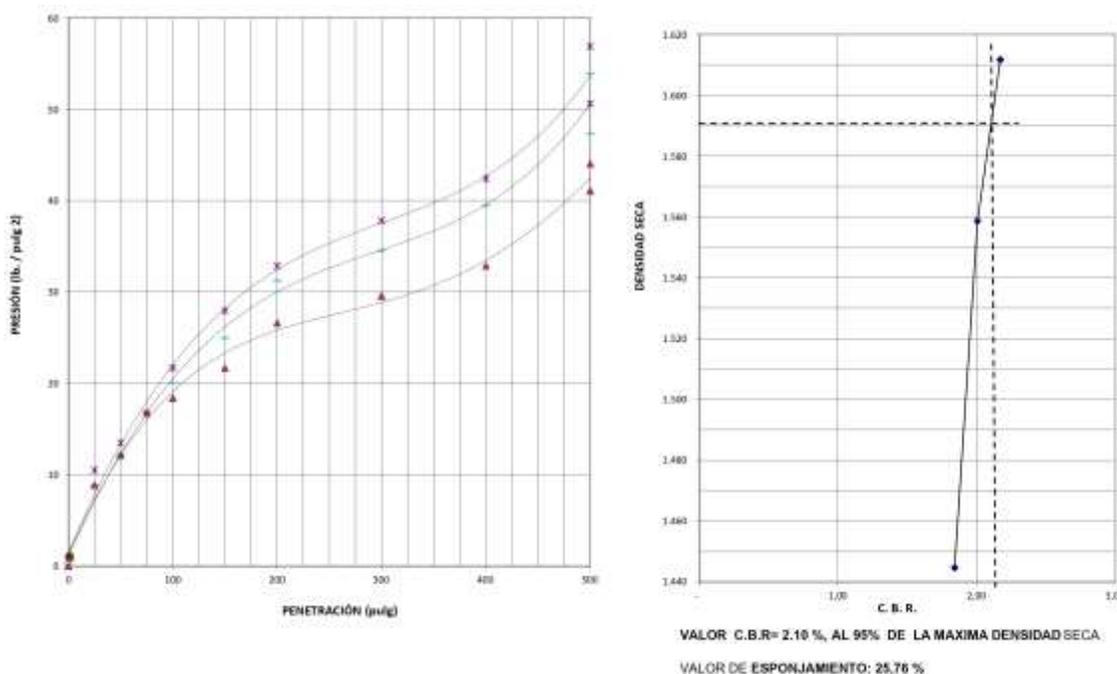


Fig. 5. Resultados de penetración y CBR para una adición de RAP del 20%

La Fig. 5 izquierda muestra que los valores de penetración y sus presiones están más próximos entre las curvas de los moldes analizados, las cuales se generan en relación a una mayor energía de sometimiento. Aquí que se puede observar que existe una mejor correlación entre las curvas analizadas con relación a la adición de 0% de RAP. La Fig. 5 derecha determina que el valor de CBR en este punto de análisis es de 2.10%, lo que lo clasifica como una subrasante muy pobre (similar a la combinación inicial). Pese a esto, se observan pequeñas mejorías que indicarían que la adición de 20% de RAP mejora ligeramente las condiciones de la mezcla natural.

Tercera combinación (40% de RAP)

Los resultados de esta nueva mezcla, considerando un 40% de RAP y 60% de material virgen, determinaron que el porcentaje de humedad natural fue del 7.16%, un valor de límite líquido de 48.09%, índice plástico de 17.98, un índice de grupo de 3.7 y una clasificación A-7-6 según AASTHO y SUCS “SC”.

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

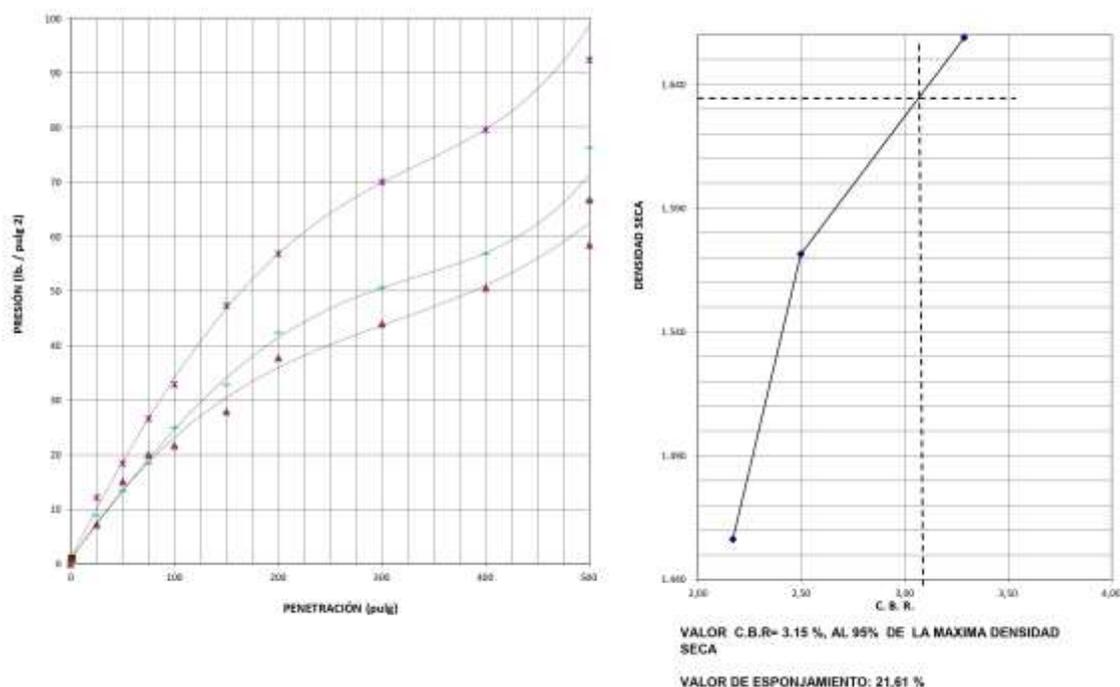


Fig. 6. Resultados de penetración y CBR para una adición de RAP del 40%

En esta ocasión, la Fig. 6 izquierda muestra que los valores de penetración obtenidos con la adición de una energía superior, tienen una mayor distancia con las demás variables analizadas, lo que reduce la correlación entre las muestras evaluadas. En cuanto a la Fig. 6 derecha, que determina el valor de CBR en este punto de análisis, registró un valor del 3.15% lo que lo clasifica como una subrasante pobre. De manera cualitativa, se puede observar que la adición de un 40% de RAP permitió pasar de una categoría “muy pobre” a “pobre” lo que demuestra una mejoría en la mezcla propuesta. Pese a esto, los cambios siguen siendo relativamente bajos en relación a la cantidad de RAP agregada.

Cuarta combinación (60% de RAP)

Una vez agregado 60% de RAP y tan solo 40% de material virgen, se observó que el porcentaje de humedad natural fue del 5.81%, un valor de límite líquido de 39.94%, índice plástico de 15.42, un índice de grupo de 0.5 y una clasificación A-2-6 según AASTHO y SUCS “SC”.

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

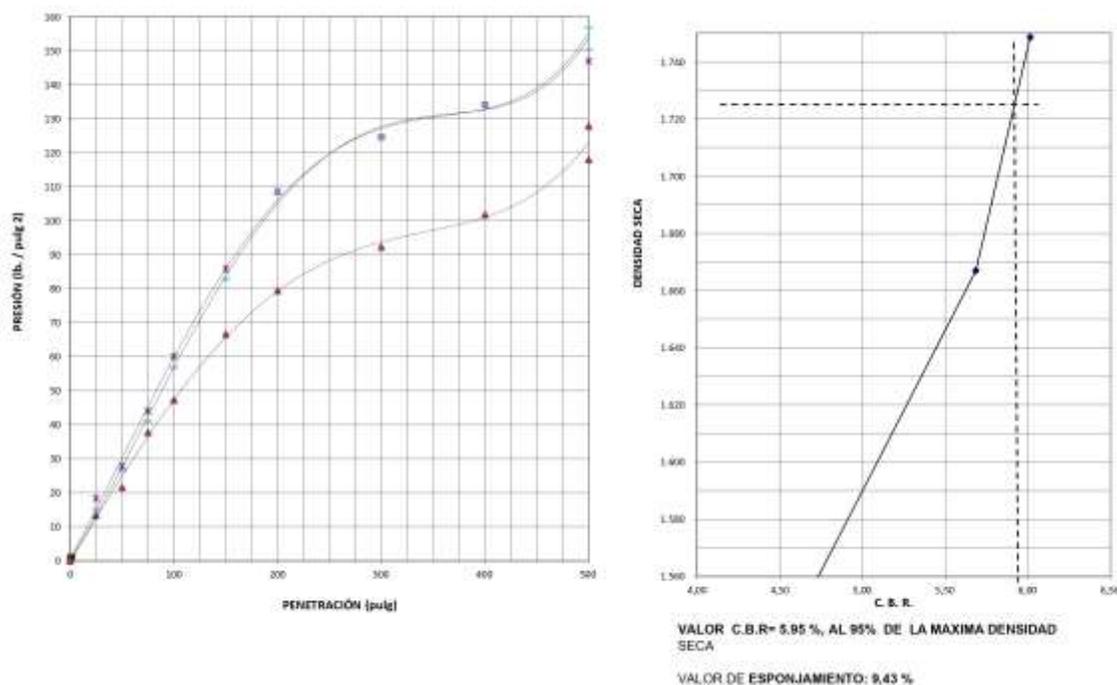


Fig. 7. Resultados de penetración y CBR para una adición de RAP del 60%

La Fig. 7 izquierda muestra que dos variables analizadas tienen una excelente correlación y que fueron obtenidas con la mayor adición de energía (mayor número de golpes), mientras que la tercera presenta una distancia considerable producto de la combinación de materiales. En cuanto a la Fig. 7 derecha, el CBR obtenido fue de 5.95%, considerada regular. Mediante esta combinación se obtuvieron los mejores resultados de la calidad de subrasante, lo que demuestra la importancia del agregado de RAP no solo en la calidad de la capa del pavimento, sino también en el impacto positivo que la reutilización de un material “inservible” puede generar al ambiente.

Punto de inflexión

Como se ha podido observar en los 4 casos analizados, la adición de RAP a la mezcla del pavimento ha generado una mejora sostenida en la calidad del nuevo producto. Sin embargo, investigaciones previas han demostrado que valores altos de RAP pueden ser perjudiciales (Al-Qadi et al., 2007; West et al., 2013), por lo que es necesario identificar el punto de inflexión en los resultados.

Sin embargo, debido a la poca cantidad de material recibida, solo se pudieron realizar dos combinaciones más para determinar los valores de CBR, escogiéndose los valores de 65% y 70%, respectivamente.

Para el caso del 70%, el valor del CBR bajó a 1.86%, incluso por debajo de la combinación natural considerando únicamente elementos vírgenes. Esto significa que valores superiores al 70% están

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

generando efectos adversos en la mezcla modificada y no son recomendables para la construcción y diseño de pavimentos.

Por este motivo, se consideró importante analizar un punto intermedio (65%) el cual arrojó un valor de CBR del 1.95%, ligeramente por debajo de la mezcla normal sin considerar adición de RAP. Esto demuestra que, en general, el valor recomendable de adición de RAP para la zona analizada tendrá que ser del 60% (Fig. 8). Pese a esto, es importante mencionar que es probable que entre el 60% y 64% de adición de RAP se sigan registrando mejoras en la mezcla final, pero la falta de material de análisis no permitió realizar estas nuevas simulaciones. Se recomienda realizar un análisis más exhaustivo en los puntos fronterizos para identificar el punto de quiebre exacto entre la frontera de los efectos positivos y negativos en la adición del RAP.

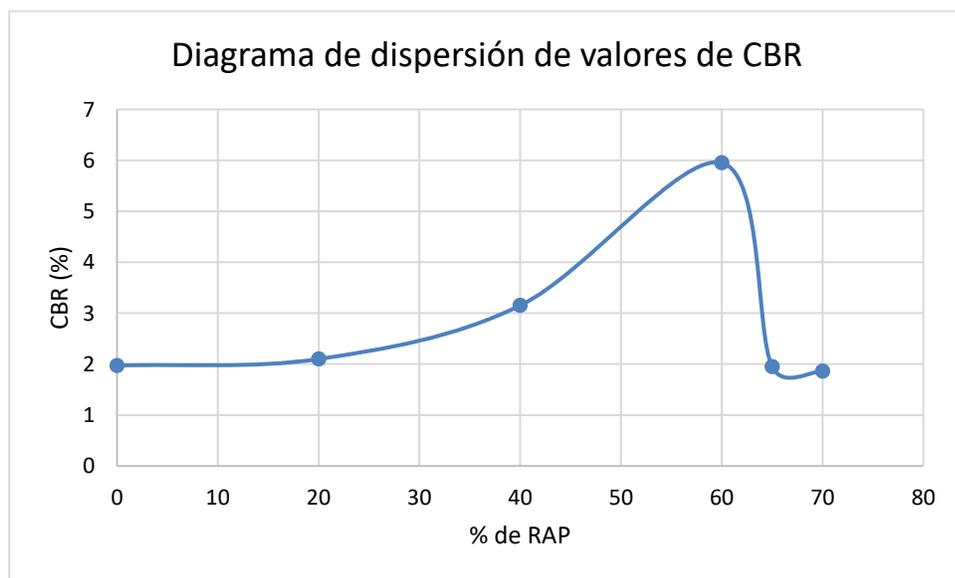


Fig. 8. Identificación del punto de inflexión en la adición de RAP al material granular existente que es parte de la subrasante

Para identificar una relación estadística más fiable entre las variables “Esponjamiento” y “CBR”, se aplicó el coeficiente de Correlación “R” de Pearson. Este resultado generó un valor de -0.99, lo que demuestra una correlación casi perfecta entre las variables, con la particularidad de que los valores de una variable suben mientras la otra baja. Cabe recalcar que los valores de R pueden oscilar entre 1 y -1, siendo estos valores extremos considerados como correlaciones perfectas, tanto positivas (+1, las variables aumentan en conjunto) y negativas (-1, una variable aumenta y la otra disminuye proporcionalmente). El resultado de -0.99 demuestra que la adición de RAP no genera una

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

modificación desventajosa a la mezcla final y, al contrario, es compatible con el proceso de diseño y construcción.

Estructura de la mezcla con RAP

Se debe considerar que el RAP, al ser un aglutinante asfáltico envejecido, no puede mezclarse completamente con los agregados vírgenes o con algún agente rejuvenecedor (que son aditivos que también suelen usarse en mezclas de pavimentos, Zambrano et al., 2021), por lo que en ocasiones queda recubierto por el material nuevo. Debido al proceso de envejecimiento prolongado, esta nueva capa es mucho más rígida que el aglutinante virgen. Por tanto, se crea un sistema compuesto de capas en la mezcla del RAP con materiales vírgenes (Fig. 9). Una estructura compuesta mediante este procedimiento indicado, resulta favorable para reducir la concentración de tensiones y potencialmente mejoraría el rendimiento de las mezclas asfálticas (Huang et al., 2005).

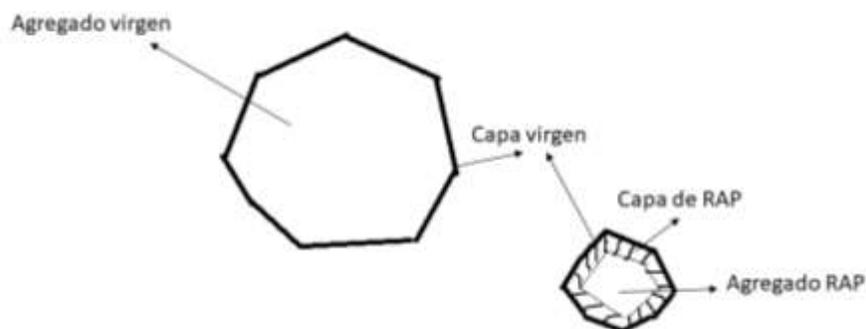


Fig. 9. Posibles formaciones de capas en mezclas con RAP

Conclusiones

La presente investigación analizó la influencia del RAP en la generación de una mezcla de materiales pétreos, realizando seis combinaciones en total para poder determinar el punto de inflexión en la calidad del producto final, destacando posibles limitaciones y restricciones relacionadas con la introducción de cantidades elevadas de RAP. Pese a no tener una normativa específica en Ecuador, los resultados de las mezclas fueron evaluados mediante consideraciones internacionales, tomando en cuenta el valor del CBR. Esto refleja la poca importancia que se le da al reciclado de este tipo de materiales en el país. En cuanto a los resultados, las combinaciones realizadas registraron cambios en su comportamiento final, producto de una mayor variabilidad intrínseca de la materia prima empleada en cada muestreo y las restricciones generadas por la falta de material RAP para realizar un mayor número de análisis. Esta falta de protocolos para la caracterización adecuada de los componentes del RAP en Ecuador y de un diseño de mezcla debidamente aprobado mediante normativas nacionales,

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

no fomentan una utilización mayor de este tipo de material reciclado en las vías estatales. Las combinaciones con agregados vírgenes y betún envejecido (haciendo referencia al RAP) mostraron que las propiedades de la capa antigua (RAP) se ve afectada por múltiples variables que están fuertemente relacionadas con el envejecimiento de este material experimentado durante la vida útil en servicio anterior de este pavimento. Por tanto, se observó que la introducción de productos de reciclaje presenta una variable adicional que debe considerarse correctamente para evitar efectos perjudiciales en los productos finales. Es por esto que la colocación de RAP mostró resultados muy positivos hasta la adición del 60% de este material reciclado, dando un valor de CBR de 5.95%, que pasó de ser considerada una subrasante muy pobre a una subrasante regular, mejorando dos clases cualitativas de calidad. Sin embargo, la adición de un mayor porcentaje de RAP (>60%) mostró resultados desfavorables incluso inferiores a la muestra base (sin adición de RAP). Esto permite determinar que una gestión adecuada del RAP permite reducir la variabilidad de la materia prima, apoyada con el uso de tecnologías modernas que permitan introducir controlada y maximizadamente los agregados del RAP hasta un valor tope del 60% de la cantidad de la mezcla, empleando además una metodología de diseño basada en el desempeño más eficiente de estos materiales reciclados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chone por proporcionar el material desechado del pavimento de la Avenida Eloy Alfaro que fue utilizada como RAP.

Referencias

- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M., & Carpenter, S. H. (2007). Reclaimed asphalt pavement—a literature review (Tech. Rep. No. FHWAICT-07-001). University of Illinois at Urbana-Champaign.
- American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using Toluene and the Rotary Evaporator. ASTM D 7906. West Conshohocken, PA, USA, 2012.
- Astm, D. (1883). Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils. Annual Book of ASTM Standards, 4.
- Castillo, J. I. R., Zambrano, D. A. V., Gutiérrez, D. A. D., & Hernández, E. H. O. (2020). Análisis del tránsito peatonal, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre Avenida Manabí y Calle Ramón Fernández. Portoviejo-Manabí. Revista de

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

- Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 5(2), 33-44.
- Cheng, H., Sun, L., Liu, L., & Li, H. (2018). Fatigue characteristics of in-service cold recycling mixture with asphalt emulsion and HMA mixture. *Construction and Building Materials*, 192, 704-714.
- Clavijo Lobaton, D. M., Moya Ortiz, P. A., & Aya Muñoz, A. K. (2022). Análisis del impacto ambiental generado por la explotación de agregados pétreos en el afluyente caño camelias en el municipio de guamal, vereda humadea–departamento del meta.
- Demera, M. L. A., Romero, C. M. D., Hernández, E. H. O., & Gutiérrez, D. A. D. (2020). Estudio para determinar la capacidad portante del suelo como parámetro geotécnico, aplicando el ensayo de cono dinámico de penetración (DCP), en los terrenos aledaños a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 4(2), 39-43.
- Farooq, M. A., & Mir, M. S. (2017). Use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in warm mix asphalt (WMA) pavements: A review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2, 1-9.
- Gutiérrez, D. A. D., Hernández, L. L. L., Suarez, W. J. P., & Hernández, E. H. O. (2020). Análisis del tránsito vehicular, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre avenida Manabí y calle Ramón Fernández-Portoviejo-Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 5(2), 11-23.
- Hoyos Díaz, L. M., Puicon Herrera, K. D. C., & Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 23(41), 11-19.
- Huang, B., Li, G., Vukosavljevic, D., Shu, X., & Egan, B. K. (2005). Laboratory investigation of mixing hot-mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. *Transportation Research Record*, 1929(1), 37–45. <https://doi.org/10.1177/0361198105192900105>
- Loor, J., Hernández, E. O., & Delgado, D. (2021). Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador: Analysis of the service level at the intersection of the Manabí and America avenues, Portoviejo, Ecuador. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 6(2), 29-42.

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

- Macías, L., Loor, D., Ortiz-Hernández, E., Casanova, G., & Delgado, D. (2021, May). Comparative Analysis of Soil Slope Stability, Using Dynamic and Pseudo-static Methods on the Garrapata-Santa Maria Road, Manabi Province, Ecuador. In International Conference on Water Energy Food and Sustainability (pp. 505-515). Cham: Springer International Publishing.
- Montejo Fonseca, A. (1998). Ingeniería de pavimentos para carreteras.
- Huang, B., Shu, X., & Vukosavljevic, D. (2011). Laboratory investigation of cracking resistance of hot-mix asphalt field mixtures containing screened reclaimed asphalt pavement. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(11), 1535-1543.
- Perú, M. D. (2008). Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de alto volumen de tránsito.
- Roja, K. L., Masad, E., & Mogawer, W. (2021). Performance and blending evaluation of asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 22(11), 2441-2457.
- Song, W., Huang, B., & Shu, X. (2018). Influence of warm-mix asphalt technology and rejuvenator on performance of asphalt mixtures containing 50% reclaimed asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, 192, 191-198.
- Shirodkar, P., Mehta, Y., Nolan, A., Sonpal, K., Norton, A., Tomlinson, C., Dubois, E., Sullivan, P., & Sauber, R. (2011). A study to determine the degree of partial blending of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder for high RAP hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 25(1), 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.045>
- Shu, X., Huang, B., & Vukosavljevic, D. (2008). Laboratory evaluation of fatigue characteristics of recycled asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 22(7), 1323–1330. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.04.019>
- Stimilli, A., Ferrotti, G., Conti, C., Tosi, G., & Canestrari, F. (2014). Chemical and rheological analysis of modified bitumens blended with “artificial reclaimed bitumen”. *Construction and Building Materials*, 63, 1-10.
- Stroup-Gardiner, M. (2016). Use of reclaimed asphalt pavement and recycled asphalt shingles in asphalt mixtures (No. NCHRP Synthesis 495)
- Wang, W., Cheng, H., Sun, L., Sun, Y., & Liu, N. (2022). Multi-performance evaluation of recycled warm-mix asphalt mixtures with high reclaimed asphalt pavement contents. *Journal of Cleaner Production*, 134209.

Utilización de carpetas asfálticas recuperadas para el mejoramiento de la subrasante en vías de altos volúmenes de tráfico

- Wang, W., Huang, S., Qin, Y., Sun, Y., Dong, R., & Chen, J. (2020). Research on rheological properties of high-percentage artificial RAP binder with WMA additives. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020.
- West, R. C., Willis, J. R., & Marasteanu, M. O. (2013). Improved mix design, evaluation, and materials management practices for hot mix asphalt with high reclaimed asphalt pavement content (Vol. 752). Transportation Research Board.
- Zambrano, D. Delgado, E. Ortiz, J. Jalil. (2020) MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES Y SU APLICACIÓN EN LAS CARRETERAS DE MANABÍ, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 51 pag

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).