

Influencia del tiempo y temperatura de digestión en mezclas asfálticas mejoradas con grano de caucho reciclado por vía seca

Boris Rios U.¹, Jahel S.Ledezma P.²

²Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos, Departamento de Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia

¹boris.rios.urquidi@gmail.com, ²sarvialedezma@fcyt.umss.edu.bo

Resumen

La acumulación de neumáticos fuera de uso se ha convertido en un problema medioambiental complejo al ser un material difícilmente degradable. Por lo que la fundación SWISSCONTACT, mediante el proyecto “Mercados para el Reciclaje”, impulsa la investigación referente a la incorporación de grano de caucho reciclado, que en su primera fase evalúa su adición por vía seca en mezclas asfálticas.

Es así que, entre los factores que influyen en las propiedades mecánicas de este tipo de mezclas se encuentran el porcentaje de adición, tiempo y temperatura de digestión necesarios para una adecuada interacción del grano de caucho en la mezcla. De esta forma, la presente investigación evaluó la combinación de estos factores en dos etapas. La primera etapa analizó la influencia de los tiempos de digestión de 1.5 y 2.0 horas a temperaturas de 160 y 170°C seleccionando la mejor combinación de estos factores en el desempeño de resistencia a la humedad. Posteriormente, la segunda etapa empleó la combinación anterior considerando la adición de 0.5, 0.8 y 1.0% de caucho reciclado valorando el efecto de estos en el desempeño a deformación permanente empleando la rueda de Hamburgo.

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que el tiempo de digestión de 2.0 horas y temperatura de 170°C para los diferentes porcentajes de adición de grano de caucho reciclado en las mezclas asfálticas evaluadas presentan un incremento del 8 al 15% de resistencia a la humedad y una disminución del 35 al 55% en la deformación permanente en relación a una mezcla sin caucho. Así mismo, se observa que los resultados óptimos corresponden al porcentaje de adición del 0.5% de grano de caucho para un tiempo de digestión de 2.0 horas a 170°C.

Palabras clave: Grano de caucho reciclado, Tiempo de digestión, Temperatura de digestión, Resistencia a la humedad, Deformación permanente.

1. Introducción

El crecimiento desmedido del parque automotor genera una gran cantidad de residuos de neumáticos, los mismos que son desechados de forma constante en lugares improvisados, ocupando grandes espacios para su almacenamiento. Esto se convierte en un riesgo para la población ya que se convierte en un lugar favorable para la reproducción de diferentes mosquitos.

Es así que, una alternativa para mitigar problemas medioambientales derivados de la acumulación de neumáticos fuera de uso es incorporar este residuo en forma de grano de caucho en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. Según González *et al.* (2018) el caucho triturado proveniente de llantas de usadas, denominado Grano de Caucho Reciclado (GCR), que es un polímero compatible con la mayoría de los asfaltos que mejora considerablemente las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, alargando su vida útil y disminuyendo los costos de mantenimiento.

Desde 1950 en Estados Unidos se empezó a estudiar el efecto que podría tener el caucho en los asfaltos y en las mezclas asfálticas. Los primeros estudios registrados son los de Charles McDowell junto con el estudio de Lewis y Welborn, ambos en la década de los 50. La idea original de la vía seca fue desarrollada al final de los años 60 por dos compañías suecas Skega AB y AB Vaegfoerbaetringar que presentaron el producto con el nombre de "Rubit", empezando Estados Unidos a utilizar este producto en 1978 con el nombre de PlusRide Posteriormente en la década de los 80, países como Sudáfrica, Bélgica, Francia y Alemania pasaron a utilizar el método por vía húmeda en sus carreteras. (CEDEX, 2007; Diaz & Castro, 2017)

En Sudamérica países como Chile, Colombia y Brasil ya empezaron a utilizar estos métodos a inicios de los 2000. Actualmente en Bolivia se están desarrollando investigaciones respecto al uso del GCR en mezclas

asfálticas, siendo la fundación SWISSCONTACT una de las promotoras en esta área con el proyecto “Mercados para el reciclaje”.

De esta forma, la presente investigación estudia la influencia del porcentaje de adición de GCR, tiempo y temperatura de digestión necesarios para una adecuada interacción del grano de caucho en la mezcla asfáltica por vía seca mediante la evaluación del desempeño de la mismas ante la susceptibilidad a la humedad y deformación permanente.

2. Materiales y métodos

Ensayos de caracterización de materiales

Los agregados utilizados en la investigación provienen de la planta de agregados de Sacaba (Cochabamba, Bolivia) de la cantera de Parotani. Se realizó la caracterización de los materiales pétreos considerando los requerimientos establecidos en las especificaciones técnicas de la ABC (2011), los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Resultados de la caracterización del agregado

Ensayo	Unidad	Norma	Requerimiento	Resultado
Agregado grueso				
Desgaste de los Ángeles	%	ASTM C131	Max 40%	30.03
Peso específico árido grueso	g/cm ³	ASTM C127	-	2.59
Caras fracturadas	%	ASTM D5821	Min 90%	80
Resistencia a los sulfatos	%	ASTM C88	Max 12%	10.58
Agregado fino				
Equivalente de arena	%	ASTM D2419	Min 45%	86.16
Peso específico árido fino	g/cm ³	ASTM C128	-	2.46

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó cemento asfáltico de procedencia peruana con clasificación por penetración 60/70. Los resultados obtenidos en la caracterización del cemento asfáltico convencional se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Resultados de la caracterización del cemento asfáltico 60/70

Ensayo	Unidad	Norma	Requerimiento	Resultado
Penetración (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	ASTM D5	Min. 60	60.67
Peso específico (25°C)	-	ASTM D70	-	1.052
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	cm	ASTM D113	Min. 100	107
Recuperación elástica (20cm, 25°C)	%	ASTM D6084	-	5.9
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D36	-	45.8
Punto de inflamación	°C	ASTM D92	Min. 232	312.6
Adhesividad de agregado grueso-cemento asfáltico	%	DNER-ME 078	Min 95	99.09 (con 0.6% de mejorador de adherencia amínico)

Fuente: Elaboración propia

El grano de caucho reciclado proviene de la planta trituradora de caucho Ingoqui en la ciudad de Cochabamba. Para su incorporación en la mezcla asfáltica se determinó la granulometría con la que proviene de fábrica. Los resultados se presentan en la Tabla 3. Las propiedades del grano de caucho reciclado se presentan en la Tabla 4.

Tabla 3

Granulometría del GCR

Tamiz N°	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
Diámetro (mm)	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075
Granulometría del GCR	100.00	89.54	29.76	5.48	0.45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Resultados de los ensayos de caracterización del GCR

Ensayo	Unidades	Norma	Requerimiento	Resultado
Contenido de humedad	%	UNE103-300	0.75	0.73
Densidad aparente	g/cm ³	-	-	0.418
Contenido de acero	%	UNE14243	0.01	0.26

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la influencia del tiempo y temperatura de digestión

Para seleccionar la mejor combinación del tiempo y temperatura de digestión, es necesario determinar la resistencia de la mezcla asfáltica en relación al daño que produce el agua. Esto se realiza mediante la evaluación de susceptibilidad a la humedad por la norma ASTM D4867 (ASTM, 2014).

El porcentaje de adición del GCR adoptado para la presente investigación fue de 0.5%, 0.8% y 1.0% con relación al peso total del agregado en la mezcla, siendo sus identificaciones A, B y C, respectivamente. Estos porcentajes fueron evaluados para tiempos de 1.5 y 2.0 horas y temperaturas de digestión de 160 y 170°C, identificándose estos últimos como X y Y, respectivamente.

Diseño de la mezcla asfáltica convencional y la incorporada con caucho

Tanto para la mezcla asfáltica convencional como para la incorporada con GCR el diseño se fundamentó en la metodología Marshall, basado en las especificaciones del Instituto del Asfalto (Institute, 2014). Para las mezclas incorporadas con GCR se utilizó los tres porcentajes de adición con la mejor combinación de tiempo y temperatura de digestión.

Desempeño de la mezcla asfáltica convencional y la incorporada con caucho

Para evaluar el comportamiento de las mezclas con la combinación de los porcentajes, tiempo y temperatura de digestión seleccionados, se evaluó el desempeño de las mismas en relación a la susceptibilidad a la humedad y deformación permanente.

El ensayo de susceptibilidad a la humedad según la norma ASTM D4867 (ASTM, 2014), estima el daño

potencial de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua, mediante la determinación de la resistencia a la tracción (St) y la relación de resistencia a la tracción (TSR) de las mezclas, mediante la siguiente ecuación:

$$TSR = \left(\frac{S_{TM}}{S_{TD}} \right) * 100$$

Donde:

TSR = Relación de resistencia a la tracción (%)

S_{TM} = Resistencia a la tracción del subconjunto condicionado por la humedad

S_{TD} = Resistencia a la tracción del subconjunto seco

Por otro lado, el ensayo de deformación permanente en mezclas asfálticas aplicando la rueda de Hamburgo según la norma AASHTO T324 (AASHTO, 2004), determina la susceptibilidad a fallas prematuras en la mezcla asfáltica debido a debilidad en la estructura del agregado, rigidez inadecuada del cemento asfáltico o daño por humedad. Este ensayo emplea cuatro cuerpos de prueba de 150 mm de diámetro, los cuales son sumergidos en agua a una temperatura de 50°C, aplicando una carga de 705 ± 4.5N a una velocidad de 50 ± 5 pasadas por minuto hasta que se desarrollen 20000 pasadas, según lo especificado en la norma AASHTO T324 (AASHTO, 2004) o 10mm de ahuellamiento según la norma AMAAC (2011).

3. Resultados

Análisis de la influencia del tiempo y temperatura de digestión

Tras la evaluación de los resultados de la resistencia al daño inducido por humedad (TSR) presentados en la Figura 1, para incorporaciones de 0.5, 0.8 y 1.0% de GCR y 5.8% de cemento asfáltico inicial, se observa que, para diferentes combinaciones de tiempo y temperatura de digestión todas las mezclas incorporadas con 0,5 % de GCR cumplen con el parámetro mínimo de resistencia a la humedad y en el caso específico de los porcentajes de 0.8 y 1.0% de GCR, sólo las mezclas condicionadas a 2 horas y 170°C de temperatura de digestión cumplen este requisito.

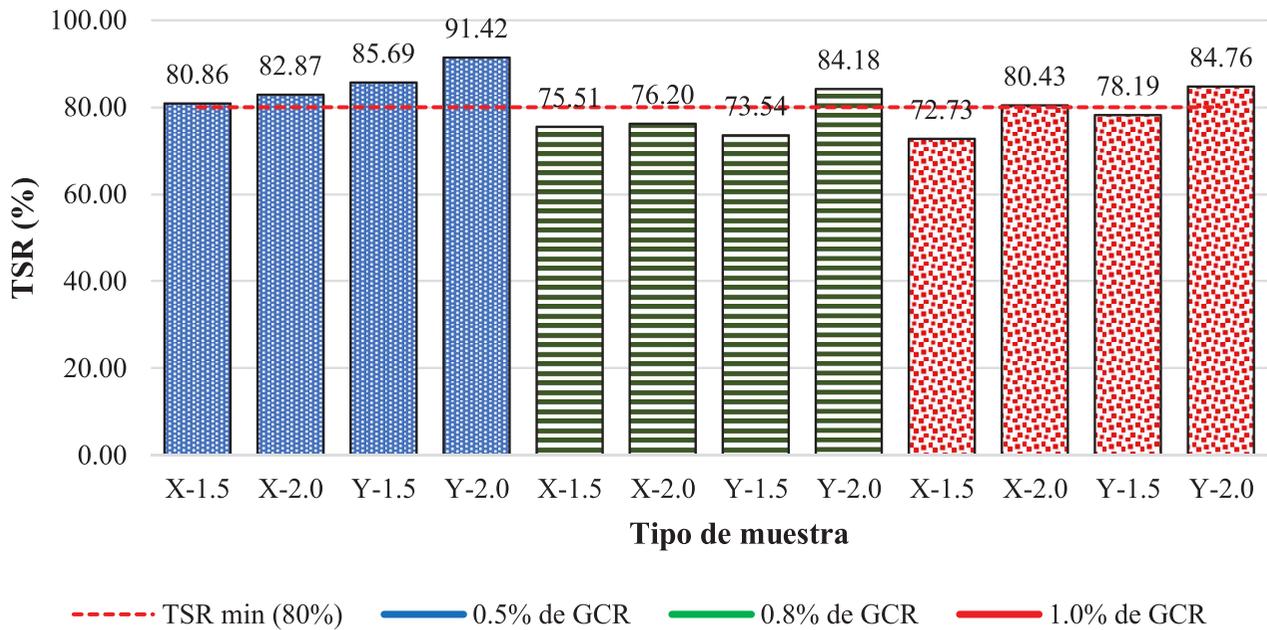


Figura 1. Gráfica %TSR vs tipo de muestra

De esta manera, se definió emplear un tiempo de 2 horas a una temperatura de digestión de 170°C, tanto para el diseño de las mezclas con los tres porcentajes de adición de GCR como para los ensayos de desempeño propuestos.

Diseño de la mezcla asfáltica convencional y la incorporada con caucho

Los parámetros de diseño Marshall de las diferentes mezclas analizadas se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Resultados del diseño Marshall de la mezcla convencional y las incorporadas con GCR

Muestra	Unidades	Convencional	0,5% GCR	0,8% GCR	1,0% GCR
% Óptimo de asfalto	%	5,8	5,8	5,9	5,9
Estabilidad	N	16505,45	23858,24	22730,46	23233,93
Flujo	mm	3,6	2,7	3,3	3,5
Densidad	kg/m ³	2316,446	2331,296	2321,044	2312,800
VTM	%	4,1	4	4,1	3,9
VMA	%	14,294	13,726	14,177	14,471
VFA	%	71,168	71,211	71,380	73,191

Fuente: Elaboración propia

Nótese que el valor de la estabilidad de las mezclas adicionadas con caucho aumenta en relación a la mezcla convencional entre el 27.3 al 30.8%. Así mismo, es necesario mencionar que el valor de flujo decrece a menor la cantidad de GCR que se implemente, tal como se observa en la Figura 2.

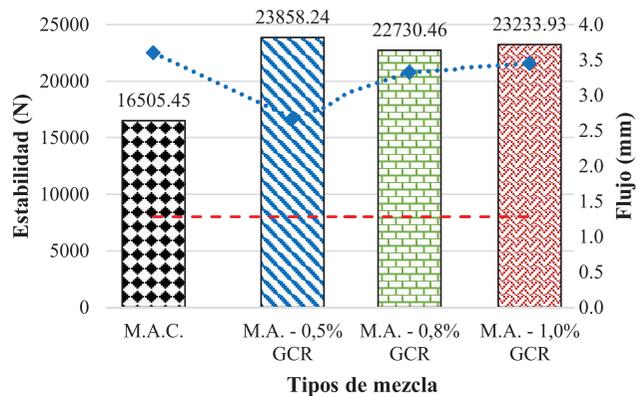


Figura 2. Resultados de estabilidad y flujo del ensayo Marshall

Desempeño de la mezcla asfáltica convencional y la incorporada con caucho

Los resultados de resistencia a la humedad de las distintas mezclas estudiadas se presentan en la Figura 3.

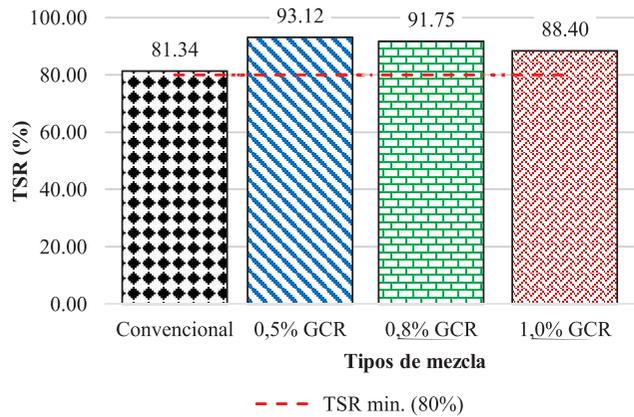


Figura 3. Resultados ensayo de susceptibilidad a la humedad

Se observa que las mezclas estudiadas cumplen el parámetro de relación de resistencia a la tensión mínimo de 80%, conforme lo establecido en el Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS (2012). De la misma forma, se evidencia un incremento del 8% al 15% de la resistencia a la humedad en las mezclas incorporadas con GCR en relación con la mezcla convencional, siendo el aumento del 8% para la mezcla con 1.0% de GCR y la de 15% para la mezcla con 0.5% de GCR, lo cual indica que la resistencia a la humedad aumenta a medida que el porcentaje de GCR incorporado sea menor.

Respecto al desempeño de las mezclas asfálticas a la deformación permanente, este fue evaluado mediante el ensayo de la rueda de Hamburgo, la Figura 4 presenta los resultados de las mezclas evaluadas.

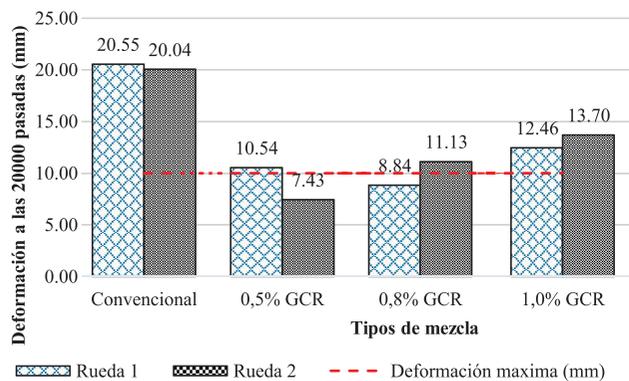


Figura 4. Resultados ensayo resistencia a deformación permanente

Analizando la Figura 4 se observa que la mayor diferencia respecto a la resistencia a la deformación permanente es entre la mezcla convencional y la mezcla

incorporada con 0.5% de GCR, presentando una reducción en la deformación del 55%. Además, se evidencia que, si bien todos los porcentajes de GCR incorporados en la mezcla presentan reducciones superiores al 30% respecto a la deformación permanente de la mezcla convencional, sólo los porcentajes de 0.5 y 0.8% de GCR cumplen con el límite de deformación de 10mm propuesto por la norma AMAAC.

De esta forma, en la Figura 5 y 6 se presenta los resultados de deformación de la rueda de Hamburgo correspondiente a la mezcla convencional y la incorporada con 0.5% de GCR, respectivamente.

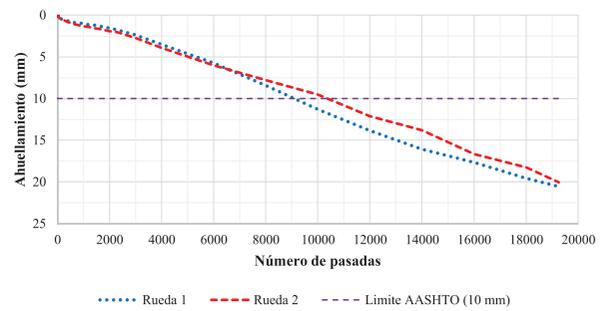


Figura 5. Resultado del ensayo de deformación permanente de la mezcla convencional

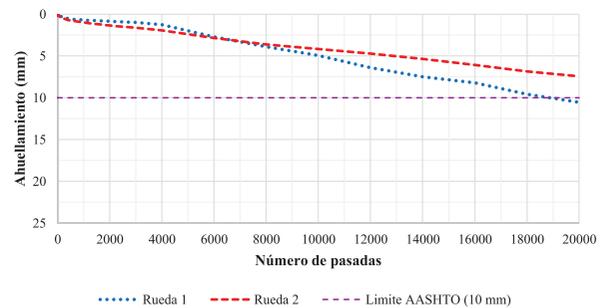


Figura 6. Resultado del ensayo de deformación permanente de la mezcla incorporada con 0.5% de GCR

Comparando las anteriores figuras, se observa que la incorporación de 0.5% de GCR en la mezcla asfáltica original para la combinación planteada de 2 horas y temperatura de digestión de 170°C, modifica la pendiente de deformación disminuyendo a la mitad el ahuellamiento alcanzado por la mezcla convencional, cumpliendo del mismo modo con el parámetro de ahuellamiento de 10 mm propuesto por la AMAAC.

4. Conclusiones

Tras los ensayos realizados y tomando como parámetro de selección el desempeño a la humedad para las variables tiempo y temperatura de digestión, se evidencia que la resistencia a la humedad es directamente proporcional al aumento del tiempo y temperatura de digestión, considerando siempre que estos deben mantenerse dentro de límites que no impliquen la oxidación del cemento asfáltico. De esta forma, teniendo en cuenta que la presente investigación emplea un cemento asfáltico de clasificación por penetración 60/70, es que se concluye que la combinación de tiempo de 2 horas y temperatura de 170°C son los óptimos para el proceso de digestión por vía seca para porcentajes de adición de 0.5, 0.8 y 1.0% de GCR.

Asimismo, la combinación óptima de tiempo y temperatura de digestión fue evaluada respecto a los parámetros Marshall y desempeño a deformación permanente en la rueda de Hamburgo. Respecto a los parámetros Marshall, en relación a la mezcla asfáltica convencional, se observa un incremento superior al 27.3% del parámetro de estabilidad para todos los porcentajes de GCR evaluados y una disminución del 25.7% en el flujo para el caso específico de 0.5% de adición de GCR. El resto de los parámetros no presentan un cambio significativo. En cuanto al desempeño a deformación permanente, se evidencia para todos los porcentajes de GCR incorporados, una disminución superior al 30% de deformación respecto a la mezcla asfáltica convencional, siendo los porcentajes de 0.5 y 0.8% los que cumplen con el límite de ahuellamiento propuesto por la AMAAC.

Los resultados óptimos, tanto para parámetros Marshall como desempeño a la humedad y deformación permanente, corresponden al porcentaje de adición del 0.5% de grano de caucho reciclado para un tiempo de 2 horas y temperatura de digestión de 170°C.

Agradecimientos

Agradecimiento especial al Laboratorio de Pavimentos y Asfaltos y a la fundación SWISSCONTACT por brindar los medios necesarios por los cuales fue posible ejecutar este proyecto.

5. Referencias bibliográficas

- AASHTO (2004). AASHTO T324: *Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, USA.
- ABC (2011). *Manual de especificaciones técnicas generales de construcción*. Bolivia.
- AMAAC (2011). *Recomendaciones AMAAC - Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera con el analizador de rueda cargada de Hamburgo (HWT) en una mezcla asfáltica compactada*. Asociación Mexicana de Asfalto, A.C.
- ASTM. (2014). ASTM D4867/D4867M: *Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures*. American Society of Testing and Materials, USA.
- CEDEX (2007). *Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas, España.
- Díaz, César Mauricio & Castro, Liliana Carolina (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. (Trabajo de grado), Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
- González, D.; Ledezma, J.; Rodón, M. & Vargas, A. (2018). *Construcción de carreteras sostenibles ¿Cómo prevenir y solucionar los daños en los pavimentos flexibles?*, CAF Banco de Desarrollo de América Latina.
- Institute, Asphalt (2014). *Asphalt Institute Mix Design*. Head of Highway and Transportation Dept., USA.
- INVIAS (2012). Artículo 450 - *Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto Asfáltico)*. Instituto Nacional de Vías, Colombia.