

## **Evaluación de la resistencia mecánica bajo carga monotónica en muestras asfálticas modificadas por vía húmeda con grano de caucho triturado (GCR)**

### **Yee Wan Yung Vargas**

Ingeniera Civil, Especialista en Vías y Transporte, Magister en Ingeniería-Infraestructura y Sistemas de Transporte. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander. Avenida Gran Colombia N 12 E-96, Barrio Colsag, Cúcuta-Colombia. Teléfono 5776655 Ext. 126-232. Contacto: [yeewanyv@ufps.edu.co](mailto:yeewanyv@ufps.edu.co) [ywyungv@unal.edu.co](mailto:ywyungv@unal.edu.co)

### **Hugo Alexander Rondón Quintana**

Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Infraestructura Vial y de Transportes. Ph.D en Ingeniería. Docente de la Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia. Contacto: [harondon@udistrital.edu.co](mailto:harondon@udistrital.edu.co)

### **Mairena Cárdenas**

Ingeniera Civil de la Universidad Francisco de Paula Santander. Avenida Gran Colombia N 12 E-96, Barrio Colsag, Cúcuta-Colombia. Contacto: [mairena969@outlook.com](mailto:mairena969@outlook.com)

Ingeniera Civil de la Universidad Francisco de Paula Santander. Avenida Gran Colombia N 12 E-96, Barrio Colsag, Cúcuta-Colombia. Contacto: [ervame88@hotmail.com](mailto:ervame88@hotmail.com)

## Resumen

La presente investigación desarrolló en el laboratorio mezclas asfálticas en caliente con la adición de grano de caucho triturado (GCR) como aditivo modificador. El proceso de adición del GCR se hizo por vía húmeda, utilizándose cemento asfáltico del tipo CA 60-70 (PG 64-22). La granulometría para el desarrollo de las mezclas corresponde a la (Tipo I, II y III) definidas por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU 560-11) de Bogotá-Colombia, para mezclas asfálticas en caliente con asfaltos modificados con caucho por vía húmeda. Las mezclas se elaboraron con cemento asfáltico del tipo CA 60-70 modificado por vía húmeda con 17.5% de GCR, a temperatura de 160°C; siendo la adición del asfalto modificado dentro de la mezcla de concreto asfáltico en porcentajes de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%, para cada una de las granulometrías. Se evaluó sobre ellas la resistencia mecánica bajo carga monotónica (en el ensayo Marshall).

Palabras clave: GCR, carga monotónica, modificado.

## Abstract

This research developed in the laboratory hot asphalt mixtures with the addition of grain shredded rubber (GCR) as modifying additive. The addition of the GCR process was wet-type asphalt cement AC 60-70 (PG 64-22) used. The particle size for the development of mixtures corresponds to the (Type I, II and III) as defined by the Urban Development Institute (IDU 560-11) Bogota-Colombia, for hot mix asphalt with rubber modified asphalts wet. The mixtures were prepared with asphalt cement AC 60-70 type modified wet with 17.5% of GCR, at a temperature of 160 ° C; It is the addition of the modified asphalt in the asphalt concrete mix in percentages of 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% and 6.0%, for each of the particle sizes. It was assessed on them mechanical strength under monotonic loading (in the Marshall test).

Keywords: GCR, monotonic loading, modified asphalt.

## 1 INTRODUCCIÓN

Uno de los residuos que mas se producen en el mundo corresponde a los neumáticos en desuso. Cada año son desechados millones de ellos en todos los países y aunque no representen un peligro inmediato, se convierten en focos de contaminación ambiental al quedar expuestos a la degradación de los factores climáticos, convirtiéndose en criaderos para insectos y roedores que generan enfermedades. Otro tipo de problema ambiental sucede al tratar de eliminarlos de forma no apropiada, sometiéndolos a elevadas temperaturas por incineración, lo cual genera gases contaminantes; en los rellenos sanitarios imposibilitan la compactación y ocasionan problemas de estabilidad por la degradación química parcial que sufren. De acuerdo a (Rondón y Reyes, 2015) la llanta es quizás uno de los elementos que mas se desechan en el mundo. (Botero et al., 2005) reportan que en Puerto Rico se produce alrededor de cuatro millones de neumáticos cada año, lo cual corresponde a una producción de un neumático por habitante por año (1 neu/hab/año), siendo similar a la producción de Estados Unidos, donde de acuerdo a (Zhong,

Zeng, & Rose, 2002) el consumo de llantas es algo superior a una llanta por habitante por año (300 millones de llantas al año), de las cuales aproximadamente el 5% son quemadas en plantas termoeléctricas. De acuerdo a la (Guía sobre aplicaciones de reciclaje y gestión de llantas de desecho en EE.UU y México, 2010), en Estados Unidos para el 2003 ya había 275 millones de llantas acumuladas, además de los 290 millones que se generaron, y en México se calculó que anualmente se generaron cerca de 40 millones de llantas de desecho. En Bogotá según estudio desarrollado por la (UNIÓN TEMPORAL OCADE LTDA, (COLOMBIA), SANIPLAN (BRASIL) & AMBIENTAL S.A (ARGENTINA), 2010) para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se concluyó que para el año 1999 se generaron en la ciudad de Bogotá 1'981.375 unidades de llantas. En España para el año 2000, se generaban anualmente unas 250.000 toneladas de neumáticos de acuerdo a la Secretaría General del Medio Ambiente en España, de las cuales solo se reciclaba el 1.5%.

Son varios los usos que se les ha dado a los neumáticos enteros, entre los que se tiene para barreras acústicas, arrecifes artificiales, pistas provisionales, material de refuerzo en rellenos, reutilizándolas en obras civiles, sistemas de señalización en los costados de las carreteras, rompeolas, sistemas de contención en parques, obstáculos para el tránsito. Otro uso en obras civiles en la producción de mezclas asfálticas en pavimentos con el uso de grano molido o triturado. En el proceso de producción para mezclas asfálticas para pavimentos, se puede utilizar de dos formas, bien sea como material granular dentro de la granulometría de materiales pétreos, cuyo proceso lleva el nombre de modificación en seco; o adicionándolo directamente al cemento asfáltico por un proceso en húmedo, para ser posteriormente mezclado con los materiales pétreos. (Botero et al., 2005) reporta que el estudio del asfalto-caucho tuvo un desarrollo importante en Europa, siendo Suiza el primer país en desarrollarlo en la década de los 60, obteniendo la patente conocida como "rubit". Las partículas de llantas para ser usadas como aditivo debe ser menor de 6,3 mm de acuerdo a (Rondón y Reyes, 2015). Para Colombia se toma en cuenta las especificaciones dadas para el uso de GCR sobre el asfalto en el Instituto Nacional de Vías (Artículo 413 INVÍAS-2013); y para la elaboración de mezclas asfálticas con asfalto-GCR (Artículo 467 INVÍAS-2013). Por otro lado se encuentra en Bogotá-Colombia la especificación del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) para "Aplicación de Grano de Caucho Reciclado GCR) para mezclas asfálticas en caliente por vía húmeda" (Artículo 560-11). Se encuentran ventajas con el uso de GCR sobre las mezclas asfálticas, como las que se mencionan a continuación:

- Aumento de la resistencia en las mezclas ante los agrietamientos a bajas temperaturas (Choubane et al., 2002), (Hunag y Heidrich, 2007), (Khodary, 2010).
- Se producen mezclas asfálticas con mayor resistencia ante los fenómenos de fatiga y ahuellamiento ((Dong & Yiquiu, 2011), (Hsu, Chen, & Hung, 2011), (Punith et al., 2012).
- Se producen mezclas con mayor durabilidad (Wang, Asce, Zeng, & Asce, 2006), (Cooper, Mohammad, & Abadie, 2007), (Lee et al., 2007).
- Se producen mezclas menos susceptibles a los cambios de temperatura(Choubane et al., 2002), (Hunag y Heidrich, 2007), (Khodary, 2010).
- Aumento de la viscosidad de la mezcla resultante, que se hace más flexible a bajas temperaturas y menos plástica a temperaturas elevadas. Mejoras en la deformación

permanente, la fatiga y resistencia al fisuramiento (Figuroa-infante, Fonseca-santanilla, & Reyes-lizcano, 2009).

- El GCR aumenta la rigidez y la elasticidad al modificar el ligante. El GCR absorbe parte de los maltenos, dejando un gran contenido de Asfaltenos, lo que hace mejor al cemento asfáltico (Ocampo, Caicedo, González, & Teórico, 2015.)

Información más detallada sobre mezclas modificadas con GCR, se encuentra en el estado del conocimiento y análisis de utilización de Colombia 2011 (Rondón, 2011)

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el desarrollo de la investigación se utilizó cemento asfáltico de penetración CA 60-70 (PG 64-22), materiales procesados y grano de llanta triturada (GCR).

Para la elaboración de las mezclas asfálticas se trabajó con las tipo I, II y III, especificadas en la Sección 560-11 de la Normatividad dada por el Instituto de Desarrollo Urbano en Bogotá-Colombia (IDU) para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente con asfaltos modificados con caucho por vía húmeda, las cuales se muestran en la tabla N° 1.

Tabla N° 1. Granulometría para mezclas modificadas con asfalto-caucho

Tamiz	Porcentaje que Pasa		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1"	100	100	
¾"	95-100	95-100	100
½"	87-97	83-87	90-100
3/8"	70-88	65-70	83-87
N° 4	43-58	28-42	28-42
N° 8	30-45	14-22	14-22
N° 200	7-10	0-6	0-6.0

Fuente: Sección 560-11 IDU

Antes de la elaboración de las mezclas asfálticas de la investigación, se efectuó en el laboratorio la caracterización de los materiales granulares y del cemento asfáltico CA 60-70, tanto sin modificar como modificado con el GCR. Dichos procedimientos se elaboraron de acuerdo a lo descrito en el Instituto Nacional de Vías en Colombia INVÍAS (2013), siendo para los materiales granulares descrito en el Artículo 45-13 de INVÍAS y para el cemento asfáltico en el artículo INV 413-13.

Se puede observar en las tablas N° 2 y N° 3 los resultados de los ensayos de caracterización para ambos materiales, granulares y asfálticos respectivamente. Se puede observar en los resultados que los materiales granulares y el cemento asfáltico cumplen con los requisitos mínimos de calidad que se exigen en las especificaciones de INVÍAS-13.

Tabla N° 2 Resultados de ensayos a materiales granulares

Ensayo	Especificación	Resultado	Valor especificado
Humedad	INV. E-122-13	1,70 %	-
Desgaste Micro-Deval	INV. E-238-13	10,77%	20% máximo
Caras fracturadas en los agregados	INV. E-127-13	90%	(85/70) 1 cara/2 caras
Sanidad frente al ataque de sulfatos	INV. E-220-13	0,85%	12% máximo
10% de finos (valor en seco)	INV. E-224-13	135 kN	110 kN mínimo
Equivalente de arena	INV. E-133-13	52,23 %	50% mínimo
Índice de alargamiento	INV. E-230-13	8%	-
Índice de aplanamiento	INV. E-230-13	16%	-

Fuente: Autores

Tabla N° 3 Resultados de ensayos a Cemento asfáltico CA 60-70 sin modificar y modificado con 17,5% de GCR

GCR/CA [%]	Ductilidad [cm], AASHTO T 51	Punto de ignición [° C], ASTM D-92	Punto ablandamiento [° C], AASHTO T 53	de Penetración [0.1 mm], AASHTO T 49
0	141,7	315,56	44	59,5
17,5	17,7	289	51	33,0

Fuente: (Yung, Córdoba, Rondón, 2013)

La modificación del aditivo se efectuó por vía húmeda, directamente sobre el cemento asfáltico. Las mezclas entre el cemento asfáltico CA 60-70 y el GCR se desarrollaron basados en los tiempos de reacción y temperatura definidas en IDU 560-11, para lo cual se uso cemento asfáltico CA 60-70(PG 64-22) y el grano de caucho reciclado con tamaño máximo de partícula de 0,6 mm. El porcentaje de GCR utilizado correspondió a 17,5% de GCR por peso del cemento asfáltico CA 60-70, tomando en cuenta estudios anteriores de los autores (Yung, Córdoba y Rondón, 2013), donde después de la combinación del cemento asfáltico con varias proporciones de GCR (10%,12%, 15%, 17% y 20%) , se buscó la mejor mezcla asfalto-caucho. Este proceso se realizó tomando en cuenta especificaciones del Departamento de Transporte de California EE.UU, CALTRANS, que menciona que para la viscosidad Brookfield a 163°C del ligante modificado con GCR debe encontrarse entre 1500 y 3000 cPS.

Posteriormente se fabricaron en el laboratorio mezclas asfálticas convencionales (Muestras de control sin el aditivo GCR) y mezclas modificadas con (asfalto-GCR). Se trabajaron cinco porcentajes de asfalto (4,0%. 4,5%, 5,0%, 5,5% y 6,0%, con tres briquetas por cada porcentaje, para cada tipo de granulometría empleada(Tipo I, II y III), tanto para las mezclas convencionales como las modificadas con GCR. Después de elaboradas las muestras se procedió a la determinación de la resistencia mecánica bajo carga monotónica (en el ensayo Marshall) para cada una de ellas.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Puede observarse en la Tabla N° 4 los resultados de la resistencia bajo carga monotónica Marshall para los especímenes elaborados con asfalto convencional CA 60-70 y asfalto modificado con GCR al 17.5% por peso del CA 60-70, en los cuales se tuvo una variación por parte de la composición del CA sin modificar y modificado del 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%; y una variación en el tipo de granulometría utilizada (Tipo I, Tipo II y Tipo III) del IDU 560-11).

Tabla N° 4 Resultados de resistencia bajo carga monotónica Marshall para mezclas convencionales sin GCR y mezclas con 17.5% de GCR

Especificación	CA [%]	Estabilidad (N)	Estabilidad [N]
		Muestras CA+0% GCR	Muestras CA+17.5% GCR
Tipo I	4.0	7790.96	7696.82
Tipo I	4.5	8435.25	12230.32
Tipo I	5.0	7695.63	12543.12
Tipo I	5.5	7347.44	11068.46
Tipo I	6.0	7345.33	8914.29
Tipo II	4.0	6248.80	6535.57
Tipo II	4.5	6484.54	8143.96
Tipo II	5.0	6725.66	7482.81
Tipo II	5.5	7127.43	7027.50
Tipo II	6.0	7101.08	7451.61
Tipo III	4.0	6377.21	6278.13
Tipo III	4.5	6520.14	7090.63
Tipo III	5.0	6656.62	7294.70
Tipo III	5.5	6874.39	6636.09
Tipo III	6.0	6949.99	6636.09

Fuente: Autores

La resistencia bajo carga monotónica incrementa en general para las mezclas modificadas con GCR al compararlas con las mezclas convencionales (mezclas de control) para el uso de las tres granulometrías Tipo 1, 2 y 3, y para los porcentajes de asfalto utilizados (4,0%-4,5%-5,0%-5,5%-6,0%). Para las mezclas modificadas con GCR, las resistencias bajo carga monotónica se incrementan a medida que aumenta el % CA, para 4,0%-4,5% y 5,0%, tendiendo a disminuir para los porcentajes de 5,5% y 6,0%.

Se puede observar que es mayor el incremento de la estabilidad Marshall para las mezclas modificadas con GCR, con granulometría tipo I, comparadas con las del tipo II; llegándose a encontrar hasta un 63% de incremento en la estabilidad cuando el CA+GCR es del 5.0%, y un incremento del 25.6% para un CA+GCR del 4.5% en la granulometría Tipo II.

La estabilidad de las mezclas modificadas para la granulometría Tipo III no presenta un constante incremento para todos los porcentajes de cemento asfáltico modificado con GCR. Específicamente se presentó un incremento en la estabilidad para los porcentajes de 4.5% y 5.0% y una disminución de la estabilidad para las mezclas con porcentaje de 4.0%, 5.5% y 6.0% con el uso de la granulometría tipo III, comparadas con las mezclas de control(sin aditivo GCR).

#### **4 CONCLUSIONES**

- El cemento asfáltico incrementa su viscosidad y rigidez al ser modificado con grano de llanta triturada.
- El uso de GCR como aditivo del CA 60-70, aumenta la adherencia entre el ligante y los materiales pétreos, lo cual se debe al incremento de la viscosidad del cemento asfáltico.
- El uso del GCR en las mezclas asfálticas ensayadas para los tipos de granulometrías reportan un incremento en la estabilidad, en comparación con las mezclas que no utilizan el GCR, lo cual se debe a la rigidez que alcanza el asfalto al ser modificado con el residuo de llanta triturada.

#### **5 REFERENCIAS**

- Botero, J., Valentín, M., Marcelo, S., Santos, J., Acosta, F., Cáceres, A., & Pando, M. (2005). Gomas trituradas: Estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en Puerto Rico, 5(1).
- Cooper, S. B., Mohammad, L. N., & Abadie, C. (2007). Evaluation of Field Projects Using Crumb Rubber Modified Asphaltic Concrete.
- Dong, Y., & Yiquiu, T. (2011). Mix Design and Performance of Crumb Rubber Modified Asphalt SMA Yuming Dong 1 , Yiquiu Tan 2 1., (212), 78–86.
- Figueroa-infante, A. S., Fonseca-santanilla, E. B., & Reyes-lizcano, F. A. (2009). Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material



- reciclado \* Physicochemical and Micromorphological Evaluation of Asphalt Modified. Doctor, 13(1), 45–70.
- Hsu, T., Chen, S., & Hung, K. (2011). Performance Evaluation of Asphalt Rubber in Porous Asphalt-Concrete Mixtures, (March), 342–349. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000181](http://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000181).
- Ocampo, M., Caicedo, B., González, D., & Teórico, M. (2015). Mezclas asfálticas mejoradas con caucho molido proveniente de llantas usadas.
- Unión temporal Ocade Ltda. (Colombia), Saniplan (R. J. -Brasil), & Ambientals. A. (Argentina). (2010). Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Santa Fe de Bogotá, 1–18.
- Wang, J. C., Asce, S. M., Zeng, X., & Asce, M. (2006). Influence of Temperature and Pressure on the Dynamic Properties of Rubber-Modified Asphalt Concrete, (February), 125–131.
- Yung, Y., Córdoba, J., Rondón, H., 2013. Caracterización, Diseño y verificación de una mezcla asfáltica drenante en caliente modificada con GCR y fibra.
- Zhong, X. G., Zeng, X., & Rose, J. G. (2002). Shear Modulus and Damping Ratio of Rubber-modified Asphalt Mixes and Unsaturated Subgrade Soils, (December), 496–502.
- IDU - Instituto de Desarrollo Urbano. (2011). Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D. C.. Bogotá D. C.
- INVIAS - Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones generales para construcción de carreteras. Bogotá D.C.
- EPA United States Environmental Protection Agency, 2010. Guía sobre aplicaciones de reciclaje y gestión de llantas de desecho en EE.UU y México.