

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**LICENCIA CREATIVE COMMONS:** Atribución no comercial

**AÑO DE ELABORACIÓN:** 2015

**TÍTULO:** Evaluación de la resistencia de una mezcla asfáltica tibia, sustituyendo en su fabricación, parte del agregado pétreo, por escoria de alto horno

**AUTORES:** Benítez Barreto, Aníbal, Zapata, Kevin Mauricio y Araujo Garcés, Efraín.

**DIRECTOR:** Rondón Quintana, Hugo Alexander

**PÁGINAS:** 63 **TABLAS:** 5 **CUADROS:** 0 **FIGURAS:** 24 **ANEXOS:** 2

**CONTENIDO:**

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO
2. MARCOS DE REFERENCIA
3. METODOLOGÍA
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

APÉNDICES

**DESCRIPCIÓN:**

A nivel mundial se realizan investigaciones destinadas a determinar el comportamiento de mezclas asfálticas tibias (con temperatura de mezclado inferior a 150°C). Esto, con el fin de buscar métodos de fabricación que requieran menor energía y que permitan conservar las propiedades del asfalto durante los procesos de fabricación de la mezcla. Adicionalmente, existe el interés de incluir nuevos

componentes que sean utilizados junto con los agregados convencionales. Con base en lo anterior en el presente trabajo de investigación se trató de responder a la pregunta ¿Cómo se comporta una mezcla asfáltica tibia en la cual se ha reemplazado parte del agregado por escoria e alto horno, proveniente de la fabricación de hierro? Con el fin de adelantar la investigación, se planificó y ejecutó un programa de ensayos Marshall mediante el cual se determinaron las propiedades de la mezcla tibia y se compararon con las de la mezcla convencional. Se investigaron mezclas con porcentajes de escoria del 20%, 37.5% y 51% y temperaturas de mezclado de 1100C, 1200C y 1300C, utilizando porcentajes de asfalto del 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%. Se concluyó que las mezclas tibias estudiadas, con porcentajes de escoria del 20% y temperaturas de mezclado entre 1100C y 1200C, para un porcentaje de asfalto del 6% se ajustan a los criterios de aceptación de Artículo 450-13 de las Especificaciones del Instituto Nacional de Vías, Invías. Estas mezclas son factibles de considerar en la construcción de capas asfálticas de pavimento, pero es necesario realizar investigaciones complementarias para verificar otras propiedades ingenieriles.

### **METODOLOGÍA:**

1. Estudio de información.
2. Planeación y programación de pruebas de laboratorio.
3. Pruebas de laboratorio:
  - 3.1 Caracterización de los materiales
  - 3.2. Ensayo Marshall para mezcla convencional (sin escoria), a 1500C, para porcentajes de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%.
  - 3.3. Ensayos Marshall para mezclas con tres porcentajes diferentes de escoria (20%, 37.5% y 51%), a 1500C, con porcentajes de asfalto de 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%.
  - 3.4. Ensayos Marshall para mezclas sin escoria y 6% de asfalto, para cuatro diferentes temperaturas de mezclado (1100C, 1200C, 1300C y 1500C).
  - 3.5. Ensayos Marshall para mezclas con 20% de escoria y 6% de asfalto, para cuatro diferentes temperaturas de mezclado (1100C, 1200C, 1300C y 1500C). Estas pruebas se realizaron para mezclas sin aditivo y con aditivo HUSIL.
4. Análisis de resultados y formulación de Conclusiones.
5. Elaboración del documento final.

**PALABRAS CLAVE:**

ESCORIA DE ALTO HORNO, MEZCLA TIBIA, ENSAYO MARSHALL, ESTABILIDAD MARSHALL, VACÍOS CON AIRE,

**CONCLUSIONES:**

➤ Propiedades de la mezcla convencional, temperatura de mezclado 1500c, con diferentes porcentajes de escoria y diferentes porcentajes de asfalto.

◆ Mezcla convencional, temperatura de mezclado 1500C, sin escoria (Punto 4.1). Aunque los valores de estabilidad tienden a ser un poco altos, los resultados indican un comportamiento flexible y deformable, dentro de los criterios aceptables por la especificación del Artículo 450-13 de las Especificaciones de Invías. Tiene propiedades de una mezcla densa en caliente típica, que cumple con los criterios de norma para porcentajes de asfalto entre 5.5% y 6%.

◆ Mezcla convencional, temperatura de mezclado 1500C, con porcentajes de escoria de 20%, 37.5% y 51% (Punto 4.2). Las mezclas con porcentajes de escoria de 20% y 37.5% y porcentajes de asfalto entre 5.5% y 6% son mezclas que se ajustan a los criterios del Artículo 450-13 de las Especificaciones Invías. Se concluye que es factible su uso en la construcción de mezclas asfálticas.

➤ Propiedades de la mezcla tibia, sin escoria, para un porcentaje de asfalto del 6% y diferentes temperaturas de mezclado (punto 4.3). Se concluye que las propiedades de la mezcla tibia sin escoria estudiada, a temperaturas de mezclado entre 1100C y 1300C, no varían significativamente con relación a las propiedades de la mezcla convencional con temperatura de mezcla 1500C.

➤ Propiedades de la mezcla tibia con 20% de escoria, porcentaje de asfalto 6% y diferentes temperaturas de mezclado. sin aditivo y con aditivo Husil (punto 4.4). Para esta mezcla los valores de Estabilidad son altos, similares a los que define el Artículo 450-13 de Invías para mezclas de alto módulo. Se espera que mezclas con porcentajes de escoria mayores del 20% tengan estabilidades menores.

Aunque la estabilidad es relativamente alta, las demás propiedades indican que a menor temperatura de mezclado la mezcla tibia tiende a ser más flexible, menos

deformable y se encuadra dentro de los límites aceptables por la norma del Artículo 450-13 de las Especificaciones del Inviás 2013.

Se concluye que para temperaturas de mezclado entre 1100C y 1200C, porcentaje de escoria de 20% y porcentaje de asfalto del 6.0% se logra obtener una mezcla tibia que es factible de utilizar en construcción de capas asfálticas. Se considera que esta conclusión se puede extender hasta porcentajes de escoria del 37.5% y porcentajes de asfalto hasta del 5.5%. Sin embargo, se requiere de mayor investigación y verificación, incluyendo ensayos complementarios para confirmar su calidad en aspectos como la adherencia, los valores de los módulos y las propiedades de resistencia a la fatiga.

Para la mezcla estudiada, se concluye que aditivo HUSIL aumenta la Estabilidad de la mezcla, aunque no modificó de manera importante las demás propiedades medidas. Es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar con mayor certeza el efecto del aditivo en las mezclas asfálticas tibias, utilizando diferentes porcentajes del mismo.

#### **FUENTES:**

Ameri M., Hesami, S. & Goli H. (2013). Laboratory evaluation of warm mix asphalt containing electric arc furnace (EAF) steel slag. *Construction and Building Materials* 49, 611-617. ELSEVIER.

Anderson, M., Baumgardner, G., May, R. & Reinke, G. (2008). *Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies*. INTERIM REPORT. Asphalt Institute, NCHRP 9-47. October 2008.

ASOPAC - Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia (2004). Cartilla del pavimento asfáltico. Bogotá D. C., Colombia.

Capitao, S. D., Picado-Santos, L. G. & Martinho, F. (2012). Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt. *Construction and Building Materials* 36, 1016-1024. ELSEVIER.

Fakhri, M., Ghanizadeh R. & Omrani, H. (2013). Comparison of Fatigue Resistance of HMA and WMA Mixtures modified by SMS. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 104, 168-177.

- Goh, W. & You, Z. (2008). *Resilient Modulus and Dynamic Modulus of Warm Mix Asphalt*. GeoCongress 2008, ASCE.
- Hossain, Z. & Zaman, M. (2013). Behavior of Selected Warm Mix Asphalt Additive Modified Binders and Prediction of Dynamic Modulus of the Mixes. *Journal of Testing and Evaluation*, 41(1).
- Howard, I., Doyle J., Hemsley J. et al. (2014). Emergency paving using hot-mixed asphalt incorporating warm mix technology. *International Journal of Pavement Engineering*. (15)3, 202-214.
- Instituto de Desarrollo Urbano (2012). *Boletín de prensa*. Bogotá: IDU.
- INVIAS. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras. Bogotá: INVÍAS.
- Kheradmand, B., Muniandy, R., et al. (2014). An overview of the emerging warm mix asphalt technology. *International Journal of Pavement Engineering*, (15)1, 79-94.
- Kim, S., Park J., et al. (2014). Performance of Modified WMA Mixtures Prepared Using the Same Class PG Binders of HMA Mixtures. *Journal of Testing and Evaluation*, (42)2, March.
- Li, Q., Wang, K. & Cross, S. (2013). *Evaluation of Warm Mix Asphalt (WMA): A Case Study*. Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements, ASCE.
- Lopera, C.H. (2011). *Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5438/1/15507009.2011.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. *Decreto 948 de 1995*.
- Patiño, D. (2016). *Trabajo de Grado ing. Civil, Facultad Tecnológica U.D.*
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos, materiales, construcción y diseño*. Bogotá: ECOE Ediciones.

- Rondón, H., Hernández J. & Reyes F. (2014). *Generalities on the study and use of warm mix asphalt*. Presentado a The Science and Technology of Fuel and Energy Journal.
- Rondón, H., Hernández J. & Reyes, F. (2015). State of the art of warm mix asphalt: technical, economical and environmental review. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*.
- Rondón, H., Hernández, J. & Reyes, F. (2015). *Review of Warm Mix Asphalt Researches*.
- Rubio, M., Martínez, G. et al. (2012). Warm mix asphalt: an overview. *Journal of Cleaner Production* 24, 76-84.
- Sánchez-Alonso, E., Vega-Zamanillo, A. & Castro-Fresno, D. (2012). Effect of Type of Compaction on Mechanical Properties in Warm-Mix Asphalts. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24, 1043-1049. ASCE.
- Su, K., Maekawa, R. & Hachiya, Y. (2009). Laboratory evaluation of WMA mixture for use in airport pavement rehabilitation. *Construction and Building Materials*, 23, 2709-2714.
- Tan, Y., Guo, M. et al. (2014). Comparative Study on Laboratory Performance of Hot- and Warm-mix Asphalt Mixtures. *Journal of Testing and Evaluation*, (40)5, ASTM.
- Universidad Santo Tomás, Tunja (2014). *V Congreso Internacional de Ingeniería Civil*.
- Vasconcelos, K., Bhasin, A., Little, D. (2010). Influence of Reduced Production Temperatures on the Adhesive Properties of Aggregates and Laboratory Performance of Fine Aggregate-Asphalt Mixtures. *Asphalt Pavements and Environment*. DOI: 10.3166/RMPD.11.47-64.
- Wu, C. & Zeng, M. (2014). Effects of Additives for Warm Mix Asphalt on Performance Grades of Asphalt Binders. *Journal of Testing and Evaluation* (40)2. ASTM.

Yan, J., Cao, Y. et al. (2010). *Shanghai Experience with Warm Mix Asphalt*. GeoShanghai 2010 International Conference. ASCE.

Yepes Piqueras, V. (2014). *Evolución histórica de la fabricación de mezclas bituminosas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Zeleeuw, H., Paugh C., et al. (2013). Laboratory evaluation of the mechanical properties of plant-produced warm-mix asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design* (14)1, 49-70.

**LISTA DE ANEXOS:**

Apéndice A. Cuadros de cálculo

Anexo A. Tabla 450-10 del Artículo 450-13, Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Invías 2013.