



# Ciencia Nicolaita 89

ISSN: 2007-7068



Universidad  
Michoacana  
de San Nicolás  
de Hidalgo

## Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición como sustitución de agregado pétreo natural

## Preparation of hot mix asphalt with the addition of construction and demolition waste as a substitute for natural stone aggregate

C. U. Espino González\*, W. Martínez Molina, E. M. Alonso Guzmán, H. L. Chávez García y L. A. Morales Rosales

**Para citar este artículo:** Espino González C. U., Martínez Molina W., Alonso Guzmán E. M., Chávez García H. L., Morales Rosales L. A., 2023. Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición como sustitución de agregado pétreo natural. Ciencia Nicolaita no. 89, 167-176. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi89.704>



### Historial del artículo:

Recibido: 2 de febrero de 2023

Aceptado: 3 de julio de 2023

Publicado en línea: diciembre de 2023



**Ver material suplementario**



**Correspondencia de autor:** [carlos.espino@umich.mx](mailto:carlos.espino@umich.mx)



**Términos y condiciones de uso:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



**Envíe su manuscrito a esta revista:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

# Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición como sustitución de agregado pétreo natural

## Preparation of hot mix asphalt with the addition of construction and demolition waste as a substitute for natural stone aggregate

C. U. Espino González<sup>1\*</sup>, W. Martínez Molina<sup>1</sup>, E. M. Alonso Guzmán<sup>1</sup>, H. L. Chávez García<sup>1</sup> y L. A. Morales Rosales<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Materiales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58070.

<sup>2</sup>División de estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58070.

### Resumen

Los materiales son los insumos básicos para la construcción, sin embargo, algunos producen contaminación desde el momento de su obtención y/o procesamiento. En el caso de carpetas de rodamiento para carreteras y con la finalidad de reducir el impacto ambiental, se propone el uso de materiales reciclados, específicamente residuos procedentes de la construcción y demolición de edificaciones y construcciones (RCD) que han llegado al final de su vida útil, para su reincorporación dentro de la elaboración de mezclas asfálticas. El diseño fue realizado con un 20% de sustitución de material reciclado por agregados gruesos naturales, habiéndose obtenido desempeños comparables con la mezcla control conteniendo esta 100% de agregado pétreo natural, cumpliendo ambas mezclas con los requisitos establecidos por la normativa mexicana N·CMT-4-05-003/16, como la estabilidad mínima, el flujo, vacíos en la mezcla asfáltica y vacíos en el agregado mineral, para el tránsito de diseño de un millón a 10 millones de ejes equivalentes, según la metodología Marshall. Finalmente se pudo comprobar que la sustitución de agregados reciclados por agregados naturales de banco en 20%, no afecta las características físicas ni mecánicas de la mezcla, al contrario, las mejora, de acuerdo a los parámetros marcados por la normativa y se evita la explotación excesiva de bancos de material.

**Palabras clave:** Reciclaje, mezcla asfáltica, impacto ambiental, concreto.



## Abstract

Materials are the basic inputs for construction. However, pollution may arise from the moment they are obtained and/or processed. In the case of road pavements and with the purpose of reducing the environmental impact, the use of recycled materials is proposed, specifically waste from construction and demolition of buildings and constructions (WCD) that have reached the end of their useful life, for their reincorporation in the preparation of asphalt mixtures. The design was carried out with 20% substitution of recycled material for natural coarse aggregates, having obtained comparable performances with the control mix designed with 100% natural stone aggregate, both mixes complying with the requirements established by Mexican regulation N-CMT-4-05-003/16, such as minimum stability, flow, voids in the asphalt mix and voids in the mineral aggregate for the design traffic of one million to 10 million equivalent axles, according to the Marshall methodology. Finally, it was possible to verify that the substitution of recycled aggregates for natural aggregates from the bench in 20% does not affect the physical or mechanical characteristics of the mix, in fact it improves them according to the parameters set by the regulations and avoids the excessive exploitation of material banks.

**Keywords:** Recycling, asphalt mix, environmental impact, concrete.

## Introducción

Hoy en día, en la industria de la construcción, hay demasiada generación de residuos a nivel mundial con una producción cercana a los 900 millones de toneladas al año (Martínez-Molina *et al.*, 2015). En la Ciudad de México, por citar un ejemplo, se acumulan alrededor de 12, 000 t/día de residuos sólidos urbanos, de los cuales el 50% (6, 000 t/día) son residuos de construcción y demolición (RCD) y solamente un porcentaje muy bajo es tratado (Imelda Martínez, 2013). La gestión nula de estos residuos, ocasiona que la mayor parte de los mismos acabe en la vía pública, en tiraderos clandestinos, y a orillas de las carreteras, con los problemas que eso implica, y lo peor de todo, es el desaprovechamiento de la vida útil que aún les queda.

Los RCD están formados por diferentes materiales de construcción, entre los que, por su composición y porcentaje de generación (65 al 75%), destacan aquellos de origen pétreo (concretos, morteros, ladrillos, azulejos, losetas, etc.), composición que los hace valorizables y por lo tanto, adecuados para su reciclaje, en determinados casos.

El desarrollo sustentable en el sector de la construcción y en particular en la gestión de los RCD ha sido muy pobre en México. Sin embargo, es una necesidad que la sociedad demanda con una preocupación creciente sobre los sistemas tradicionales de eliminación de residuos y sus

consecuencias para el medioambiente. Lo anterior hace necesario la reducción, reutilización, reciclado y valorización de RCD, para minimizar su generación, siendo una etapa fundamental de este proceso la recogida selectiva, y posteriormente, un adecuado proceso de transformación del residuo para su uso como agregado reciclado.

Debido al gran impacto que la industria de la construcción genera a nivel mundial, y que al finalizar su vida útil, no se le da un adecuado encausamiento a los RCD, surge la necesidad de incorporar nuevas tendencias en la gestión de estos residuos, para el cuidado del medio ambiente, implementando técnicas de procesamiento, que ayuden a la reducción del volumen de desechos, del número de rellenos sanitarios, de la explotación de recursos vírgenes, y de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente, generando así posibilidades de crecimiento para la industria del reciclaje.

Para mejorar la calidad del árido reciclado, se recomienda usar como primera opción, concreto hidráulico proveniente de la infraestructura vial, tales como los pavimentos rígidos. Algunas investigaciones indican que las mezclas realizadas con árido natural presentan un comportamiento adecuado a la acción del agua, cumpliendo los requisitos establecidos para el ensayo de inmersión-compresión, mientras que las

mezclas realizadas con un 50% de árido reciclado presentan una pérdida de resistencia excesiva (Pérez *et al.*, 2007).

Por otra parte, los valores del módulo dinámico son razonables, siendo mayores en mezclas con árido reciclado al 50% (Pérez *et al.*, 2007). Se ha podido llevar a cabo una dosificación de mezclas bituminosas que contienen árido reciclado en un 50% de peso en todas las fracciones. Estas mezclas tienen un contenido de betún superior al de las que son preparadas sólo con árido natural, y además, necesitan una mayor cantidad de filler, y sólo así, se han podido cumplir los requisitos establecidos por el PG-3 (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019) y la normativa mexicana (N·CMT·4·05·003/16, 2016) en el ensayo Marshall en carreteras de bajo tráfico, pero no se ha podido realizar una dosificación de mezclas realizadas únicamente con árido reciclado (Pérez *et al.*, 2007).

## Metodología

Se realizó una investigación a fondo del estado del arte respecto a este tema en específico, tanto documental como histórica, para posteriormente proceder a realizar la caracterización de materiales y elaboración de la mezcla asfáltica como se muestra en la Fig. 1.

### Metodología de ensayos

1. Caracterización de agregados gruesos (N·CMT·4·04/17, 2017).
2. Caracterización de agregados finos (N·CMT·4·04/17, 2017).

3. Caracterización del asfalto (N·CMT·4·05·004/18, 2018).
4. Diseño de las mezclas asfálticas con agregados RCD (Humboldt, Asphalt Testing Equipment, 2023)

La realización del programa experimental constó de 2 etapas:

**Primera etapa.** Obtención y estudio de las propiedades físico-mecánicas de los agregados reciclados, que fueron comparadas con las de los agregados naturales seleccionados para realizar las diversas experimentaciones.

**Segunda etapa:** Utilización de gruesos y finos en la composición de una mezcla asfáltica densa para carpeta de rodadura con la adición de un porcentaje controlado de árido reciclado, así como el diseño volumétrico para la obtención del contenido óptimo para cada mezcla, tanto la testigo, con agregado pétreo 100% natural, como para el agregado con sustitución del 20% de RCD, mediante la metodología Marshall.

## Desarrollo experimental

### Selección y análisis de los materiales

Se realizaron pruebas a los materiales que conformaron la mezcla asfáltica, tanto los áridos pétreos reciclados como los áridos pétreos naturales. Los agregados se analizaron conforme a las prescripciones establecidas en las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (N·CMT·4·04/17, 2017) y la ASTM, donde se estableció como referencia el cumplimiento de los parámetros para un pavimento con tránsito mayor a un millón de ejes equivalentes y hasta diez millones (N·CMT·4·05·003/16, 2016). Las



Figura 1. Metodología a seguir para el diseño de mezclas asfálticas.



pruebas realizadas a los materiales fueron las siguientes: densidad aparente en agregados pétreos (M·MMP·4·04·003/18, 2018), desgaste mediante la prueba de Los Ángeles (M·MMP·4·04·006/02, 2002), granulometría (M·MMP·4·04·002/02, 2002), partículas alargadas y lajeadas (M·MMP·4·04·005/08, 2008), humedad superficial y absorción (M·MMP·4·04·003/18, 2018), equivalente de arena (M·MMP·4·04·004/16, 2016), masa volumétrica seca suelta y masa volumétrica seca varillada (M·MMP·2·02·023/18, 2018).

El material en estudio es proveniente de la región de Morelia, Michoacán. Los agregados naturales fueron obtenidos del banco de material llamado La Roka, ubicado en la carretera Morelia-Uriangato-Cuto del Porvenir, los cuáles son producto de la trituración de las canteras cercanas, consistente en material 100% triturado de grava, sello y arena. Por otra parte, los

agregados pétreos reciclados provienen de la demolición de una edificación antigua en Morelia, Michoacán.

La granulometría para el diseño de la mezcla control consistió en un porcentaje en masa del 30% de grava, 27% de sello y 43% de arena, proporción óptima para que la curva granulométrica entrara en el límite establecido por la normativa mexicana (N·CMT·4·04/17, 2017). Para la granulometría con agregados reciclados, se realizó la sustitución del agregado RCD por la grava solamente, así obteniendo un porcentaje de 20% de RCD, y de materiales naturales 10% grava, 27% de sello y 43% de arena.

En la **Tabla 1** se muestran los resultados obtenidos para la caracterización del agregado, tanto natural como reciclado, que fueron empleados en la elaboración de la mezcla asfáltica:

**Tabla 1**  
Caracterización de materiales para la mezcla asfáltica.

No.	Prueba	Valor obtenido	Especificación
1.- Agregado natural	PVSS grava	1.41 g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·1·08/03, 2003
2.- Agregado reciclado	PVSS grava reciclada	1.066 g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·1·08/03, 2003
3.- Agregado natural	PVSS arena	1.59 g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·1·08/03, 2003
4.- Agregado natural	Densidad específica efectiva	2.72 g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·4·04·003/18, 2018 ASTM C127-15 (ASTM International, 2015)
5.-Agregado reciclado	Densidad específica efectiva	2.45 g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·4·04·003/18, 2018 ASTM C127-15 (ASTM International, 2015)
6.- Agregado natural	Densidad específica bruta	2.67g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·4·04·003/18, 2018 ASTM C127-15 (ASTM International, 2015)
7.- Agregado reciclado	Densidad específica bruta	2.20g/cm <sup>3</sup>	M·MMP·4·04·003/18, 2018 ASTM C127-15 (ASTM International, 2015)
8.- Agregado natural	Absorción	1.68%	ASTM C127-15 (ASTM International, 2015)
9.- Agregado reciclado	Absorción	7.67%	ASTM C127-15 (ASTM International, 2015)

Tabla 1. Cont.

No.	Prueba	Valor obtenido	Especificación
10.- Agregado natural	Desgaste de Los Ángeles	15%	M·MMP·4·04·006/02, 2002 N·CMT·4·04/17, 2017
11.- Agregado reciclado	Desgaste de Los Ángeles	18.9%	M·MMP·4·04·006/02, 2002 N·CMT·4·04/17, 2017
12.- Agregado natural	Partículas alargadas y lajeadas	34%	ASTM D4791-19 (ASTM International, 2019) M·MMP·4·04·005/08, 2008 N·CMT·4·04/17, 2017
13.- Agregado reciclado	Partículas alargadas y lajeadas	33.5%	ASTM D4791-19 (ASTM International, 2019) M·MMP·4·04·005/08, 2008 N·CMT·4·04/17, 2017
14.- Agregado natural	Equivalente de arena	66.3%	M·MMP·4·05·005/02 ASTM D2419-22 (ASTM International, 2022)
15.- AC-20	Densidad del asfalto	1.03 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D71-94 (ASTM International, 2019) N·CMT·4·05·004/18, 2018
16.- AC-20	Viscosidad cinemática a 135 °C	533.98 m <sup>2</sup> /s	M·MMP·4·05·005/02 ASTM D4402-06 (ASTM International, 2012) N·CMT·4·05·004/18, 2018
17.- AC-20	Viscosidad (temperatura de compactación y mezclado)	165-159 °C (mezclado) 152-147 °C (compactación).	M·MMP·4·05·005/02 ASTM D4402-06 (ASTM International, 2012) N·CMT·4·05·004/18, 2018
18.- AC-20	Determinación del contenido mínimo de asfalto	3.72% C.A. respecto al peso del agregado	Metodología Marshall (Humboldt, Asphalt Testing Equipment, 2023)

En la **Tabla 2** (N·CMT·4·04/17, 2017) se muestran las características que debe de cumplir el agregado a utilizar.

Se observó que cada uno de los resultados está dentro de los parámetros considerados por la normativa de la SCT para elaboración de mezclas asfálticas. Una vez analizados los elementos a utilizar que conforma la mezcla asfáltica y cumplen con la normativa, se procedió a realizar el diseño de la mezcla.

### ***Diseño de la mezcla asfáltica con agregado pétreo y agregado en sustitución***

La muestra control o testigo se diseñó para un tráfico de más de un millón y hasta diez millones de ejes equivalentes, con las especificaciones marcadas por la normativa de la SCT, por el método de diseño Marshall (Humboldt, Asphalt Testing Equipment, 2023). La mezcla con sustitución de agregados reciclados se diseñó bajo los mismos parámetros de granulometría

**Tabla 2**  
Valores de referencia de calidad para una mezcla asfáltica densa por la SCT.

Características	Valor
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste de Los Ángeles, % máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	35
Equivalente de arena, % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

**Tabla 3**  
Tabla comparativa de resultados entre la mezcla control y la mezcla con 20% de RCD.

Propiedades de la mezcla	Control	20% RCD	Valores de referencia (SCT)
Contenido óptimo de asfalto (%)	6.66	6.84	-
Gravedad específica (kg/cm <sup>3</sup> )	2.35	2.19	-
Estabilidad (Kg)	809	828	816 min
Vacíos (%)	4.80	6.00	3-5
Flujo (mm)	3.24	3.55	2-3.5
Vacíos en el agregado mineral (VMA) (%)	17.6	11.8	14 min.
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (%)	72.7	47.8	65-75

gruesa y de función estructural que la muestra control; la única variante fue la sustitución del agregado RCD en 20% del total de la masa. Para esta prueba se sustituyó solamente grava por RCD, debido a las experiencias y estudios realizados anteriormente, de que el agregado RCD más fino que pasa la malla no. 4, presenta más inconsistencias y ya no es adecuado para la elaboración de mezclas asfálticas. Los resultados comparativos se presentan en la **Tabla 3**.

A continuación, se presentan las diferentes figuras comparativas de resultados, en la **Fig. 2** se muestra el flujo Marshall correspondiente a la muestra testigo y a la mezcla con 20% de RCD, en la cual se puede observar que para el porcentaje óptimo de asfalto del 6.84%, la mezcla asfáltica se encuentra dentro del parámetro de 2 mm a 3.5 mm según la normativa (N·CMT·4-05-003/16, 2016).

En la **Fig. 3** se muestra la estabilidad Marshall correspondiente a la muestra testigo y a la mezcla con 20% de RCD, en la cual se puede observar que, para el porcentaje óptimo de asfalto del 6.84%, la mezcla asfáltica se encuentra por encima del parámetro mínimo de estabilidad que es de 816 kN, según la normativa (N·CMT·4-05-003/16, 2016).

A continuación, se presenta la **Fig. 4**, en la cual se realizó un análisis comparativo donde:

Mezcla 1, es el diseño óptimo con agregado pétreo 100% natural.

Mezcla 2, es el diseño óptimo con agregado pétreo 80% natural y 20% reciclado.

Como se puede observar, la masa requerida de agregado por m<sup>3</sup> disminuye conforme aumenta el agregado de RCD, debido a que la densidad de este es menor al agregado pétreo natural, lo cual tiene repercusión en ahorro económico, y disminución del impacto ambiental al requerir menor masa de material, tanto en RCD como menor cantidad de asfalto para llegar al mismo volumen que la mezcla testigo.

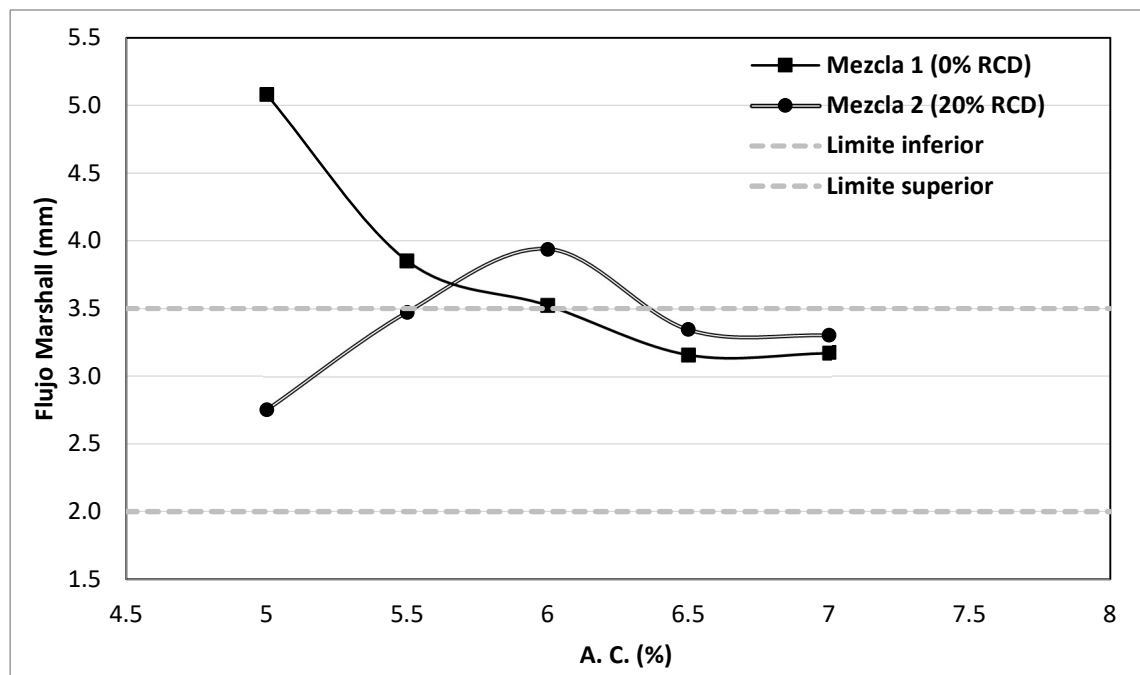


Figura 2. Flujo Marshall.

## Conclusiones

Lo más sobresaliente del diseño óptimo con agregado grueso con 20% RCD y 80% natural, es la sustitución de agregado pétreo natural por agregado pétreo reciclado, que no afecta el desempeño físico-mecánico de la mezcla asfáltica respecto a la testigo, como

se puede observar en las **Figs. 1 y 2**. De hecho, se registraron resultados muy parecidos en cuanto a flujo y estabilidad y cumple con las características de calidad marcados por la SCT (N·CMT·4·05·003/16, 2016). Como beneficio adicional, es un material amigable con el medio ambiente, ya que ayuda a contrarrestar la explotación excesiva de bancos de material de agregados naturales, como lo podemos observar en la **Fig. 3**,

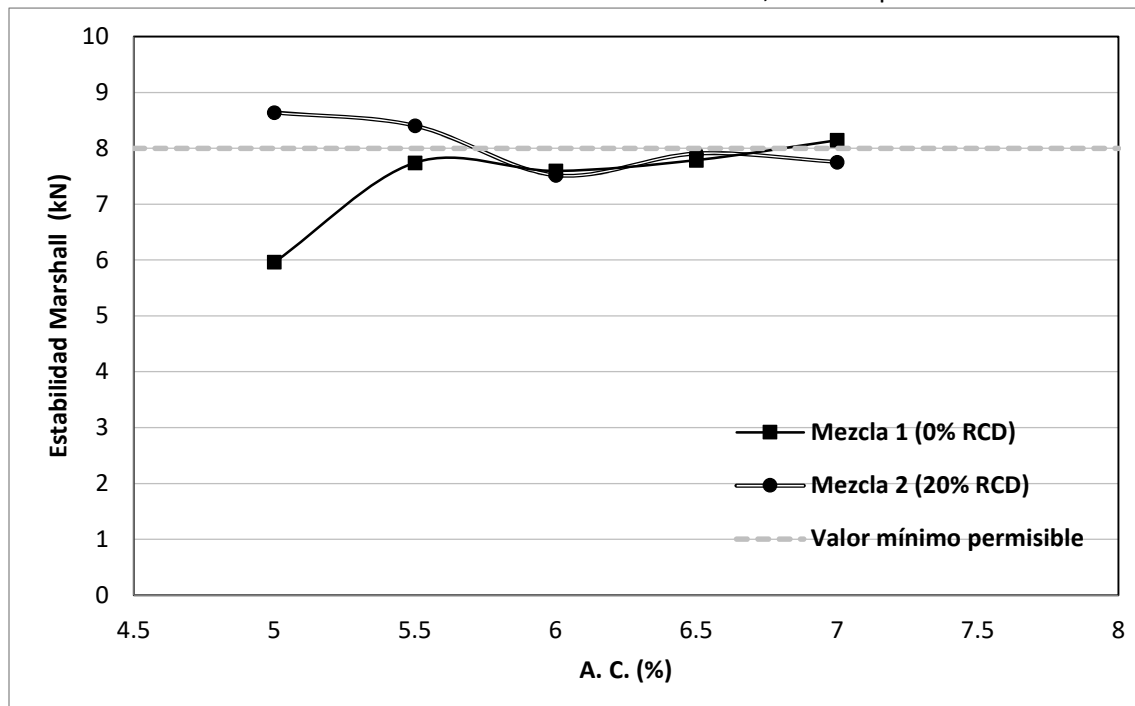
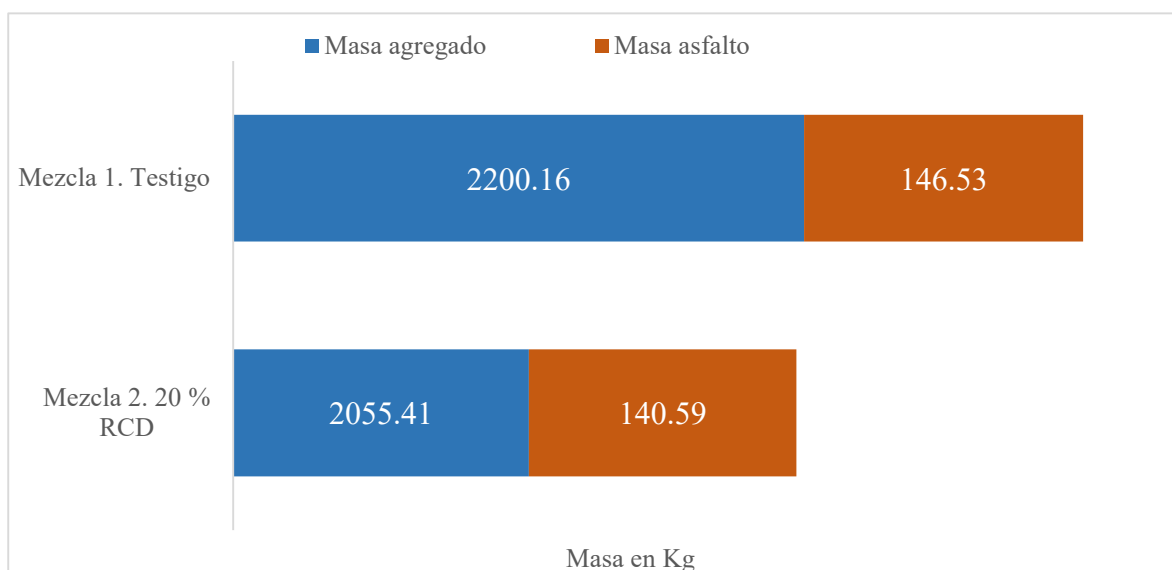


Figura 3. Estabilidad Marshall.



**Figura 4.** Masa por m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica producida.

en donde se muestra que, para llegar al mismo volumen, se requiere menor cantidad de material reciclado debido a que su densidad es menor a la del agregado pétreo natural, por lo tanto, se necesita menor masa de este y menor masa de asfalto para llegar al mismo volumen.

Los parámetros de flujo y estabilidad, según la metodología Marshall (Humboldt, Asphalt Testing Equipment, 2023), cumplen adecuadamente con los valores establecidos por la normativa de la SCT (N·CMT-4-05-003/16, 2016), para tráfico de más de un millón, y hasta 10 millones de ejes equivalentes. Otra de las conclusiones a destacar, es que cuando se sustituye el 20% de RCD en la mezcla asfáltica, la estabilidad mejora y el flujo se mantiene prácticamente igual, debido a las características que adquiere por la sustitución del agregado reciclado.

## Referencias

- ASTM International. 2012. ASTM D4402-06 Standard test method for viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer. ASTM Standards
- ASTM International. 2015. ASTM C127-15 Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate. ASTM Standards
- ASTM International. 2019. ASTM D4791-19 Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate. ASTM Standards
- ASTM International. 2019. ASTM D71-94 Standard test method for relative density of solid pitch and asphalt (displacement method). ASTM Standards
- ASTM International. 2022. ASTM D2419-22 Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate. ASTM Standards
- Humboldt, Asphalt Testing Equipment. 2023. *Marshall Mix Design*. Illinois, U.S.A.
- Imelda Martínez D. 2013. Residuos de construcción y demolición (RCD) situación actual y correcta gestión para el proceso de reciclaje en la industria mexicana. Ciudad de México.
- M·MMP-1-08/03. 2003. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 1. Suelos y materiales para terracerías. 08. Masas volumétricas y coeficientes de variación volumétrica. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M·MMP-2-02-023/18. 2018. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 2. Materiales para estructuras. 02. Materiales para concreto hidráulico. 023. Masa volumetrica de los agregados pétreos. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M·MMP-4-04-002/02. 2002. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 4. Materiales para pavimentos. 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. 002. Granulometría de materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M·MMP-4-04-003/18. 2018. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 4. Materiales para pavimentos.

04. Materiales pétreos para mezclas asfálticas. 003. Densidades relativas y absorción de materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M-MMP-4-04-004/16. 2016. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 4. Materiales para pavimentos. 04. Materiales pétreos para mezclas asfálticas. 004. Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M-MMP-4-04-005/08. 2008. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 4. Materiales para pavimentos. 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. 005. Partículas alargadas y lajeadas de materiales pétreos para mezclas asfálticas. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M-MMP-4-04-006/02. 2002. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 4. Materiales para pavimentos. 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. 006. Desgaste mediante la prueba de los Angeles de materiales petreos en mezclas asfálticas. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- M-MMP-4-05-005/02. 2002. MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales. 4. Materiales para pavimentos. 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. 005. Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- Martínez-Molina W, Torres-Acosta AA, Alonso-Guzmán EM, Chávez-García HL, Hernández-Barrios H, Lara-Gómez C, Martínez-Alonso W, Pérez-Quiroz JT, Bedolla-Arroyo JA, González-Valdéz FM. 2015. Concreto reciclado: una revisión. *ALCONPAT* 5(3):235-248.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. 2019. Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Madrid: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España.
- N-CMT-4-04/17. 2017. CMT. Características de los materiales. 4. Materiales para pavimentos. 04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- N-CMT-4-05-003/16. 2016. CMT. Características de los materiales. 04 Materiales para pavimentos. 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. 003 Calidad de mezclas asfálticas para carreteras. Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- N-CMT-4-05-004/18. 2018. CMT. Características de los materiales. 4. Materiales para pavimentos. 05. Materiales asfálticos, aditivos y mezclas. 004. Calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG). Normativa para la infraestructura del transporte, SCT, México.
- Pérez I, Toledano M, Gallego J, Taibo J. 2007. Propiedades Mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. *Materiales de Construcción* 57(285):17-29.