

Influencia Del Contenido De RAP En La Granulometría Y El Contenido De Asfalto De Mezclas Recicladas

Influence Of The RAP Content On The Granulometry And The Asphalt Content In The Recycled Mix.

Autores

Jessika Morales Fournier¹, Evelín Barrera Martínez², Anadelys Alonso Aenlle³

¹Docente, Asistente, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT), Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao - CP 19390. moralesf@civil.cujae.edu.cu

²Ingeniera Civil, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT), Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao - CP 19390. evelinbm12@nauta.cu

³Docente, Titular, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT), Calle 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao - CP 19390. anadelys@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

La combinación granulométrica de las mezclas recicladas se determina combinando la del árido natural y el recuperado del RAP; aunque en la fabricación, el porcentaje de asfalto del RAP que participa en dicho proceso, es una variable que no se conoce su valor exacto. Para obtener el porcentaje de asfalto natural a añadir en las mezclas se emplean fórmulas validadas en estudios que contemplan el porcentaje de RAP y el asfalto presente en él. En este sentido, es objetivo de este trabajo analizar la variación de la granulometría y del contenido de asfalto en las mezclas recicladas mediante las consideraciones iniciales de los diseños y los resultados obtenidos al final de la fabricación de los mismos. Se comparan estas variaciones con las tolerancias establecidas en la NC 253: 2005. Para esto se fabricaron mezclas por el método Marshall con cuatro contenidos de asfalto (3,5%, 4%, 4,5%, 5%) y tres porcentajes de RAP (0%, 10% y 20%). Luego, se realiza el ensayo de extracción por disolvente con el empleo de la centrífuga de flujo continuo, para determinar el contenido de asfalto total que presentan las mismas y una vez separado el asfalto del árido se lleva a cabo el análisis granulométrico de las mezclas estudiadas. Obteniéndose como resultados que las variaciones entre los contenidos de asfalto (inicial y rectificado) cumplen con la tolerancia establecida para los diseños con 0% y 20% de RAP, mientras que las granulometrías incumplen para todas las mezclas, arrojando los mayores resultados para el tamiz 9,52mm.

Palabras claves: afectaciones antrópicas, base de conocimiento, vulnerabilidad físico-residencial

ABSTRACT

The granulometry of the recycled mixtures is determined by combining that of the natural aggregate and that recovered from the RAP; although in manufacturing, the percentage of asphalt in the RAP that participates in this process is a variable whose exact value is unknown. To obtain the percentage of natural asphalt to be added in the mixtures, formulas validated in studies that consider the percentage of RAP and the asphalt present in it are used. In this sense, the objective of this work is to analyze the variation of the granulometry and the asphalt content in the recycled mixtures by means of the initial considerations of the designs and the results obtained at the end of their manufacture. Comparing these variations with the tolerances established in NC 253: 2005. For these comparisons, mixtures were manufactured by the Marshall method with four asphalt contents (3.5%, 4%, 4.5%, 5%) and three percentages of RAP (0%, 10% and 20%). Then, the solvent extraction test is carried out with the use of the continuous flow centrifuge, to determine the total asphalt content that they present and once the asphalt is separated from the aggregate, the granulometric analysis of the studied mixtures is carried out. Obtaining as results that the variations between the asphalt contents (initial and rectified) comply with the tolerance established for the designs with 0% and 20% RAP, while the granulometries fail to comply with them for all mixtures, yielding the highest results for the 9.52mm sieve.

Keywords: asphalt content, granulometry, reclaimed asphalt pavement (RAP)

Nota Editorial: Recibido: Febrero 2022 Aceptado: Marzo 2022

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de la red vial es en la actualidad un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza. El presupuesto necesario para el mantenimiento, así como los problemas ambientales que de él se derivan, justifican la búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costos y protejan el medio ambiente. En este contexto, el reciclado, como medio de racionalizar los recursos, se convierte en una necesidad [1, 2].

El uso de la técnica de reciclado de los pavimentos para la construcción y rehabilitación de carreteras es un tema que ha tomado gran importancia desde hace años [3-7], debido a la reutilización y potencialización de los materiales existentes en las mezclas asfálticas que contribuye a la preservación del medio ambiente, por la disminución de explotación de canteras en búsqueda de nuevos agregados, además del aporte que ofrece a la mezcla el asfalto envejecido presente en el material recuperado.

El reciclado de pavimentos asfálticos se realiza utilizando materiales de pavimentos deteriorados que han perdido en gran medida sus propiedades iniciales, aunque en casos muy especiales puede actuarse también sobre materiales en condiciones de servicio para mejorar sus características. Estos materiales se obtienen generalmente mediante el fresado, la demolición de pavimentos deteriorados o de excesos de producción y se le denomina pavimento asfáltico recuperado (RAP: Reclaimed Asphalt Pavement, por sus siglas en inglés).

El RAP está constituido por un conjunto de áridos recubiertos por asfalto envejecido. La calidad del RAP es un factor importante en el reciclado de los pavimentos y depende fundamentalmente de la oxidación de la mezcla y de las deficiencias en la mezcla inicial dependiendo del contenido de asfalto y la distribución granulométrica de los áridos. Esto trae consigo que existan diferencias en el material debido a que los acopios de RAP no siempre provienen de una misma obra, por lo que puede haber variaciones significativas en cuanto a calidad de áridos, contenido y tipo de asfalto [8, 9]. La variabilidad de este material trae consigo que su caracterización sea de gran importancia para lograr un correcto diseño de mezcla.

Para la realización de la caracterización del RAP no solo se deben determinar sus propiedades sino también la de sus materiales componentes (asfalto envejecido y árido recuperado), realizando fundamentalmente los ensayos que se establecen en la tabla 1.

Tabla 1: Ensayos para la caracterización del RAP y de sus materiales componentes.

Material	Propiedades
RAP	Densidad
	Contenido de humedad
	Contenido de asfalto
Asfalto envejecido	Penetración del asfalto
	Índice de penetración del asfalto
	Punto de reblandecimiento del asfalto
	Viscosidad absoluta del asfalto
Árido recuperado	Análisis granulométrico
	Material más fino que el tamiz No.200
	Equivalente de arena
	Resistencia al desgaste (Los Ángeles)
	Partículas planas y alargadas
	Peso específico y absorción

Dentro de las propiedades del RAP, la granulometría del árido recuperado y el contenido de asfalto son parámetros de vital importancia para el diseño de mezclas ya que con la granulometría se comprueba que todo el material a reciclar pasa por el tamiz 25mm [9, 10] y que el tamaño máximo de este árido no sea mayor que el tamaño máximo de la mezcla; además de ser esta granulometría la que se emplee para la realización de la combinación granulométrica con el resto de las fracciones de los áridos naturales y obtener la curva granulométrica final de los diseños con adiciones de RAP.

El contenido de asfalto envejecido del RAP se utiliza para determinar el contenido de asfalto nuevo a adicionar en las mezclas para lograr el porcentaje de asfalto final que se quiera para el diseño. El aporte del asfalto del RAP se puede obtener mediante la ecuación 1 y de no considerarse este o de presentarse una variación puede generar en la mezcla final problemas de exudaciones, contenidos de huecos, deformaciones plásticas e incluso falta de asfalto en las mezclas [11, 12].

$$Pr = Pc - (Pa * Pp) \quad (1)$$

Donde Pr es el porcentaje de asfalto nuevo a adicionar en las mezclas, Pc el porcentaje total de la mezcla, Pa el porcentaje que presenta el RAP y Pp el contenido de RAP en las mezclas.

Para la determinación del contenido de asfalto existen diferentes ensayos dentro de los que se encuentra el de extracción por solvente o el horno de ignición. El ensayo de extracción tiene como objetivo la separación del asfalto y del árido mediante el empleo de un disolvente y un equipo extractor que permite el cálculo del contenido de asfalto luego de realizado el ensayo por diferencia a partir de las masas del árido extraído, de la humedad y del material mineral en el extractor. Por otro lado, con el empleo del horno de ignición el asfalto en las mezclas es quemado y su contenido se calcula como la diferencia entre la masa inicial de la mezcla asfáltica y la masa residual del árido con ajustes por un factor de corrección y por el contenido de humedad, factores que son considerados en el método de extracción. De manera general en ambos métodos de ensayo el contenido de asfalto se expresa como un porcentaje de masa de la mezcla libre de humedad [13].

Los métodos de ensayos analizados no solo se emplean para obtener el contenido de asfalto presente en las mezclas sino también para determinar la granulometría de mezclas asfálticas para control de calidad, aceptación por especificación y estudios de evaluación de mezclas [14].

Producto de la gran importancia que tiene el contenido de asfalto envejecido del RAP y la granulometría del árido presente en este material en el diseño de mezclas asfálticas, en esta investigación se persigue como objetivo evaluar la variación de la granulometría y del contenido de asfalto en las mezclas recicladas a partir de las consideraciones iniciales de los diseños y de los resultados obtenidos al final de la fabricación de los mismos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar los objetivos se fabrican mezclas asfálticas, donde se confecciona la dosificación con las granulometrías de las fracciones de áridos natural y la del árido reciclado sin asfalto. Así mismo el contenido de asfalto nuevo a adicionar en las mezclas se establece según la ecuación 1 anteriormente planteada. Luego de fabricadas las mezclas, se procede a realizarle la extracción por disolvente con el empleo de la centrífuga de flujo continuo; a tres muestras de cada diseño, para separar el asfalto de los áridos y de esta manera determinar el contenido de asfalto total, así como la granulometría de la mezcla. Con los resultados obtenidos en estos parámetros al determinar la estimación inicial en el diseño de las mezclas y con los ensayos (rectificado) se realiza una comparación para obtener las variaciones que presentan estos resultados y su cumplimiento con las tolerancias establecidas en la NC 253: 2005 [15].

2.1. Materiales a emplear en los diseños de las mezclas asfálticas

Para la realización de los diseños de mezclas se emplean tres fracciones de áridos naturales, una de RAP y asfalto 50/70. Los áridos son calizos procedentes de la Cantera de Fontcalent situada en la provincia de Alicante, España (fracciones 0-4mm, 4-12mm y 12-20mm). El RAP obtenido del fresado de los pavimentos, fue sometido a un proceso de homogenización y tamizado para luego ser acopiado en la planta de asfalto de Fontcalent de la Empresa Constructora PAVASAL. Para esta investigación fue usada la fracción 0-10mm. El asfalto es 50/70 procedente de la petrolera REPSOL.

2.2. Caracterización de los materiales

Para caracterizar los materiales se determinaron las propiedades de los áridos naturales, del asfalto, del RAP y de sus materiales componentes según establecen las normativas.

- ✓ Caracterización del asfalto natural.

En la tabla 2 se muestra la caracterización del asfalto natural empleado en la confección de los diseños, así como los rangos especificados en las normas cubanas.

Tabla 2: Caracterización del asfalto natural.

Propiedades	Resultados	Rangos especificados
Penetración (1/10mm)	58	50-70
Punto de Ablandamiento (°C)	50,8	51-58

El asfalto utilizado en el presente trabajo se clasifica como 50/70. Tal y como se indica en la tabla 1, los valores de las propiedades analizadas cumplen con los índices de calidad establecidos en la NC 253: 2005 [15].

✓ Caracterización de árido natural

En la tabla 3 se muestra la caracterización de las tres fracciones de áridos que se emplean para diseñar las mezclas asfálticas en caliente, las cuales cumplen con los criterios de calidad establecidas en las normativas.

Tabla 3: Caracterización de las fracciones del árido natural.

Propiedades	Fracciones de árido natural		
	12-20mm	4-12mm	0-4mm
Peso específico corriente (g/m ³)	2,68	2,69	2,65
Absorción (%)	0,5	0,4	1,02
Desgaste de los Ángeles (%)	28	28	-
Índice de partículas planas y alargadas (%)	16	18	-
Equivalente de arena (%)	-	-	67

✓ RAP

La caracterización del RAP se muestra en la tabla 4, donde además se compararon los resultados obtenidos con los rangos recomendados para cada una de las propiedades, encontrándose los mismos dentro de los límites establecidos.

Para la determinación del contenido de asfalto se utiliza el método extracción mediante el empleo del disolvente percloroetileno [16] y como equipo la centrifuga de flujo continuo según los requerimientos establecidos en la norma española UNE-EN 12697-1 [17].

Tabla 4: Características generales del RAP.

Propiedades	Fracción 0-10mm	Rangos Recomendados [8, 18]
Contenido de asfalto (%)	5,81	Normal: 4,5-6 Máximo: 3-7
Contenido de humedad (%)	3,4	Normal: hasta un 5 Maximo:7-8



2.3. Análisis granulométrico de las fracciones de áridos

En la figura 1 se muestran las curvas obtenidas en el ensayo de granulometría realizado a cada una de las fracciones del árido natural, así como para el árido recuperado del RAP, obtenido con la extracción del asfalto envejecido presente en el material.

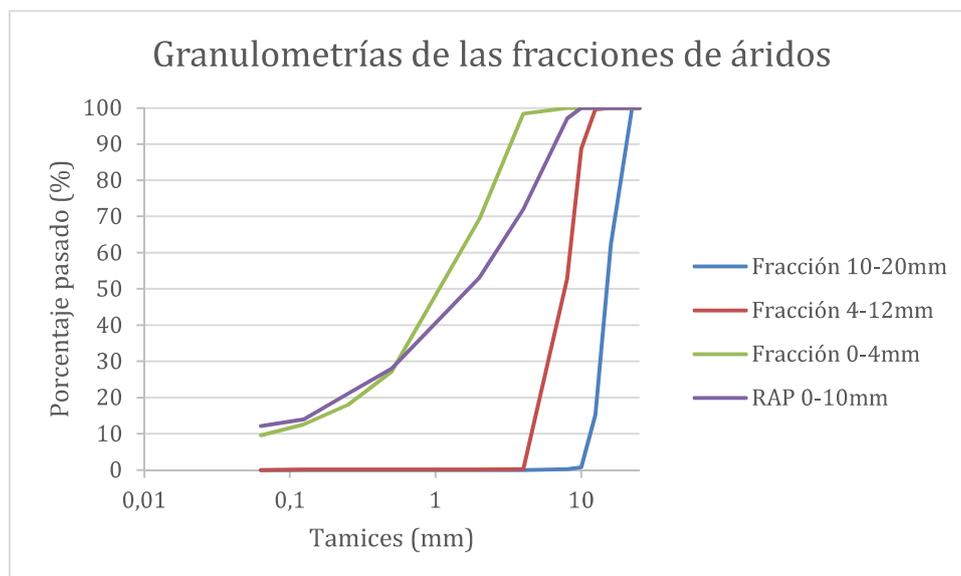


Figura 1: Curvas granulométricas de las fracciones de áridos a emplear en las mezclas.

2.4. Diseños de mezclas

Para la realización de la investigación se confeccionan tres mezclas asfálticas densas de tamaño máximo 19mm, una mezcla convencional (0% de RAP) y dos recicladas con 10% y 20% de RAP, en cada caso se utilizarán cuatro contenidos de asfalto (3,5%, 4,0%, 4,5% y 5%). La mezcla convencional se emplea como patrón para comparar con el resto de las mezclas fabricadas. Para la fabricación de las mezclas estudiadas se emplea el método Marshall (NC 261: 2005) [19] y el material reciclado se adiciona a la mezcla a temperatura ambiente. El RAP obtiene la temperatura por transferencia de calor a partir de aumentar la temperatura de calentamiento de los áridos naturales (tabla 5) para lograr que la temperatura resultante del mezclado de las distintas fracciones de áridos (árido natural y RAP) se encuentren dentro del límite establecido en la NC 261:2005 [19].

Tabla 5: temperatura de calentamiento de los áridos de las mezclas.

Diseños de mezclas	Temperatura del RAP (°C)	Temperatura de calentamiento del árido natural (°C)	Rango de temperatura (°C). NC 261:2005 [19]
0% RAP	25	150	140-155
10% RAP		165	
20% RAP		180	

En la tabla 6 se presenta la combinación granulométrica de cada uno de los diseños de mezclas analizados.

Tabla 6: Combinación granulométricas de los diseños de mezclas.

Diseños de mezclas	Proporción de material por fracción de árido (%)			
	12-20mm	4-12mm	0-4mm	RAP 0-10mm
0% RAP	23	27	50	-
10% RAP	23	27	40	10
20% RAP	23	27	30	20

En la figura 2 se pueden observar las curvas granulométricas de cada una de las mezclas diseñadas en la investigación.

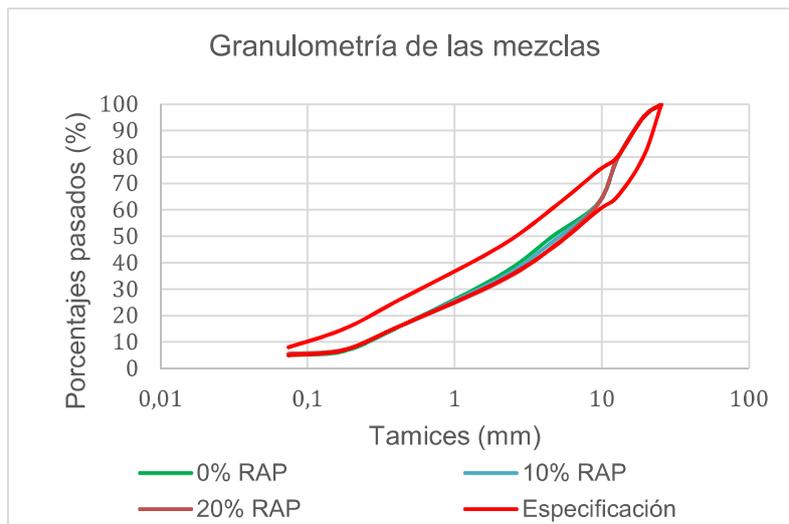


Figura 2: Curvas granulométricas de las mezclas.

2.5. Contenido de asfalto a emplear en las mezclas asfálticas

En la tabla 7 se muestran los contenidos de asfaltos nuevo a adicionar en los diseños de mezclas para los distintos porcentajes de RAP a partir de la aplicación de la ecuación 1.

Tabla 7: Contenidos de asfalto de los diseños de mezclas

Contenido de RAP (%)	Contenido de asfalto envejecido en el RAP (%)	Contenido de asfalto total en la mezcla (%)	Contenidos de asfalto nuevo a adicionar en las mezclas (%)
0% RAP	5,81	3,5	3,5
		4,0	4,0
		4,5	4,5
		5,0	5,0
10% RAP		3,5	2,9
		4,0	3,4
		4,5	3,9
20% RAP		5,0	4,4
		3,5	2,3
		4,0	2,8
		4,5	3,3
			5,0

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con los resultados obtenidos de contenido de asfalto y granulometrías de las mezclas después de fabricadas (rectificadas) se realiza una comparación entre estos y los parámetros iniciales fijados en el diseño de las mezclas para verificar de esta manera que las variaciones entre ambos se encuentren dentro de las tolerancias establecidas en la NC 253: 2005 [15].

3.1. Análisis granulométrico

Las granulometrías de las mezclas después de fabricadas y extraído el asfalto se obtuvieron para los cuatro contenidos de asfalto estudiados (3,5%, 4%, 4,5% y 5%). A partir de esta y de la granulometría inicial se hallaron las diferencias entre ambas para posteriormente ser comparadas con las tolerancias establecidas en la NC 253: 2005 [15] como se muestra en la tabla 8 a la 10. Además, en la figura 3 a la 5 se puede observar el comportamiento granulométrico de las mismas y su cumplimiento con los husos granulométricos establecidos para una mezcla densa de tamaño máximo 19mm.

✓ Mezclas con 0% de RAP.

Tabla 8: Variaciones de las granulometrías de las mezclas con 0% de RAP.

Tamices (mm)	Granulometrías (porcentaje pasado)					Diferencias entre las granulometrías en función del contenido de asfalto				Tolerancias NC 253: 2005 [15].
	Inicial	Rectificada en función del contenido de asfalto				3,5%	4,0%	4,5%	5,0 %	
		3,5%	4%	4,5%	5%					
25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19,1	95,0	100,0	100,0	99,0	100,0	-5,0	-5,0	-4,0	-5,0	
12,7	79,3	85,0	87,0	88,0	83,0	-5,7	-7,7	-8,7	-3,7	±7
9,52	62,8	75,0	76,0	74,0	75,0	-12,2	-13,2	-11,2	-12,2	±5
4,7	50,3	50,0	51,0	52,0	48,0	0,3	-0,7	-1,7	2,3	
2	35,1	31,0	31,0	32,0	32,0	4,1	4,1	3,1	3,1	
0,42	15,9	13,0	8,0	8,0	9,0	2,9	7,9	7,9	6,9	±4
0,177	6,6	5,0	5,0	5,0	5,0	1,6	1,6	1,6	1,6	±2
0,074	5,0	3,8	3,9	3,7	3,8	1,2	1,1	1,3	1,2	±1

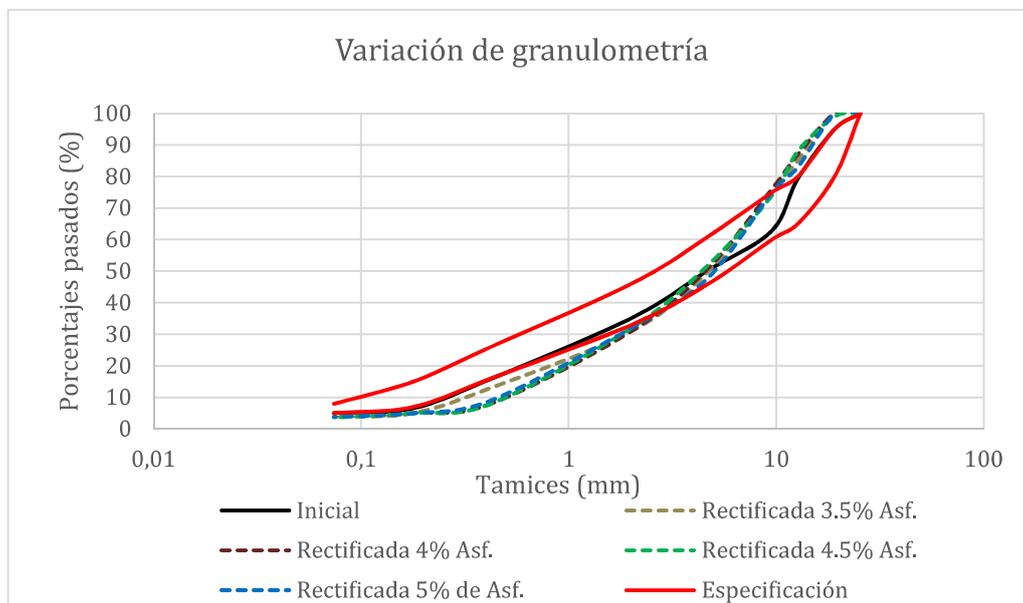


Figura 3: Curvas granulométricas de los diseños con 0% de RAP.

Como se puede apreciar en la tabla 8 las variaciones entre la granulometría inicial y la rectificadas de los diseños de mezclas con 0% de RAP para cada uno de los contenidos de asfalto analizados se encuentran por fuera de las tolerancias establecidas para cada uno de los tamices de control excepto en el tamiz 0,177mm. Las mayores variaciones se aprecian en el tamiz 9,52mm.

En la figura 3 se puede observar como las curvas granulométricas rectificadas incumplen con los requerimientos establecidos en la NC 253:2005 [15] para una mezcla densa de tamaño máximo 19mm, evidenciándose que las mezclas presentan ausencia de fino, además se evidencia que entre las mezclas rectificadas, para cada contenido de asfalto, no existen diferencias excepto en el tamiz 0,42mm y solo entre la curva con 3,5% de asfalto y el resto, por lo que existe una homogeneidad entre ellas.

- ✓ Mezclas con 10% de RAP.

Tabla 9: Variaciones de las granulometrías de las mezclas con 10% de RAP

Tamices (mm)	Granulometrías (porcentaje pasado)					Diferencias entre las granulometrías en función del contenido de asfalto				Tolerancias NC 253: 2005 [15].
	Inicial	Rectificada en función del contenido de asfalto				3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	
		3,5%	4%	4,5%	5%					
25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19,1	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	
12,7	79,3	85,0	91,0	83,0	76,0	-5,7	-11,7	-3,7	3,3	±7
9,52	62,7	75,0	79,0	71,0	68,0	-12,3	-16,3	-8,3	-5,3	±5
4,7	48,3	47,0	52,0	45,0	40,0	1,3	-3,7	3,3	8,3	
2	33,9	30,0	33,0	30,0	27,0	3,9	0,9	3,9	6,9	
0,42	16,0	9,0	10,0	8,0	7,0	7,0	6,0	8,0	9,0	±4
0,177	6,9	6,0	7,0	5,0	5,0	[1] 0,9	[2] -0,1	[3] 1,9	[4] 1,9	±2
0,074	5,3	4,6	5,0	4,1	3,7	0,7	0,3	1,2	1,6	±1

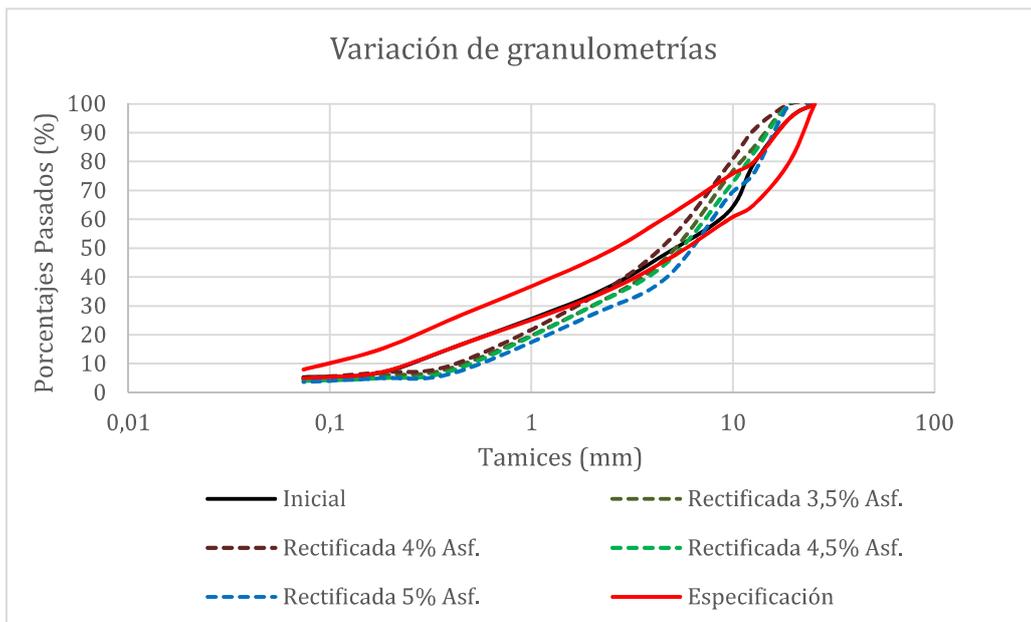


Figura 4: Curvas granulométricas de los diseños con 10% de RAP.

En la tabla 9 se aprecia que todas las mezclas presentan variaciones por encima de las tolerancias establecidas en la NC 253: 2005 [15], obteniéndose los mayores resultados en el tamiz de control 9,52mm. En la figura 4 se puede observar también como las granulometrías rectificadas obtenidas presentan ausencia de finos y no cumplen con las especificaciones establecidas en la NC 253: 2005 [15], evidenciándose una homogeneidad en el comportamiento de las curvas granulométricas, aunque con diferencias entre ellas más notables que la mezcla son RAP.

- ✓ Mezclas con 20% de RAP.

Tabla 10: Variaciones de las granulometrías de las mezclas con 20% de RAP.

Tamices (mm)	Granulometrías (porcentaje pasado)					Diferencias entre las granulometrías en función del contenido de asfalto				Tolerancias NC 253: 2005 [15]
	Inicial	Rectificada en función del contenido de asfalto				3,5%	4,0%	4,5%	5,0 %	
		3,5%	4%	4,5%	5%					
25,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19,1	95,0	100,0	100,0	100,0	99,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,0	
12,7	79,3	94,0	85,0	85,0	88,0	-14,7	-5,7	-5,7	-8,7	±7
9,52	62,6	73,0	77,0	73,0	79,0	-10,4	-14,4	-10,4	-16,4	±5
4,7	46,3	44,0	48,0	44,0	45,0	2,3	-1,7	2,3	1,3	
2	32,7	28,0	31,0	30,0	30,0	4,7	1,7	2,7	2,7	
0,42	16,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0	±4
0,177	7,2	5,0	7,0	6,0	7,0	2,2	0,2	1,2	0,2	±2
0,074	5,6	4,1	5,4	4,9	4,9	1,5	0,2	0,7	0,7	±1

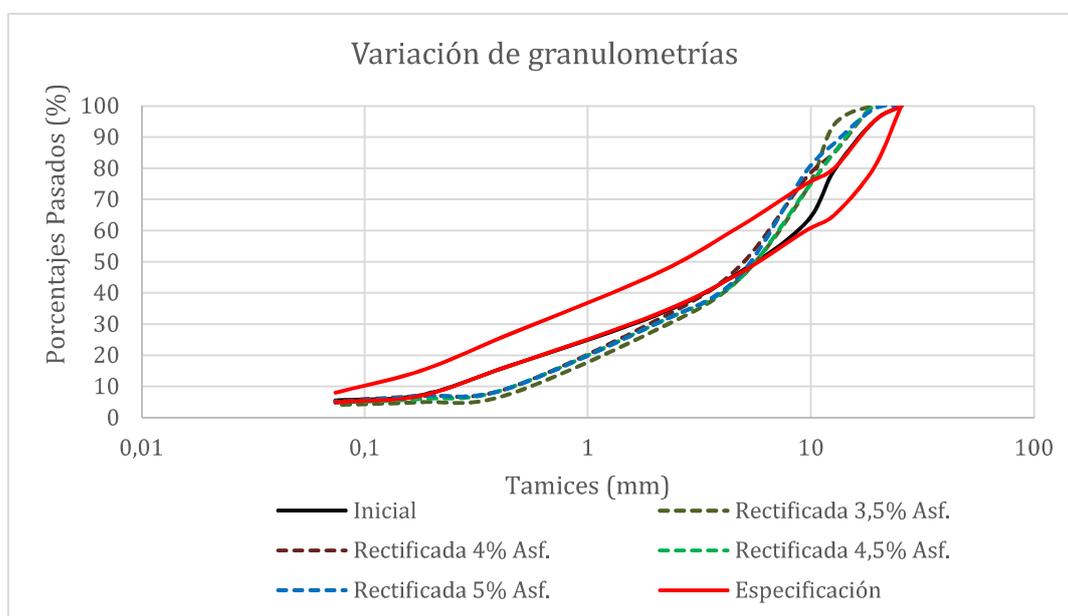


Figura 5: Curvas granulométricas de los diseños con 20% de RAP.

En la tabla 10 se muestran que las variaciones obtenidas entre las granulometrías analizadas presentan valores fuera de las tolerancias establecidas para cada tamiz de control y obteniéndose las mayores variaciones para el tamiz 9,52mm nuevamente. Además, se puede observar en la figura 5 que todos los diseños presentan granulometría rectificadas que no cumplen con las especificaciones granulométricas establecidas en la NC 253: 2005 [15], al igual que para las mezclas analizadas anteriormente se evidencia una ausencia de fino. Las granulometrías rectificadas presentan una homogeneidad entre ellas ya que todas presentan el mismo comportamiento.

Luego de analizadas las variaciones entre las granulometrías para cada uno de los diseños de mezclas con adiciones de RAP (0%, 10% y 20%) y en función de los contenidos de asfalto, se obtiene que estas se encuentran fuera del rango permitido por las tolerancias de los tamices de controles. Además, todos los diseños rectificadas presentaron curvas granulométricas por fuera de los husos establecidos en la normativa NC 253: 2005 [15] evidenciándose ausencia de fino en las mismas, lo que puede estar provocado por realizar una combinación granulométrica de las fracciones del árido natural y del RAP empleado cercana en todo momento a los límites máximos y mínimos establecidos.

A partir de la homogeneidad que presentan las granulométricas rectificadas de los diseños analizados y su similitud en sus comportamientos o tendencia de las curvas se sugiere revisar la granulometría de la mezcla a partir de la combinación de las distintas fracciones de áridos (natural y recuperado del RAP) para verificar su coincidencia con la teórica diseñada.

3.2. Contenido de asfalto

Con el ensayo de extracción por solvente realizada a las muestras de los diseños de mezclas analizados se obtuvieron los contenidos de asfalto que presentaban estas mezclas luego de su fabricación. Por lo que en la tabla 11 se muestra un resumen de los contenidos de asfalto estudiados durante la investigación, para de esta manera realizar una comparación entre estos (total y rectificado) y verificar si las variaciones entre ambos porcentajes se encuentran dentro de la tolerancia establecida en la NC 253: 2005 [15].

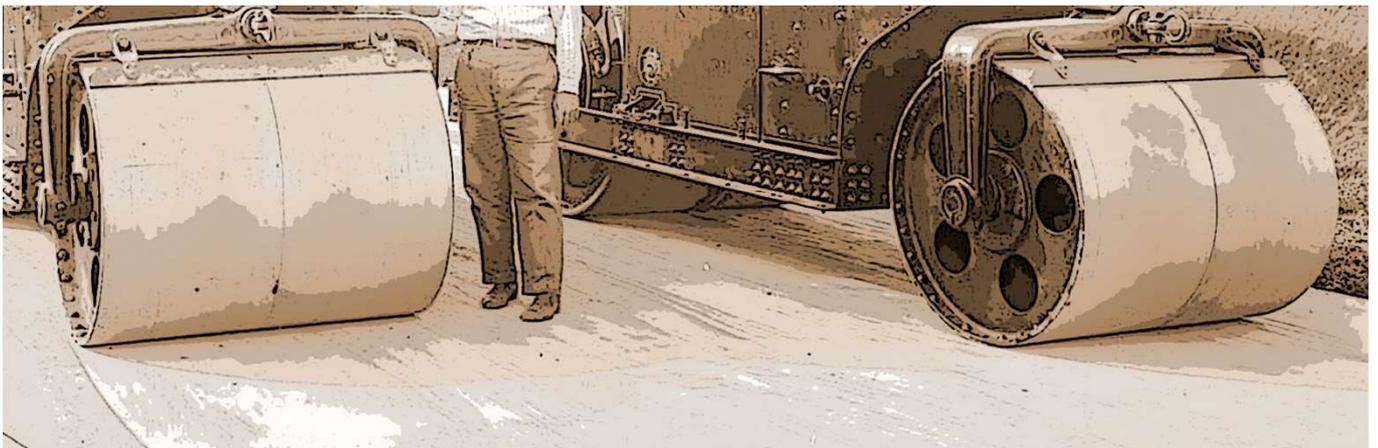
Tabla 11: Diferencias en el contenido de asfalto de los diseños de mezclas.

Diseños de mezclas	Contenidos de asfalto (%)	Contenido de asfalto (%)			Diferencias (total y rectificado)	Tolerancias NC 253: 2005 [15].
		Nuevo	Total	Rectificado		
0% RAP	3,5	3,5	3,5	3,49	-0,01	±0,3
	4	4	4,0	4,92	+0,92	
	4,5	4,5	4,5	4,41	-0,09	
	5	5	5,0	4,76	-0,24	
10% RAP	3,5	2,9	3,5	3,5	0	
	4	3,4	4	4,31	+0,31	
	4,5	3,9	4,5	4,11	-0,39	
	5	4,4	5	3,86	-1,14	
20% RAP	3,5	2,3	3,5	3,38	-0,12	
	4	2,8	4	4,04	+0,04	
	4,5	3,3	4,5	4,22	-0,28	
	5	3,8	5	4,78	-0,22	

Con los resultados obtenidos en la tabla 11 se evidencia como los diseños de mezclas con 0% y 20% de RAP presentan, para todos los contenidos de asfalto a estudiar, variaciones dentro de las tolerancias establecidas. Además, se observa en los diseños que no presentan RAP, que con la realización de la extracción de asfalto los contenidos obtenidos son inferiores al que realmente debería tener, lo que se le atribuye a que este ensayo tiene como inconveniente que el asfalto no es extraído completamente, es decir que se dejan residuos de este material en los áridos recuperados [20]. Con respecto a los diseños que presentan RAP se obtienen las mayores variaciones para las mezclas con 10% ya que en estas solo para un 3,5% de asfalto no se sobrepasa las tolerancias.

4. CONCLUSIONES

1. Las curvas granulométricas determinadas mediante la estimación inicial a partir de la combinación granulométrica de las distintas fracciones de áridos (árido natural y árido recuperado del RAP) y la rectificadas obtenidas mediante ensayo luego de fabricadas las mezclas, arrojan variaciones entre ellas que incumplen con las tolerancias establecidas en la NC 253: 2005, obteniéndose los mayores resultados para el tamiz 9,52mm.
1. Las curvas granulométricas rectificadas obtenidas luego de fabricados los diseños de mezclas para los distintos porcentajes de asfalto incumplen con los husos granulométricos establecidos para una mezcla densa de tamaño máximo 19mm evidenciándose, además, que presentan ausencia de fino.
2. Las variaciones obtenidas entre el contenido de asfaltos estudiados (inicial y rectificadas) para los diseños de mezclas con 0% y 20% de RAP se encuentran dentro del límite establecido por la NC 253: 2005.



1. L. F. M. Beltrán, "Pavimento asfáltico eco-sostenible con pavimento asfáltico recuperado RAP, aplicaciones y beneficios en Colombia," Ing. Tesis de diploma, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2021, <http://hdl.handle.net/10654/39686>,
2. S. P. M. Perez and P. A. A. O. Maicelo, "Use of recycled asphalt as an aggregate for asphalt mixtures: literary review," Innovative Infrastructure Solutions, vol. 6, pp. 1-11, 2021.
3. R. M. Martínez, A. A. Aenlle and M. G. Lobera, "Mezclas asfálticas de bajo impacto ambiental para la rehabilitación de las carreteras en Cuba," Revista Cubana de Ingeniería, vol. 8, pp. 14-23, 2017.
4. F. Miranda-Argüello and J. P. Aguiar-Moya, "Mezclas asfálticas con RAP: pavimentos asfálticos reciclados.," PITRA LanammenUCR, vol. 10, 2019.
5. J. D. Minguela, "Reflexiones sobre el reciclado de firmes. Una rehabilitación estructural de moda y definitiva," Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, pp. 51-59, 2020.
6. A. C. A. Saravia and R. I. Reymundez, "Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente," Ing. Tesis de diploma, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, Facultad de Ingeniería, 2020, <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3689>,
7. R. J. P. Morales, "Estudio y análisis de los procesos de obtención, almacenamiento y uso del material de pavimento asfáltico reciclado en las diferentes obras viales.," Ing. tesis de diploma, Ingeniería Civil, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia., 2021, <http://hdn.handel.net/10495/21785>,
8. J. A. Ibarra, "Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta," Departamento de infraestructura del transporte y del territorio, , Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2003, 84-688-2900-5.
9. F. J. P. d. T. González, "Innovación y desarrollo en las mezclas asfálticas en la Red de Carreteras del Estado," Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera, vol. Extraordinario, 2013.
10. PG-4, Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de conservación de carretera (PG-4). M. Dirección General de Carreteras, 2002.
11. I. J. M. Fournier, "Obtención de una mezcla asfáltica en caliente a partir de la utilización del pavimento asfáltico recuperado.," Departamento de Ingeniería Vial, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, marzo 2019,
12. J. F. Sanjuán, "Reciclado en caliente de capas bituminosas.," Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera, vol. Extraordinario CILA, 2013.
13. INV E- 732-13, Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos, AASHTO, 2012.
14. INVE-729-07, Método para determinar el contenido de asfalto de mezclas en caliente por ignición., AASTHO, 2007.
15. NC 253: 2005 Carreteras. Materiales bituminosos. Hormigón asfáltico en caliente. Especificaciones., O. N. d. Normalización, 2005.
16. I.N.V.E-729-07, Método para determinar el contenido de asfalto de mezclas en caliente por ignición., 2007.
17. UNE-EN 12697-1, Contenido de ligante soluble, C. T. A. C. 41, 2013.
18. F. E. P. Jiménez, R. M. Recasens and C. M. Laínez, "Proyecto Paramix. Investigación sobre reciclado de pavimentos," Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera, pp. 77-85, 2003.
19. NC 261: 2005, Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall., O. N. d. N. (NC), Abril 2005.
20. E. Y. HAij, P. E. Sebalý, R. West, N. Morian and L. Loria, "Recommendations for the Characterization of RAP aggregate properties using traditional testing and mixture volumetrics," Road Materials and Pavement Design., vol. 12, pp. 209-233, 2012.

