

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS DE ELASTOMERO Y PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO PARA SU REUTILIZACION EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA CIUDAD DE CALCETA, MANABÍ – ECUADOR.**

Gabriel Antonio Navarrete Schettini; Alumno del Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de San Marcos; Docente de la Carrera de Ingeniería Agrícola en la Escuela Superior Politécnica de Manabí – MFL; E-mail: [gabnav@hotmail.com](mailto:gabnav@hotmail.com); Magister Educación y desarrollo social, Universidad Tecnológica Equinoccial

María Fabiola Ávila Martínez; Alumna del Master de Dirección y Gestión de Empresas (MBA), Universidad Internacional de la Rioja - España; E-mail: [fabivila13@hotmail.com](mailto:fabivila13@hotmail.com); Ingeniera en Contabilidad y Auditoría, Universidad Técnica Particular de Loja.

Jeferson Fabián Vélez Hidalgo; Alumno de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”; E-mail: [jfabianvh\\_94@outlook.es](mailto:jfabianvh_94@outlook.es).

Leonela Marilú Murillo Párraga; Alumna de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”; E-mail: [leonemu1997@gmail.com](mailto:leonemu1997@gmail.com).

## RESUMEN

El propósito de la investigación fue Diseñar Mezclas Asfálticas integrando residuos sólidos de neumáticos fuera de uso (elastómero) y pavimento asfáltico envejecido en el Cantón Bolívar – Provincia de Manabí, Ecuador. Los factores en estudio fueron: el elastómero en los niveles 4%, 8%, 12% y 16% y la granulometría fina, media y gruesa, empleando 52% de pavimento asfáltico envejecido. Se empleó el Diseño Completamente al Azar en un arreglo bifactorial GxE+1 con 13 tratamientos y 3 repeticiones, donde G corresponde a la granulometría de áridos utilizados y E al elastómero. En el diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido, permitió concluir que la adición de 4%, 8% y 12% de elastómero en las curvas granulométricas media y fina, obtuvieron un buen comportamiento para ser utilizado en vías de tráfico liviano y medio, en el Cantón Bolívar – Provincia de Manabí, Ecuador.

**Palabras claves:** elastómero, pavimento asfáltico envejecido, residuos sólidos, reutilización.

## I. INTRODUCCIÓN

Se estima que en el mundo hay aproximadamente 800 millones de autos y vehículos comerciales en uso y casi 70 millones de unidades se añaden a ese número cada año (BIR, 2016), así mismo en el Ecuador cada año se desechan alrededor de 2,4 millones de neumáticos (Castro, 2015) y es necesario encontrar una alternativa que ofrezca la mayor resistencia posible al desgaste en su uso, estimando su descomposición natural en más de 600 años.

El reciclado de pavimentos asfálticos se realiza sobre materiales deteriorados que han perdido en grandes medidas sus propiedades iniciales. El aprovechamiento de los materiales fresados mediante el reciclado resulta técnicamente viable, enriqueciéndolo con la adición de materiales pétreo (CEDEX, 2011).

Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria,

pueden tener varios usos. Según Grytsenko, Pozdniakova y Vnukova (2016) una de las aplicaciones para caucho granulado es la aplicación como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras; confiere unas características especiales, pudiendo ser utilizado como caucho en la capa de rodadura, de esta manera ayuda a obtener mayor tiempo de vida, más elasticidad, menos deformaciones, mayor resistencia al agrietamiento, mayor resistencia al arrastramiento; también tiene la característica de pavimento drenante y le otorgaría a la mezcla asfáltica impedimento en la acumulación de agua, incrementando su adherencia, evitando proyecciones de agua, dando buenas condiciones ópticas y bajo nivel de ruido.

Lacamara (2014) menciona que dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por Kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso. El reciclado de pavimentos constituye una alternativa de rehabilitación de pavimentos más competitiva y sostenible, ya que permite minimizar la utilización de recursos no renovables, agregados naturales y asfalto; y previene la creación de residuos y la ocupación de botaderos (Paiva y Ramos, 2014). Comprende una serie de técnicas constructivas tendentes al aprovechamiento integral de materiales envejecidos de firmes y pavimentos. De acuerdo con la Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech (UPCB, s,f) aprovechando el material envejecido se podría contar con los áridos y el betún que contienen como sustitutivos de materiales nuevos, reduciendo el coste del material de la mezcla reciclada. Con una tasa de reciclaje del orden del 25-30%, en cada tonelada de mezcla hay un ahorro de este porcentaje en áridos nuevos y en torno a un 1% de nuevo ligante, a su vez reduce la generación de residuos y la problemática de gestión de los mismos, ofreciendo ahorro de recursos naturales.

Resulta importante desarrollar una propuesta para reutilizar en los ámbitos socio – económico y ambiental, ya que por un lado la elevada cantidad de personas excluidas del sistema y que basan sus ingresos en la recuperación

informal de lo que otros desechan, están expuestos a peligros sanitarios, cabe resaltar que dentro de este sector informal, es importante el número de niños y niñas que encuentran en el trabajo de recuperación de residuos la única forma de sobrevivir ante una sociedad muchas veces indiferente (Lecitra, 2010). De esta forma se propone Diseñar Mezclas Asfálticas integrando residuos sólidos de neumáticos fuera de uso (elastómero) y pavimento asfáltico envejecido para su reutilización en el Cantón Bolívar – Provincia de Manabí, Ecuador.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Diseño experimental

Para la realización de este trabajo se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) en un arreglo bifactorial (GxE+1) con 13 tratamientos y 3 repeticiones donde (G) corresponde a la granulometría de áridos utilizados y (E) a elastómero, y un total de 39 unidades experimentales. Se utilizó el software InfoStat para determinar el coeficiente de variación del error (CV%), y en las variables donde se constató diferencias estadísticas se realizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad del error.

### 2.2 Dosificación de los áridos

La dosificación de los materiales y tolerancia fueron determinadas de acuerdo con la sección 405, capa de rodaduras en la tabla 405-5.1, la cual es la recomendada por las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes Ministerio de transportes y obras públicas del Ecuador (MTOPE, 2002).

**Cuadro 2.1** Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes de acuerdo a la tabla 405-5.1 del Ministerio de transporte y obras públicas. (MTOPE, 2002).

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

### 2.3 Gradación de los materiales

Se realizó el ensayo de abrasión al material de  $\frac{1}{2}$ , el cual se lo realizó con la graduación B, la cual consiste en obtener material obtenido de la granulometría, utilizando 2500 gramos  $\pm 2$  pasante del tamiz 19 mm o n°  $\frac{3}{4}$  - retenidos en el 12,5 mm o n°  $\frac{1}{2}$  y 2500 gramos  $\pm 2$ , pasante del tamiz 12,5 mm o n°  $\frac{1}{2}$ , retenido en el 9,5 mm o n°  $\frac{3}{8}$ , y se coloca en la máquina de los Ángeles y se da 500 vueltas. Una vez terminada se saca el material y se lo tamiza por el 1,70 mm o n° 12, se lava y se seca a 110 °C. Luego se secó y se procedió a pesar para su cálculo de coeficiente de desgaste.

El ensayo de masa unitaria o peso volumétrico, el cual consiste en tener los materiales ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{8}$ , cisco y arena) totalmente secos, moldes metálicos con pesos y volúmenes conocidos para realizar los ensayos, el que consiste en añadir material de una forma constante hasta llenar el recipiente enrasando y pesando, repitiendo el procedimiento por 3 ocasiones para conocer la masa unitaria suelta; para la masa unitaria compactada se llena el recipiente en tres capas iguales se da 25 varilladas por capa. Una vez realizados los ensayos a los materiales de  $\frac{1}{2}$  (Árido 1),  $\frac{3}{8}$  (Árido 2), cisco (Árido 3) y arena (Árido 4), se procede a la digitación y cálculo de resultados, de la siguiente manera:

Se realiza la determinación de la mezcla de los agregados, (utilizando porcentajes de cada pasante de la granulometría obtenida y así realizar la graduación combinada para la mezcla). Los porcentajes de cada uno de los materiales a utilizar en este diseño son;  $\frac{1}{2}$  =12%,  $\frac{3}{8}$ =28%, cisco=45% y arena=15%. Una vez obtenidos los porcentajes de la mezcla en la granulometría se procede al cálculo de la gravedad específica combinada de los agregados, utilizando las gravedades específicas (Sd, Sa y A) de cada uno de los materiales.

Cuadro 2.2 Mezcla de los agregados.

GRADUACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	12%	12.0	6.2	0.3	0.3	0.2	0.2
Árido No. 2	28%	28.0	28.0	4.9	1.1	0.9	0.7
Árido No. 3	45%	45.0	45.0	42.5	27.5	12.4	5.7
Árido No. 4	15%	15.0	15.0	14.9	14.5	4.4	0.2

GRANULOMETRÍA OBTENIDA	100.0	94.2	62.5	43.3	18.0	6.8
ESPECIFICACIÓN	100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRÍA ESPERADA	100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El Investigador, 2018

## 2.4 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto

Utilizando el diseño de Marshall para la obtención del porcentaje óptimo de asfalto definido partiendo de la curva de vacíos, la cual obtuvo 6,2%, se procede a obtener los otros resultados de las curvas tales como, Pesos Unitarios (densidad), Vacíos, Estabilidad, Vacíos de Agregado Mineral, Flujo y VFA.

Cuadro 2.3 Diseño de Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto.

Propiedades	% Asfalto - diseño	Valor obtenido	Exigencias (MTOP, 2002) y Garnica <i>et al.</i> (2004)
Estabilidad	6.20	2546	> 1800 lb
Flujo	6.20	12,0	8 - 16 pulg/100
Peso unitario	6.20	2281	<2000
Vacíos en mezcla	6.20	4,0	3,0 – 5,0%
Vacíos en agregados	6.20	15,20	> 13%
Vacíos rellenos asfalto	6.20	71	65 - 75%

Fuente: El Investigador, 2018

## 2.5 Integración del pavimento asfáltico envejecido y del elastómero

El moldeo y ensayos de las briquetas para esta investigación se las realizó de la misma forma ya antes mencionada, solo con la inclusión del polvo de neumático y pavimento asfáltico envejecido. Los agregados pétreos fueron mezclados individualmente sin la adición de los residuos sólidos, manteniendo temperaturas con máximos y mínimos (160 °C – 80 °C). En el cuadro 2.4, se muestran los valores promedio de las exigencias del diseño de Marshall, donde se utilizó 52% de pavimento asfáltico envejecido y se determinó que el pavimento asfáltico no cumple con las exigencias propuestas por MTOP (2002) y Garnica *et al.* (2004), por lo tanto, se integró agregados pétreos.

Los materiales modificadores utilizados son las partículas de elastómero triturado o pulido y los agregados, los dos materiales dispuestos en tamaño: pasante del tamiz No. 10 y retenido en el tamiz No. 40., para elastómero y para agregados serán de acuerdo a la faja granulométrica.

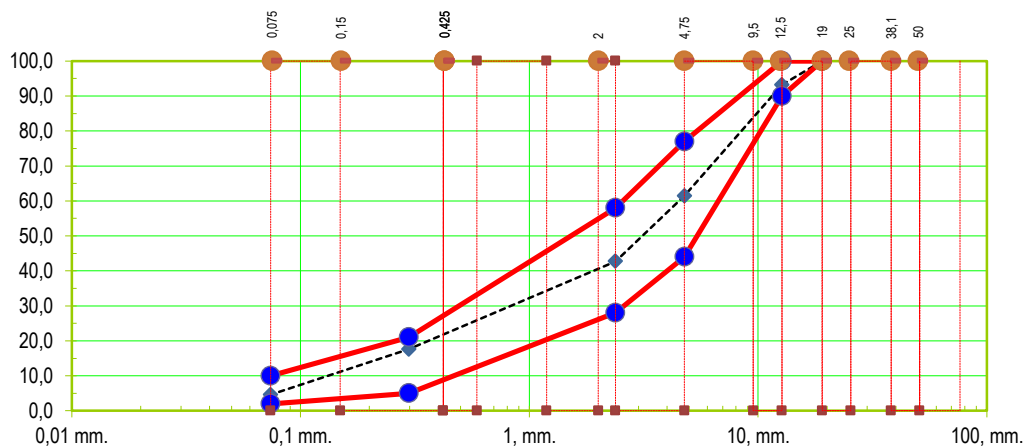
**Cuadro 2.4** Diseño de Marshall del pavimento asfaltico envejecido

Propiedades	% Asfalto - diseño	Valor obtenido	Exigencias (MTO, 2002) y Garnica <i>et al.</i> (2004)
Estabilidad	5,70	3381	> 1800 lb
Flujo	5,70	15,5	8 - 16 pulg/100
Peso unitario	5,70	2174	>2000
Vacíos en mezcla	5,70	6,37	3,0 – 5,0%
Vacíos en agregados	5,70	19,62	> 13%
Vacíos rellenos asfalto	5,70	67,37	65 - 75%

En los cuadros 2.5, 2.6 y 2.7, y graficas 2.1, 2.2 y 2.3 se muestran las distintas curvas granulométricas con 52% de pavimento asfaltico envejecido enriquecido con agregados pétreos.

**Cuadro 2.5** Graduación granulométrica centrada del pavimento asfaltico envejecido enriquecido con agregados pétreos.

GRADUACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	10%	10.0	4.8	0.2	0.2	0.1	0.1
Árido No. 2	16%	16.0	16.0	2.3	0.7	0.5	0.4
Árido No. 3	16%	16.0	16.0	15.3	10.2	4.8	2.0
Árido No. 4	6%	6.0	6.0	5.9	5.8	1.7	0.1
<b>Reciclado</b>	<b>52%</b>	<b>52.0</b>	<b>50.4</b>	<b>37.7</b>	<b>25.8</b>	<b>10.5</b>	<b>2.0</b>
GRANULOMETRÍA OBTENIDA		100.0	93.2	61.4	42.7	17.6	4.6
ESPECIFICACIÓN		100	90 - 100	44 – 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRÍA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0



**Figura 2.1** Curva granulométrica centrada del pavimento asfaltico envejecido enriquecido con agregados pétreos

**Cuadro 2.6** Graduación granulométrica fina del pavimento asfaltico envejecido enriquecido con agregados pétreos

GRADUACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	8%	8.0	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1
Árido No. 2	8%	8.0	8.0	1.2	0.3	0.3	0.2
Árido No. 3	26%	26.0	26.0	24.9	16.6	7.8	3.3
Árido No. 4	6%	6.0	6.0	5.9	5.8	1.7	0.1
<b>Reciclado</b>	<b>52%</b>	<b>52.0</b>	<b>50.4</b>	<b>37.7</b>	<b>25.8</b>	<b>10.5</b>	<b>2.0</b>

GRANULOMETRÍA OBTENIDA	100.0	94.2	69.8	48.8	20.3	5.6
ESPECIFICACIÓN	100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRÍA ESPERADA	100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

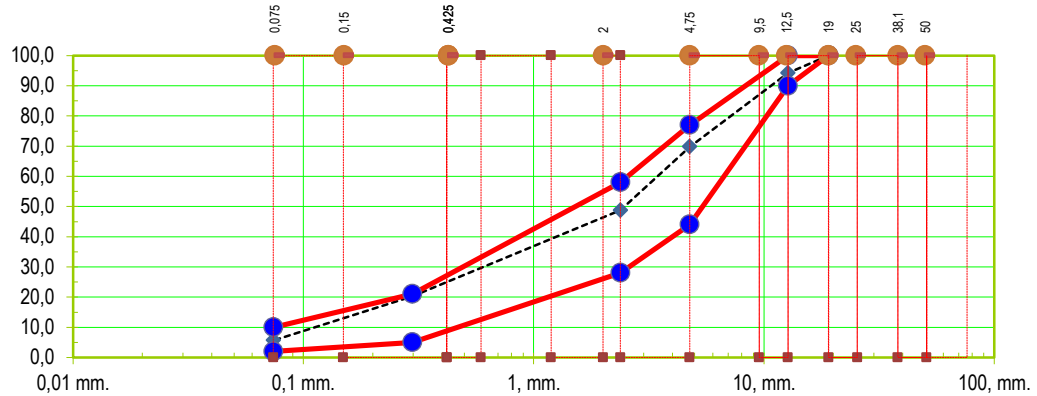


Figura 2.2 Curva granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido con agregados pétreos

Cuadro 2.7 Curva granulométrica gruesa asfáltico envejecido enriquecido con agregados pétreos

GRADUACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	8%	8.0	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1
Árido No. 2	8%	8.0	8.0	1.2	0.3	0.3	0.2
Árido No. 3	26%	26.0	26.0	24.9	16.6	7.8	3.3
Árido No. 4	6%	6.0	6.0	5.9	5.8	1.7	0.1
<b>Reciclado</b>	<b>52%</b>	<b>52.0</b>	<b>50.4</b>	<b>37.7</b>	<b>25.8</b>	<b>10.5</b>	<b>2.0</b>
GRANULOMETRÍA OBTENIDA	100.0	94.2	69.8	48.8	20.3	5.6	
ESPECIFICACIÓN	100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10	
GRANULOMETRÍA ESPERADA	100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0	

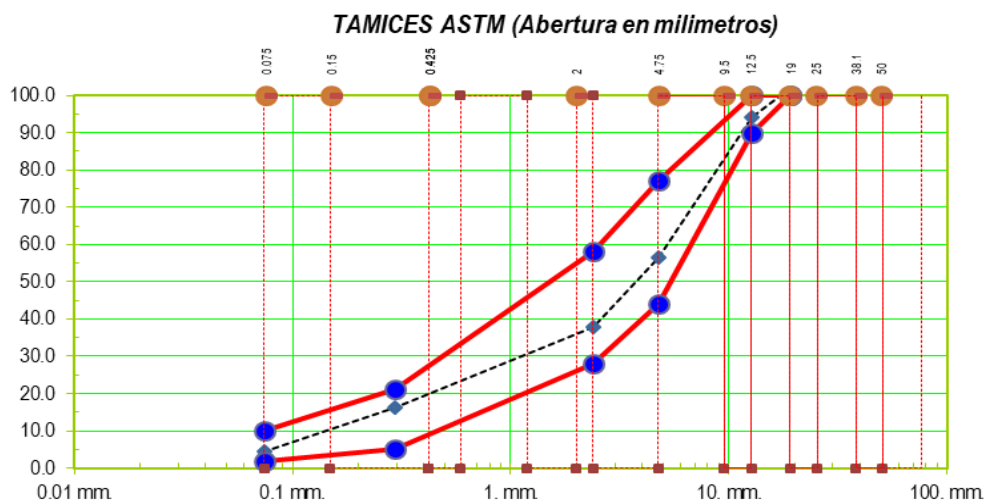


Figura 2.3 Curva granulométrica gruesa del pavimento asfáltico envejecido con agregados pétreos

Una vez establecido el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla que es el 6,2 %, se procede a agregar mediante proceso de vía seca, el polvo de neumático en diferentes porcentajes partiendo desde el 4% hasta el 16%.



## **2.6 Variables a evaluar en las mezclas asfáltica**

Se utilizó el diseño de Marshall para evaluar las mezclas asfálticas, se determinó densidad bulk, estabilidad, flujo, vacíos en la mezcla, vacíos en agregados minerales, y vacíos en rellenos de asfalto, de acuerdo a las especificaciones del Manual de Especificaciones MTOP--001-F-2002 (MTOP, 2002) y Garnica *et al.* (2004) (Anexo 1).

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Densidad bulk**

En el cuadro 3.1, se observa los valores promedios de la variable densidad Bulk. El análisis de varianza no determinó diferencias estadísticas para el factor G (granulometría), factor E (elastómero), interacción (G x E) y en la comparación factorial versus testigo.

#### **3.2 Porcentaje de vacíos en la mezcla**

En el cuadro 3.1, se observa los valores promedios de la variable porcentaje de vacíos en la mezcla, el análisis de varianza no determinó diferencias estadísticas para el factor E (elastómero), interacción (G x E) y en la comparación factorial versus testigo, a excepción del factor G (granulometría).

La prueba de significancia determinó dos rangos de similitud estadística en el factor G (Granulometría), donde el mejor porcentaje de vacíos en la mezcla correspondió a G1 (granulometría fina) con 4,26% de vacíos, seguido de G2 (Granulometría media). MTOP (2002) señala que 5% es el valor máximo exigido en porcentaje de vacíos por lo tanto la granulometría gruesa con 5% no cumple con las exigencias. Coincidiendo con Garzón y Yanchara (2013) quienes mencionan que el porcentaje permitido de vacíos en muestras de laboratorio para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 %.

#### **3.3 Estabilidad**

En el cuadro 3.1, se observa los valores promedios de la variable estabilidad, el análisis de varianza determinó diferencias estadísticas significativas para el factor G (granulometría), factor E (elastómero), interacción (G x E) y la comparación factorial versus testigo. En la prueba de significancia realizada en el factor G (Granulometría), estableció dos rangos de similitud estadística,

siendo G2 (granulometría media) quien obtuvo mayor estabilidad con 2880,86 lb; en cambio G3 (granulometría gruesa) con 2640,34 lb obtuvo la estabilidad más baja. Asimismo, en la prueba de significancia realizada al factor E (Elastómero), determino tres rangos de similitud estadística, donde E3 (elastómero 12%) se destacó con mayor estabilidad con 3018,18 lb; y E4 (elastómero 16%) con 2472,87 lb obtuvo la estabilidad más baja. En la prueba de significancia realizada a la interacción (G x E), se establecieron 4 rangos de similitud estadística, donde G2E3 (granulometría media – 12% de elastómero) y G1E3 (granulometría fina – 12% de elastómero) con 3119,73 lb y 3042,36 lb respectivamente, se destacaron con la mayor estabilidad, mientras que G3E4 (granulometría gruesa – elastómero 16%) obtuvo la estabilidad más baja con 2310,61 lb. En la comparación factorial versus testigo, se establecieron tres rangos de similitud estadística, destacándose el factor G con 2790,10 lb, seguido del factor E con 2640,10 lb y en último lugar el testigo con 2605,67 lb de estabilidad. Sandoval y Delgado, (2005) mencionan que un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo las cargas repetitivas. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de los que exigen las condiciones de tránsito. El MTOP (2002) exige estabilidades mayores a 1800 lb, de esta forma todos los tratamientos cumplen con las exigencias para el diseño de Marshall.

**Cuadro 3.1.** Densidad bulk, porcentaje de vacíos en la mezcla y estabilidad. Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido) en Manabí – Ecuador

TRATAMIENTOS	DENSIDAD BULK	% DE VACÍOS EN LA MEZCLA	ESTABILIDAD lb
FACTOR G	NS	**	**
<b>G1 Granulometría Fina</b>	2282,17	4,26 a	2849,09 a
<b>G2 Granulometría media</b>	2274,67	4,58 a b	2880,86 a
<b>G3 Granulometría gruesa</b>	2272,50	5,00 b	2640,34 b
FACTOR E	NS	NS	**
<b>E1 4% elastómero</b>	2270,11	4,73	2785,78 b
<b>E2 8% elastómero</b>	2274,89	4,60	2883,15 b
<b>E3 12% elastómero</b>	2276,56	4,46	3018,59 a
<b>E4 16% elastómero</b>	2284,22	4,64	2472,87 c
INTERACCIÓN	NS	NS	**
<b>G1E1</b>	2282	4,15	2890,00 a b
<b>G1E2</b>	2284,67	4,27	2953,57 a b
<b>G1E3</b>	2279,33	4,49	2042,36 a

<b>G1E4</b>	2282,67	4,13	2510,42	d e
<b>G2E1</b>	2267,33	5,00	2870,94	a b c
<b>G2E2</b>	2275,67	4,42	2935,18	a b
<b>G2E3</b>	2281,67	4,18	3119,73	a
<b>G2E4</b>	2274	4,72	2597,57	c d
<b>G3E1</b>	2261	5,05	2596,39	c d
<b>G3E2</b>	2264,33	5,12	2760,70	b c d
<b>G3E3</b>	2268,67	4,72	2893,68	a b
<b>G3E4</b>	2296	5,07	2310,61	e
<b>FACTORIAL VS TESTIGO</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>**</b>	
<b>Testigo absoluto</b>	2286,67	4,21	2605,67	c
<b>Granulometría</b>	2278,11	4,61	2790,10	a
<b>Elastómero</b>	2290,30	4,60	2640,10	b
CV	0,87	9,75	3,38	
P	0,6711	0,044	<0,0001	

\* Diferencia significativa entre los tratamientos. \*\* Diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Letras en común no son estadísticamente diferentes

### 3.4 Flujo

En el cuadro 3.2, se observa los valores promedios de la variable flujo, el análisis de varianza no determinó diferencias estadísticas para la interacción (G x E), en cambio, se evidenciaron diferencias estadísticas para el factor G (granulometría), factor E (elastómero) y la comparación factorial versus testigo. La prueba de significancia realizada al factor G, estableció dos rangos de similitud estadística donde G2 (granulometría media) y G1 (granulometría fina) con 14,42 pulg/100 y 14,83 pulg/100 respectivamente, destacan sobre la granulometría gruesa con 15,17 pulg/100. En la prueba estadística realizada al factor E, se establecieron dos rangos de similitud estadística, siendo E1 (elastómero 4%), E2 (elastómero 8%) y E3 (elastómero 4%), con 14,44 pulg/100, 14,56 pulg/100 y 14,89 pulg/100 respectivamente, los que destacaron con buenos valores de flujo en comparación al 15,33 pulg/100 de E4 (elastómero al 16%). La prueba de significancia realizada a la comparación de la factorial versus el testigo, estableció dos rangos de similitud estadística siendo el testigo quien obtuvo el mejor valor de flujo con 13 pulg/100, seguido de los factores G y E con 14,81 pulg/100 en ambos casos. De esta manera, las mezclas asfálticas con material reutilizable solo cumplen las exigencias para tráfico liviano y medio. Coincidiendo con el MTOP (2002) quien establece que el mínimo debe ser 8 pulgadas/100 para todos los tipos de tráfico, tales como, muy pesado, pesado, medio y liviano. El valor de flujo máximo exigido para los

tráficos muy pesado y pesado será 14 pulgadas/100; en cambio para los tráfico medio y liviano puede extenderse hasta el máximo de 16 pulg/100.

### **3.5 Vacíos en agregados minerales**

En el cuadro 3.2, se observa los valores promedios de la variable vacíos en agregados minerales, el análisis de varianza no determinó diferencias estadísticas significativas para el factor E (elastómero), interacción (G x E) y comparación factorial versus testigo, en cambio, determinó diferencias estadísticas para el factor G (granulometría). La prueba de significancia realizada al factor G se estableció dos rangos de similitud estadística, destacando al factor G3 (granulometría gruesa) con 15,82% de vacíos en agregados minerales, mientras que G1 (granulometría fina) y G2 (granulometría media) con 15,40% y 15,12% respectivamente, obtuvieron valores bajos en porcentaje de vacíos en agregados minerales. Las exigencias del MTOP (2002) no establece valores máximos a considerar, por ende, se refuta con la afirmación de Unicauca (s,f) quien afirma que, cuando mayor sea el VAM (vacíos en agregados minerales), más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. De tal forma existen valores mínimos (13% exigencias del MTOP, 2002) para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

### **3.6 Vacíos en rellenos de asfalto**

En el cuadro 4.2, se observa los valores promedios de la variable vacíos en rellenos de asfalto, el análisis de varianza no determinó diferencias estadísticas para el factor E (elastómero), interacción (G x E) y comparación factorial versus testigo, en cambio, se evidenciaron diferencias estadísticas para el factor G (granulometría). La prueba de significancia realizada al factor (G) estableció dos rangos de similitud estadística, en cual se destaca a G3 (granulometría gruesa) con 68,47%, seguido de G2 (granulometría media) con 70,36% y por último a G1 (granulometría fina) 71,80%. Coincidiendo con las exigencias del diseño de Marshall, el cual establece un valor mínimo de 65%, y el máximo de 75% (MTOP, 2002).

**Cuadro 4.2.** Flujo, vacíos en agregados minerales y vacíos en rellenos de asfalto. Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido) en Manabí – Ecuador

TRATAMIENTOS	FLUJO lb/100	% Vacíos en agregados minerales	% Vacíos en rellenos de asfalto
FACTOR G	*	**	**
<b>G1 Granulometría Fina</b>	14,83 a b	15,12 b	71,80 a
<b>G2 Granulometría media</b>	14,42 a	15,40 b	70,36 ab
<b>G3 Granulometría gruesa</b>	15,17 b	15,82 a	68,47 b
FACTOR E	*	NS	NS
<b>E1 4% elastómero</b>	14,44 a	15,57	69,66
<b>E2 8% elastómero</b>	14,56 a b	15,39	70,17
<b>E3 12% elastómero</b>	14,89 a b	15,33	70,96
<b>E4 16% elastómero</b>	15,33 b	15,49	70,14
INTERACCIÓN	NS	NS	NS
<b>G1E1</b>	14,67	15,12	72,57
<b>G1E2</b>	14,33	15,03	71,67
<b>G1E3</b>	15,00	15,22	70,59
<b>G1E4</b>	15,33	15,10	72,67
<b>G2E1</b>	14,00	15,67	68,13
<b>G2E2</b>	14,00	15,36	71,27
<b>G2E3</b>	14,67	15,15	72,47
<b>G2E4</b>	15,00	15,43	69,55
<b>G3E1</b>	14,67	15,92	68,29
<b>G3E2</b>	15,33	15,78	67,57
<b>G3E3</b>	15,00	15,63	69,83
<b>G3E4</b>	15,67	15,94	68,18
FACTORIAL VS TESTIGO	**	NS	NS
<b>Testigo absoluto</b>	13,00 a	14,96	71,92
<b>Granulometría</b>	14,81 b	15,45	70,21
<b>Elastómero</b>	14,81 b	15,59	70,23
CV	4,42	2,57	3,04
p	0,0001	0,041	0,038

\* Diferencia significativa entre los tratamientos. \*\* Diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Letras en común no son estadísticamente diferentes

#### IV. CONCLUSIONES

- La adición de 4%, 8% y 12% de elastómero en el diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido derivó en buen comportamiento lo que le sirve para ser utilizado a nivel de campo en mezclas asfálticas modificadas.
- Las granulometrías media y fina, en el diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido, contribuyeron a obtener buen comportamiento con la reutilización de elastómero y pavimento asfáltico, por ende, puede ser utilizado a nivel de campo en mezclas asfálticas modificadas.

## V. BIBLIOGRAFÍA

- Bertalot, E. 2017. Una mirada al reciclaje de neumáticos fuera de uso. SLTCaucho nº19, 1-19.
- BIR (Bureau Of International Recycling). 2016. Neumáticos. Obtenido de La industria: <http://www.bir.org/>
- Castro, V. 2015. Estudio de factibilidad de creación de una empresa recicladora de neumáticos desechados, para la producción de caucho modificador de asfalto, en la provincia de Guayas. Ecuador.
- CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas). 2011. Reciclado de pavimentos asfálticos. Madrid: Cedex.
- Garnica, P; Delgado, H; Gómez, J; Alonso, S; Alarcón, H. 2004. Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. Sanfandila: Secretaria de comunicaciones y transportes.
- Grytsenko, A., Pozdniakova, Y., & Vnukova, N. 2016. Estimation of possibility of tyre utilization products. Obtenido de Biblioteca Universia: <http://biblioteca.universia.net>
- Lacamara, M. 2014. Brasil estrena el asfalto ecológico. Obtenido de Twenergy: <https://twenergy.com>
- Lecitra, M. 2010. Reducir, Reutilizar y Reciclar: El problema de los residuos sólidos urbanos. Obtenido de Grupo de estudios internacionales contemporáneos: <https://geic.files.wordpress.com/>
- MTOP. (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Quito: Ministerio de Obras Publicas - República del Ecuador.
- Paiva, G y Ramos, G. 2014. Reciclado de pavimentos asfálticos y su reutilización para el diseño de mezcla de asfalto en caliente. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
- UPCB (Universitat Politecnica de Catalunya Barcelonatech). s.f. Introduccion al reciclado de pavimentos asfálticos. Obtenido de Repositorio UPC: <https://upcommons.upc.edu>

## VI. ANEXOS

**Anexo 1.** Criterio de evaluación para el diseño de mezclas asfálticas Garnica *et al.* (2004) y del MTOP (2002)

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

**1-A.** Mínimo de porcentaje de vacíos en agregados minerales (VAM) Garnica *et al.* (2004) y el MTOP (2002).

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0