

1 **Evaluación de hormigón asfáltico modificado con polvo de neumático como**  
2 **alternativa ambiental en la construcción de viales**

3 Julio Abel Loureiro Salabarría<sup>1</sup>, Mayra Vera Cabezas<sup>2</sup>, María Margarita Delgado  
4 Demera<sup>1</sup>, Ana María Aveiga Ortiz<sup>1</sup>

5 <sup>1</sup>Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”  
6 Carrera de Ingeniería Ambiental, Campus Politécnico Sitio El Limón vía a la  
7 Pastora. Calceta, Manabí, Ecuador. Email: julioabelloureiro@gmail.com,  
8 margaritadelgado73@hotmail.com, anitaaveigao@hotmail.com

9 <sup>2</sup>Universidad de Cuenca, Dpto. Ingeniería Química, Ave 12 de abril y Agustín  
10 Cuevas. Cuenca, Ecuador. Email: mayrav81@yahoo.es

11 **Resumen**

12 La investigación presenta la evaluación de hormigones asfálticos modificados con  
13 polvo de caucho a partir de resultados de ensayos experimentales por la vía  
14 húmeda en caliente utilizando el método Marshall. Se efectuaron tres tratamientos  
15 (probetas) para hormigón asfáltico convencional, se variaron los porcentajes de  
16 ligante del tipo 60/70 en (4,5; 5 y 5,5) % que permitió determinar el contenido  
17 óptimo del mismo. De estos ensayos realizados el de mejor resultado fue el de  
18 5% de ligante, tomándose como referencia para su modificación. El ligante fue  
19 modificado con la adición de (12, 14 y 16) % de polvo de caucho y tamaño de  
20 partícula de 177 micras (malla 80). Los áridos como piedra hormigón, gravilla y  
21 polvo de piedra, fueron dosificados en (20, 12, 68) % respectivamente al total de  
22 material pétreo establecido por este tipo de ensayo con granulometría de (20, 10 y  
23 0,08) mm. Se evaluó el comportamiento de las probetas de hormigón asfáltico  
24 modificado a partir de cinco variables; densidad, % de vacíos en la mezcla, % de  
25 vacíos de agregado mineral, estabilidad y deformación. Dentro del grupo de  
26 probetas de hormigón asfáltico modificado las de mejores resultados fueron las  
27 que incorporaron al ligante 12% de polvo de caucho. Por último, se compararon  
28 las probetas de hormigón asfáltico convencional al 5% de ligante y las de  
29 hormigón asfáltico modificado con 12% de polvo de caucho, estas últimas tuvieron  
30 mejores resultados al ofrecer mayor durabilidad, plasticidad y resistencia a la  
31 deformación.

32 **Palabras claves:** ligante, hormigón asfáltico modificado, polvo de caucho, método  
33 Marshall.

#### 34 **Abstract**

35 The research presents the evaluation of asphalt concrete modified with rubber  
36 powder from results of experimental tests by the hot wet method using the  
37 Marshall method. Three treatments (test tubes) were used for conventional asphalt  
38 concrete, the percentages of type 60/70 binder were varied in (4,5; 5 and 5,5) %,  
39 which allowed to determine the optimum content of the same. From these tests,  
40 the one with the best result was the 5% binder, being taken as reference for its  
41 modification. The binder was modified with the addition of (12, 14 and 16) %  
42 rubber powder and particle size of 177 microns (80 mesh). The aggregates, such  
43 as concrete stone, gravel and stone powder, were metered in (20, 12, 68) %  
44 respectively to the total of stone material established by this type of test with grain  
45 size of (20, 10 and 0,08) mm. The behavior of the modified asphalt concrete  
46 specimens was evaluated from five variables; density, % of voids in the mixture, %  
47 of voids of mineral aggregate, stability and deformation. Within the group of  
48 modified asphalt concrete specimens the best results were those that incorporated  
49 12% of rubber powder into the binder. Finally, conventional asphalt concrete  
50 specimens were compared to 5% of binder and those of asphalt concrete modified  
51 with 12% of rubber powder, which had better results in offering greater durability,  
52 plasticity and resistance to deformation.

53 **Key words:** binder, modified asphalt concrete, rubber powder, Marshall method.

#### 54 **Introducción**

55 El proceso del reencauche se efectúa con el objetivo de ampliar la vida útil del  
56 neumático al reemplazar la banda de rodamiento gastada por una nueva. El polvo  
57 de caucho es un desecho que se obtiene directamente de este proceso productivo  
58 en la operación correspondiente al raspado del neumático. Esta actividad genera  
59 considerables volúmenes de dicho material que en muchas ocasiones pasa a  
60 tener un destino final inapropiado. No es considerado como residuo peligroso pero  
61 sí representa un importante problema ambiental. Su composición química no le  
62 permite integrarse a los ciclos naturales y dura centenares de años para ser  
63 degradado.

64 Este polvo de caucho al ser reciclado tiene diversas utilidades, dentro de las que  
65 se pueden mencionar; pavimentos deportivos y de seguridad, en hierba artificial,  
66 como aislante acústico y antivibratorio, en pistas de atletismo, industria del  
67 calzado y la industria automovilística. (Pelizzoni, Fumagalli, Quarleri, & Blanco,  
68 2013)

69 En los últimos años el polvo de caucho ha pasado a formar parte como  
70 modificador para las capas asfálticas en la construcción de carreteras trayendo  
71 consigo una aceptación general a nivel mundial. Entre los beneficios técnicos que  
72 pueden brindar los hormigones asfálticos modificados están; resistencia a la  
73 fisuración y susceptibilidad térmica, resistencia a la deformación permanente  
74 (ahuellamiento), adherencia entre los agregados pétreos, adherencia entre la  
75 carpeta de rodamiento y la base o sub-base, cohesividad, resistencia al  
76 envejecimiento y a la fatiga. (Rondón, Rodríguez, & Moreno, 2007)

77 De acuerdo a los criterios anteriores se considera que la modificación de los  
78 hormigones asfálticos con polvo de caucho, es una práctica utilizada para el  
79 mejoramiento efectivo de las características de la pavimentación de vías y a la  
80 vez una buena alternativa ambiental para dar una importante salida a este  
81 material no biodegradable.

### 82 **Método Marshall para el diseño, elaboración y ensayos de laboratorio de** 83 **hormigón asfáltico modificado**

84 Para el diseño, elaboración y ensayos de hormigón asfáltico convencional en  
85 caliente se utiliza el método Marshall. En él se determinan las dosificaciones  
86 óptimas de asfalto y agregados pétreos a partir de la evaluación de resultados a  
87 ensayos en el laboratorio. Dentro de las variables más importantes para el análisis  
88 de las muestras compactadas se pueden encontrar; densidad, estabilidad,  
89 deformación, % de vacíos de agregado mineral y % de vacíos de mezcla. (Asphalt  
90 Institute MS-22 , 1982)

91 Para la modificación del hormigón asfáltico se necesita la incorporación del polvo  
92 de caucho a la mezcla y esto se logra a través de dos procedimientos: podemos  
93 modificar el betún por la vía húmeda la que consiste en incorporar al betún una  
94 cierta cantidad de polvo de caucho, bajo condiciones específicas de mezclado. El  
95 denominado procedimiento de la vía seca, es donde el polvo de caucho es

96 incorporado al agregado pétreo como una porción de agregado fino antes de ser  
97 mezclado con el asfalto. (Campaña, Galeas, & Guerrero, 2015)

98 El mezclado por vía húmeda ofrece ventajas pues permite obtener ligantes con  
99 resistencia a deformaciones permanentes y a fisuramiento térmico. La técnica por  
100 la vía seca puede incrementar la resistencia a deformaciones permanentes del  
101 pavimento a temperaturas intermedias pero no permite mejorar la resistencia al  
102 fisuramiento térmico a bajas temperaturas y puede generar problemas durante la  
103 compactación de la mezcla. (Joskowicz, y otros, 2010)

104 El polvo de caucho utilizado para la modificación por la vía húmeda debe ser muy  
105 fino con tamaños de partículas por debajo de 1 mm y preferentemente por debajo  
106 de 0,5 mm y su dosificación debe estar entre (6-15) % del ligante total a utilizar.  
107 Para la vía seca se han utilizado tamaños mayores pero siempre por debajo de 2  
108 mm y preferentemente por debajo del rango entre (1-1,25) mm y se ha utilizado  
109 en porcentajes inferiores al 1% sobre la mezcla total. (González, 2013)

110 Los diferentes estudios bibliográficos han demostrado que la composición del  
111 caucho y la granulometría de las partículas de polvo son dos de las principales  
112 características que mayor influencia tienen en las propiedades del betún con  
113 caucho. (Bermejo, Gallego, & Saiz, 2014)

114 Dada la importancia de realizar un uso adecuado al polvo de caucho a causa de  
115 los niveles que se producen y su incidencia negativa en el ambiente se definió  
116 como objetivo de esta investigación; evaluar la calidad del hormigón asfáltico  
117 modificado con polvo de caucho, como una alternativa ambiental en la  
118 construcción de viales.

## 119 **Materiales y métodos**

### 120 **Materiales empleados en la investigación para la modificación del hormigón** 121 **asfáltico**

122 La investigación realizada fue de tipo experimental y se realizó en el laboratorio  
123 de la Planta de Asfalto Giraldo Pacheco, del municipio Santa Clara, provincia Villa  
124 Clara, Cuba. Los materiales empleados en la elaboración del hormigón asfáltico  
125 modificado fueron; asfalto, materiales pétreos y polvo de caucho con  
126 características mostradas en los **Cuadros 1- 3**.

#### 127 **Cuadro 1** Características de asfalto 60/70

<b>Ensayos</b>	<b>U.M</b>	<b>Valores de ensayos</b>	<b>Especificaciones</b>
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	1,03	1+
Penetración	mm	62	60/70
Punto de ablandamiento	°C	48	48/57
Punto de inflamación	°C	290	230+
Punto de combustión	°C	330	-
Penetración al residuo	%	96,6	70+
Pérdida de masa por calentamiento	%	0,1	-1
Índice de Penetración	-	-1,3	De-1 a+1

128 **Fuente:** Especificaciones de calidad norma cubana asfalto 60/70

129 **Cuadro 2** Características de materiales pétreos

<b>Caracterización</b>	<b>U.M</b>	<b>Cantidad</b>
Terrones de arcilla	%	0,00
Partículas planas y alargadas	%	0,00
Peso específico corriente	g/cm <sup>3</sup>	2,55
Peso específico aparente	g/cm <sup>3</sup>	2,70
Peso específico saturado	g/cm <sup>3</sup>	2,65
Absorción	%	2,60

130 **Fuente:** Presentación propia de los autores

131 **Cuadro 3** Características del polvo de caucho de neumático

<b>Componentes</b>	<b>U.M (%)</b>	<b>Fracción (mm)</b>	<b>%</b>
Caucho y elastómero	48	< 0,25	8,7
Negro de carbono	22	0,25< x> 1,00	34,60
Metal	15	1,00< x> 1,25	33,60
Textil	5	1,25< x> 2,00	1,50
Óxido de zinc	1	2,00< x> 5,00	17,70
Azufre	1	> 5,00	3,90

Aditivos	8	
Total	100	100

132 **Fuente:** Presentación propia de los autores

133 **Método para el diseño, elaboración y ensayos de laboratorio de hormigón**  
 134 **asfáltico modificado**

135 Para el diseño, elaboración y ensayos de laboratorio de hormigón asfáltico se  
 136 empleó el método Marshall, se realizaron tres probetas con tres réplicas cada una  
 137 con diferentes porcentajes de ligante (L) (4,5; 5 y 5,5) % respectivamente. Los  
 138 materiales pétreos; piedra hormigón (PH), gravilla (GR) y polvo de piedra (PP),  
 139 fueron dosificados en (20, 12, 68) % respectivamente al total de material pétreo  
 140 con granulometría de (20, 10 y 0,08) mm establecido en el diseño para este tipo  
 141 de áridos. Todos los componentes de la mezcla fueron pesados en una balanza  
 142 analítica de precisión marca Ohaus.

143 Los materiales pétreos se transfirieron a bandejas metálicas separadas para cada  
 144 fracción de la muestra y calentados a una temperatura de 110 °C, en una estufa  
 145 modelo ECFA, durante un tiempo de 30 minutos, se mezclaron en seco de forma  
 146 manual y se formó un cráter en su centro, dentro del que se vertió la cantidad  
 147 requerida de asfalto. Se mezclaron los materiales lo más rápido posible a  
 148 temperatura de 160 °C hasta obtener una mezcla completa y homogénea.

149 Se compactó la mezcla caliente en moldes Marshall precalentados en baño de  
 150 maría a temperatura de 95 °C. La compactación se llevó a cabo a una  
 151 temperatura 150 °C con 75 golpes del martillo Marshall, por ambos caras de la  
 152 probeta. Después de la compactación de las muestras se identificaron y dejaron  
 153 enfriar a temperatura ambiente sobre una superficie horizontal lisa por un período  
 154 de 24 horas.

155 Las probetas elaboradas se sometieron a ensayos de laboratorio en la prensa  
 156 Marshall y se evaluaron las variables: densidad, estabilidad, deformación, % de  
 157 vacíos de agregado mineral y % de vacíos de mezcla, con el objetivo de  
 158 determinar las cantidades óptimas de ligante y de materiales pétreos, según los  
 159 criterios de calidad establecidos en el **Cuadro 4**.

160 **Cuadro 4** Especificaciones de Calidad Capa de Rodadura Semidensa y Tráfico  
 161 Pesado NC-54-223:90

Parámetros de calidad	U.M	Especificaciones.
-----------------------	-----	-------------------

Esp NC-54-223:90		Valores óptimos.
Asfalto	%	4,5 – 5,5
Estabilidad	kN	9,2 – 12,4
Deformación	cm	2 - 4
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2,357
Vacíos de agregado mineral	%	14 - 17
Vacíos de Mezcla	%	5 - 8

162 **Fuente:** Norma Cubana de Especificaciones de Calidad (NC-54-223:90)

163 Determinado le porcentaje óptimo de ligante se modificó la mezcla por la vía  
164 húmeda, con la incorporación de polvo de caucho (PC) en (12, 14,16) % con  
165 respecto al total de betún. Inicialmente se procedió a tamizar polvo de caucho en  
166 un tamiz de malla del tipo W.S. Tyler donde se separaron las partículas con  
167 granulometría de 177 micras (malla 80). Para el mezclado de las cantidades  
168 establecidas para estos dos componentes, se utilizó un mecanismo de agitación  
169 con una velocidad de 1750 r.p.m. y un tiempo de mezclado de 30 minutos, se  
170 empleó un agitador de paletas con medio de calentamiento a temperatura  
171 constante de 160 °C.

172 Para la elaboración y evaluación de probetas, se realizó el mismo procedimiento  
173 antes descrito para el hormigón asfáltico convencional pero esta vez para  
174 hormigón asfáltico modificado.

## 175 **Resultados y discusión**

### 176 **Determinación del contenido óptimo de ligante para probetas de hormigón** 177 **asfáltico convencional**

178 Se determinaron y pesaron las cantidades de materiales a utilizar en la  
179 elaboración de cada una de las probetas de hormigón asfáltico convencional (P)  
180 con distintos porcentajes de ligante (L) y materiales pétreos. En la **Cuadro 5** se  
181 resumen las cantidades de cada uno de los mismos para la elaboración de las  
182 probetas.

183 **Cuadro 5** Cantidades de ligante y materiales pétreos para cada una de las  
184 probetas

Probetas	L (gr)	PH (gr)	GR(gr)	PP (gr)	Peso total (gr)
		20%	12%	68%	
P <sub>1</sub> (4,5% L)	54	229,2	137,52	779,28	1200
P <sub>2</sub> (5% L)	60	228	136,80	775,20	1200
P <sub>3</sub> (5,5% L)	66	226,8	136,08	771,12	1200

185 **Fuente:** Elaboración propia de los autores

186 Se elaboraron las probetas y se determinaron las variables a evaluar partir de los  
187 ensayos en el laboratorio. En la **Cuadro 6** se resumen los resultados de ensayos  
188 a probetas de hormigón asfáltico (P) con diferentes porcentajes de ligante (L) y  
189 materiales pétreos.

190 **Cuadro 6** Resumen del ensayo Marshall para probetas de hormigón asfáltico

Probetas	L %	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	VM %	VMA %	Estabilidad (kN)	Deformación (cm)
P <sub>1</sub>	4,5	2,368	5,66	17	8,60	2,90
P <sub>2</sub>	5	2,385	4,66	17	10,33	3,60
P <sub>3</sub>	5,5	2,397	3,72	16	10,07	4,00

191 **Fuente:** Elaboración propia de los autores

192 Con los resultados de los ensayos de laboratorio se determinó el contenido  
193 óptimo de asfalto haciendo el análisis y comparaciones con el **Cuadro 4**. Como  
194 se puede observar las probetas con 4,5% de ligante, las variables, deformación,  
195 % de vacíos de agregado mineral (VMA) y % de vacíos de mezcla (VM) se  
196 encuentran dentro de los rangos establecidos. En cuanto a la estabilidad y  
197 densidad se alejan de los valores recomendados por la norma. En el caso del  
198 grupo de probetas con 5,5% tiene los parámetros de estabilidad, deformación, %  
199 de vacíos de agregado mineral (VMA) dentro de los rangos establecidos, pero las  
200 densidades y % de vacíos de mezcla (VM) difieren de los valores recomendados.  
201 Por tanto ambas combinaciones se descartaron para el diseño de hormigón  
202 asfáltico convencional.

203 Por otro lado las probetas con 5% fueron los de mejores resultados ubicándose  
204 los parámetros de estabilidad, deformación, % de vacíos de agregado mineral  
205 (VMA) y % de vacíos de mezcla (VM) en los rangos establecidos por esta norma.

206 Aunque su densidad fue de 2,385 g/cm<sup>3</sup> y no coincidió con el valor recomendado,  
 207 está muy próximo con una pequeña diferencia, por lo que se decidió escoger esta  
 208 combinación como punto de partida para la investigación.

209 **Diseño, elaboración y evaluación de probetas de hormigón asfáltico**  
 210 **modificado**

211 Se pesaron cantidades de polvo de caucho (PC), ligante (L) y materiales pétreos  
 212 a utilizar para el diseño de cada una de las probetas de hormigón asfáltico  
 213 modificado (PM). En la **Cuadro 7** se resumen las cantidades de cada uno de los  
 214 materiales para el diseño de probetas.

215 **Cuadro 7** Materias Primas para tratamientos con 5% ligante modificado

Probetas	L (gr)	PC (gr)	PH (gr)	GR(gr)	PP (gr)	Peso total
Modificadas		5%	20%	12%	68%	(gr)
PM <sub>1</sub> (12% PC)	52,8	7,2	228	136,8	775,2	1200
PM <sub>2</sub> (14% PC)	51,6	8,4	228	136,8	775,2	1200
PM <sub>3</sub> (16% PC)	50,4	9,6	228	136,8	775,2	1200

216 **Fuente:** Elaboración propia de los autores

217 Se elaboraron las probetas y se evaluaron las variables a partir de los ensayos en  
 218 el laboratorio. En la **Cuadro 8** se resumen los resultados de ensayos a probetas  
 219 de hormigón asfáltico modificado (PM) con los diferentes porcentajes de polvo de  
 220 caucho (PC)

221 **Cuadro 8** Resumen del ensayo Marshall para probetas de hormigones asfálticos  
 222 modificados

Probetas	PC	Densidad	VM	VMA	Estabilidad	Deformación
Modificadas	%	(g/cm <sup>3</sup> )	%	%	(kN)	(cm)
PM <sub>1</sub>	12	2,370	5,18	16	11,60	2,85
PM <sub>2</sub>	14	2,360	5,98	17	12,73	2,67
PM <sub>3</sub>	16	2,330	7,17	18	12,10	2,56

223 **Fuente:** Elaboración propia de los autores

224 Con los resultados de los ensayos de laboratorio se compararon con los valores  
 225 del **Cuadro 4** con el fin de determinar la mejor combinación.

226 Las probetas con 14% de polvo de caucho tuvieron tres variables en los rangos  
 227 propuestos por la norma; deformación, % de vacíos de agregado mineral y % de

228 vacíos de mezcla, pero los valores de la densidad y estabilidad no se encuentran  
229 dentro de los intervalos establecidos. Las probetas con 16% de polvo de caucho  
230 presentaron tres de sus variables; deformación, estabilidad y % de vacíos de  
231 mezcla dentro los márgenes normados, pero la densidad y % de vacíos de  
232 agregado mineral no cumplen con criterios de calidad para el diseño.

233 Las probetas con los contenidos de 12% de polvo de caucho tienen las variables;  
234 estabilidad, deformación, % de vacíos de agregado mineral y % de vacíos de  
235 mezcla dentro de los intervalos establecidos. La densidad no cumple con lo  
236 propuesto pero tiene un valor cercano al recomendado.

237 En los resultados de ensayos obtenidos para el hormigón asfáltico modificado con  
238 12% de polvo de caucho se puede apreciar que hay una disminución a la  
239 deformación con respecto al hormigón asfáltico convencional con 5% de ligante,  
240 lo que asegura la tendencia a disminuir su plasticidad y deformación ante las  
241 cargas de tránsito. En cuanto a la estabilidad, aumentó de forma moderada con la  
242 modificación del ligante, lo que implica un mejor desempeño a la resistencia de la  
243 mezcla a la deformación y una buena durabilidad por no ser extremadamente alto  
244 y estar en un valor intermedio al rango establecido por la norma. Esta mezcla  
245 también disminuyó su densidad obteniéndose así una mezcla más liviana con  
246 igual porcentaje para los vacíos de agregado mineral. Los vacíos de mezcla  
247 aumentaron pero no en gran medida debido a la modificación, esto permite la  
248 durabilidad de la mezcla, evitando la entrada de aire y agua que pueden causar  
249 deterioro.

## 250 **Conclusiones**

251 Se determinó para el hormigón asfáltico convencional el contenido óptimo de  
252 ligante siendo de 5%, por mostrar un resultado aceptable en cuanto a la densidad  
253 y tener las variables de estabilidad, deformación, % de vacíos de agregado  
254 mineral y % de vacíos de mezcla en los rangos establecidos para la norma  
255 cubana (NC-54-223:90) Capa de Rodadura Semidensa y Tráfico Pesado.

256 El mejor comportamiento de los tres hormigones asfálticos modificados fue el que  
257 incorporó al ligante de 12% de polvo de caucho por tener las variables estabilidad,  
258 deformación, % de vacíos de agregado mineral y % de vacíos de mezcla, dentro  
259 de los intervalos establecidos en la norma. La densidad no se ajustó a la norma  
260 consultada pero tiene un valor muy cercano al recomendado.

261 El hormigón asfáltico modificado tuvo resultados satisfactorios ante el hormigón  
262 asfáltico convencional en cuanto a densidad, % de vacíos de mezcla, estabilidad y  
263 deformación lo que explica una tendencia a ofrecer mayor durabilidad, plasticidad  
264 y resistencia a la deformación.

## 265 **Bibliografía**

- 266 Asphalt Institute MS-22. 1982. Principios de construcción de pavimentos de  
267 mezclas asfálticas en caliente. Lexington, Estados Unidos.
- 268 Bermejo, J., Gallego, J., & Saiz, L. 2014. Guía para la fabricación de betunes con  
269 polvo de neumático. Madrid.
- 270 Campaña, K., Galeas, S., & Guerrero, V. 2015. Obtención de Asfalto Modificado  
271 con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de  
272 Automotores. Revista Politécnica, 1.
- 273 González, J. P. 2013. Innovación y desarrollo en las mezclas asfálticas en la Red  
274 de Carreteras del Estado. Carreteras, 14.
- 275 Joskowicz, P., Villegas, C., Arias, L., Escobar, J., Landa, L., Corredor, G., &  
276 Noriega, J. 2010. Ligantes asfálticos venezolanos modificados con polvo de  
277 neumáticos fuera de uso. 5to Congreso de asfalto venezolano, 1-13.
- 278 Norma Cubana. Especificaciones de Calidad Capa de Rodadura Semidensa y  
279 Tráfico Pesado. NC-54-223:90. 1990. Cuba.
- 280 Pelizzoni, J., Fumagalli, S., Quarleri, R., & Blanco, E. 2013. Avances de diseño de  
281 prototipo de equipo de trozado de neumáticos fuera de uso provenientes de  
282 la explotación minera. VI Congreso Argentino de Ingeniería Industrial.
- 283 Rondón, H., Rodríguez, E., & Moreno, L. A. 2007. Resistencia mecánica evaluada  
284 en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con  
285 asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC),  
286 polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS). Revista Ingenierías  
287 Universidad de Medellín, 92- 104.

288