

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CAUCHO  
VULCANIZADO PARA UTILIZARLO COMO MATERIAL DE SELLO EN JUNTAS  
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y COMPARARLO CON LAS PROPIEDADES DE  
LOS SELLOS CONVENCIONALES**

**ELVA NOREYA FONSECA PERALTA  
YOR LADY GONZÁLEZ PERDOMO**

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ, COLOMBIA  
2016**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CAUCHO  
VULCANIZADO PARA UTILIZARLO COMO MATERIAL DE SELLO EN JUNTAS  
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y COMPARARLO CON LAS PROPIEDADES DE  
LOS SELLOS CONVENCIONALES**

**ELVA NOREYA FONSECA PERALTA  
YOR LADY GONZÁLEZ PERDOMO**

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**ASESOR DISCIPLINAR  
ING. EDGAR ALEXANDER PADILLA**

**ASESOR METODOLÓGICO  
LIC. LAURA CALA CRISTANCHO**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ, COLOMBIA  
2016**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION .....	7
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo General .....	10
1.2.2 Objetivos Específicos .....	10
2 MARCOS DE REFERENCIA.....	11
2.1 MARCO ANTECEDENTES .....	11
2.2 MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO .....	13
2.2.1 Pavimento en Concreto Rígido.....	13
2.2.2 Juntas.....	14
2.2.3 Material de Sello.....	17
2.2.4 Reciclaje de Llantas .....	23
2.3 MARCO LEGAL.....	29
2.3.1 Ensayo de Penetración .....	29
2.3.2 Ensayo de Adherencia o ligazón sin inmersión.....	29
2.3.3 Ensayo de Adherencia o ligazón con inmersión.....	30
2.3.4 Ensayo de Tensión y adhesión .....	30
3 MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
3.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	31
3.2 ENFOQUE CUANTITATIVO.....	31
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	32
3.4 HIPÓTESIS.....	32
3.5 VARIABLES.....	32
3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	32
3.6.1 Estudios Realizados de Investigaciones del Caucho Vulcanizado.....	33
3.7 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
4 RESULTADOS .....	35
4.1 Desvulcanización del caucho Vulcanizado .....	35
4.1.1 Penetración (ASTM D5329) .....	36
4.1.2 Adherencia o ligazón con inmersión.....	39

4.1.3	Resiliencia.....	42
4.2	PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL DE SELLO CONVENCIONAL.....	44
4.2.1	Materiales de sello convencionales.....	45
4.2.2	Dynaflex 88 sellado de juntas y grietas en pavimentos.....	46
4.3	COMPARACION DE LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO DESVULCANIZADO Vs MATERIAL DE SELLO CONVENCIONAL.....	47
5	ANALISIS.....	48
6	CONCLUSIONES.....	50
7	RECOMENDACIONES.....	55
8	BIBLIOGRAFIA.....	56

## LISTADODE TABLAS

Tabla 1 Severidad de la deficiencia del material de sello .....	18
Tabla 2 Grado de severidad del despostillamiento .....	19
Tabla 3. Material de Sellado Vertido en Frio. ....	20
Tabla 4 Material de Sello preformado .....	21
Tabla 5. Material de Sello Vaciados en Caliente.....	22
Tabla 6 Propiedades del Caucho Vulcanizado. ....	25
Tabla 7. Propiedades del Caucho Vulcanizado con azufre.....	26
Tabla 8 resultados del penetrometro .....	38
Tabla 9 Propiedades de los materiales de sello en pavimentos de acuerdo con el método de prueba D-5329 .....	44
Tabla 10 Propiedades del material sellante- Vulkem 45 .....	45
Tabla 11 Propiedades del material sellante- Polysello 3405.....	46
Tabla 12 comparación de las variables de caucho como material de sello frente a los convencionales.....	47
Tabla 13. Propiedades de los materiales de sello en pavimentos de acuerdo con el método de prueba D-5329 .....	48
Tabla 14. Dureza del neopreno.....	50
Tabla 15.Resultado dureza de caucho vulcanizado.....	50
Tabla 16. Resultado de ensayo de Resiliencia del caucho vulcanizado. ....	51
Tabla 17. Resultado de ensayo de Resiliencia del caucho vulcanizado. ....	51
Tabla 18. Propiedades de algunos sellos convencionales.....	52
Tabla 19. Comparación de las variables de caucho como material de sello frente a los convencionales.....	52
Tabla 20. Tabla de normatividad material de sello para juntas. ....	53
Tabla 21 Tipos de desvulcanización .....	55

## LISTADO DE FIGURA

Figura 1. Capas del Pavimento Rígido. ....	13
Figura 2. Pavimento en Concreto Rígido .....	13
Figura 3. Junta de Expansión –Detalle 1 .....	15
Figura 4. Junta de Contracción .....	16
Figura 5. Junta de Construcción .....	17
Figura 6. Material de Sello. ....	18
Figura 7. Sellante Líquido. ....	20
Figura 8. Sellante Preformado. ....	21
Figura 9. Sello Asfáltico en Aplicación en Caliente .....	22
Figura 10. Tipos de caucho vulcanizado.....	24
Figura 11. Trituradora de neumáticos. ....	24
Figura 12 Comportamiento del caucho vulcanizado VS el caucho con azufre en función de la dureza.....	26
Figura 13 Comportamiento del caucho vulcanizado VS el caucho con azufre en función de la elongación .....	27
Figura 14 Procedimiento de desvulcanización.....	35
Figura 15. Cristalización en el proceso de desvulcanización .....	36
Figura 16. Ajuste de la guja del penetrómetro .....	37
Figura 17 Colocación de la muestra a ensayar.....	37
Figura 18 Posiciones de lecturas del penetrómetro .....	38
Figura 19 Procedimiento de la preparación de las probetas.....	39
Figura 20 Probeta después de la inmersión .....	40
Figura 21 Maquina tensile tester.....	41
Figura 22 Probeta ensayada en la máquina de tensión.....	41
Figura 23 Colocación de la probeta .....	42
Figura 24 muestra de la probeta a ensayar .....	43
Figura 25 Probeta ensayada.....	43
Figura 26 Proceso de recuperación de la probeta .....	44
Figura 27. Penetración a la probeta de caucho vulcanizado .....	48
Figura 28. Adherencia o ligazón sin inmersión a la probeta de caucho vulcanizado .....	49

## INTRODUCCION

Actualmente se presentan propuestas de utilizar el caucho vulcanizado como material en la construcción y en la industria dado que posee propiedades mecánicas significativas frente a los materiales que se emplean comercialmente, de tal manera se plantea el caucho vulcanizado como sello en las juntas de pavimento rígido. Encontrando que una de las causas de los daños en el pavimento rígido es por la deficiencia en los materiales de sello, por ende aprovechar las propiedades del caucho vulcanizado es un beneficio en las juntas por tener propiedades de dureza, adhesión, cohesión y tensión, determinados a través de los ensayos de laboratorio realizados de penetración, adherencia o ligazón con y sin inmersión, tensión.

El caucho vulcanizado es viable como material de sello por cumplir con los parámetros que exige la norma ASTM-D6690 y al comparar estas propiedades con la de otros materiales de sellos convencionales, se logra concluir que el caucho vulcanizado contiene un valor similar a las presentadas en estos sellos convencionales, además se contribuye a darle un uso adecuado a las llantas usadas, aportando al medio ambiente y a la utilización de un material en la ingeniería.

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad uno de los problemas a nivel mundial, es la contaminación del medio ambiente a causa de la incorrecta disposición final de las llantas, generando contaminación de suelos, impactos negativos en el agua, aire, y riesgos para la salud humana, debido a la incineración de este material. Adicionalmente el almacenamiento de llantas genera la proliferación de mosquitos, roedores y organismos que se caracterizan por ser portadores de virus y bacterias.

El Proyecto de Acuerdo 244 de 2014 Concejo de Bogotá D.C, plantea la reutilización y aprovechamiento del caucho vulcanizado para lograr una recuperación ambiental. “El uso inadecuado de las llantas usadas es una problemática insostenible que crece diariamente. En la ciudad de Bogotá se producen en promedio 441.978 llantas mensuales, es decir anualmente 5.303.739, las cuales en gran proporción tienen una disposición inadecuada y terminan en los humedales, las calles, los parques y en general los espacios públicos. Una proporción significativa todavía llega al Relleno Sanitario Doña Juana”<sup>1</sup>

Se han determinado las ventajas de las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado cuando ha sido utilizado regularmente en la construcción, implementándolo en alternativas de solución como granulo de caucho en la pavimentación, en membranas impermeabilizantes y equipamientos para canchas y pisos.

En la búsqueda de emplear el caucho vulcanizado en otros usos se pretende realizar una nueva propuesta como material de sello en las juntas de construcción en los pavimentos de concreto rígido.

¿Puede ser utilizado el caucho vulcanizado, desde el punto de vista de las propiedades mecánicas como material de sello en juntas de pavimento rígido, frente a los usos convencionalmente?

---

<sup>1</sup>SECRETARIA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Proyecto de Acuerdo 244 de 2014. Bogotá D C: Concejo de Bogotá., 2014.

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

Es importante darle un manejo adecuado a las llantas, debido a que su reintegro evitaría que se utilicen en actividades inadecuadas que generan graves problemas medioambientales e inconvenientes de salud debido a la proliferación de roedores, insectos y otros animales.

Debido a la problemática de la incorrecta disposición de las llantas, se han realizado diferentes investigaciones con el ánimo de utilizar este material en nuevos productos, actualmente se aplica un determinado porcentaje en las mezclas asfálticas, impermeabilizante y en materia prima para la industria. “La incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas ha sido de buena aceptación desde 1965, en el estudio realizado por la Universidad de los Andes y la Universidad Javeriana, encontraron buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos en cuanto al comportamiento a la fatiga y resistencia a comparación de las mezclas convencionales”<sup>2</sup>.

Los daños en el pavimento rígido se han presentado por poca consistencia en el material de sello, por pérdida de adherencia, falta de viscosidad y rugosidad en las caras de las juntas de construcción, falta de cohesión y también por extrusión del material de sello al aumentar la temperatura. El objetivo del sellador es minimizar la infiltración del agua superficial que provoca un ablandamiento de la subrasante o de la subbase, perdiendo el pavimento apoyo estructural y pérdida del sello, evitar que los materiales finos lleguen al interior de la junta, además disminuir la corrosión de los dispositivos de transferencia de carga, evita que partículas incompresibles (piedras o limos) penetren en la junta generando despostillamiento en los bordes de las losas. El material de sello puede aplicarse en caliente o frío y es importante para el periodo de vida del pavimento rígido.

Por lo tanto es necesario estudiar las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado siguiendo las especificaciones establecidas por la American Society for Testing and Materials, ASTM. D5249 de aplicación en caliente y mediante ensayos de laboratorio contemplados en la ASTM D5329, de esta manera verificar que se puede utilizar como material de sello realizando el análisis comparativo entre materiales de sello convencional y el caucho vulcanizado, dando a conocer los resultados obtenidos del caucho para utilizarlo como sello en las juntas de pavimento rígido.

---

<sup>2</sup>REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Uso de desechos plásticos en mezclas asfálticas. Bogotá D C: Pontificia Universidad Javeriana., Agosto de 2008. p. 13.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Evaluar las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado como material de sello frente a los materiales de sello convencionales utilizados en las juntas de pavimento rígido.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado en función de su desempeño como material sellante.
- Consultar las propiedades mecánicas del material de sello convencional.
- Realizarla comparación entre las propiedades obtenidas de los ensayos de laboratorio del caucho vulcanizado con las propiedades del material de sello convencional.

## 2 MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO ANTECEDENTES

✓Hermes Andrés Torres Ospina<sup>3</sup>, en su valoración de las propiedades mecánicas del concreto adicionando residuos de llantas de caucho para reemplazar los agregados finos, estudia el comportamiento del concreto, mediante ensayos de laboratorio utilizando 4 mezclas diferentes con diferentes porcentajes entre el 10% y 30% de adición de residuos de caucho para poder comparar los resultados de las propiedades y comportamiento del concreto.

En esta investigación se encontró que al comparar los resultados con un concreto normal, la resistencia a la compresión del concreto adicionado disminuye con el aumento de porcentaje de sustitución de caucho, “sin embargo de las tres muestras (10, 20 y 30% de sustitución de caucho) presenta mejor comportamiento a la compresión el 10% de sustitución de caucho, en la que los resultados de resistencia a la compresión no disminuyen en gran proporción en edades de 28 días para edades mayores su resistencia se ve disminuida en un 21%”<sup>4</sup>.

Como conclusión la valoración que se obtiene con respecto a los residuos de llantas de caucho es que al adicionar grandes cantidades el concreto baja la resistencia al esfuerzo debido a que la resistencia a la compresión es mínima, y la mezcla de las partículas del caucho con el concreto no tienen suficiente adherencia para obtener un módulo elástico estable, lo que hace que esta mezcla de concreto modificado sea más poroso, aumentando la permeabilidad y absorción, permitiendo mayor de formabilidad en el concreto. Con los resultados se evidencia que no es factible utilizar porcentajes altos de caucho debido a que el módulo de elasticidad del concreto disminuye dependiendo de las cargas, llevándolo a la falla más fácil.

✓ John Freddy López Gutiérrez, Javier Andrés Espitia Jiménez y Marly Johana Gutiérrez Rincón<sup>5</sup>, en la comparación que realizan de una mezcla convencional y una modificada con poliestireno expandido y polvo de llanta, utilizando un 14% de polvo de llanta con control de tamaño, permite que el ligante sea más homogéneo, hallando que es compatible con el asfalto y el polímero. “se observó que el rango de deformaciones es más amplio en la mezcla modificada respecto a la mezcla convencional. Esto indica que la mezcla modificada es

---

<sup>3</sup>TORRES OSPINA, Hermes Andrés. Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto adicionado con residuos de llantas de caucho. 2014. p. 41.

<sup>4</sup> Ibíd., p. 9.

<sup>5</sup> LÓPEZ GUTIÉRREZ, John Freddy, ESPITIA JIMÉNEZ, Javier Andrés y GUTIÉRREZ RINCÓN, Marly Johana. Comparación de una mezcla mdc – 2 convencional y una modificada con poliestireno expandido y polvo de llanta compactada estáticamente .2009. p. 82

menos rígida, lo que en teoría la hace menos susceptible al agrietamiento cuando se encuentra en servicio en lugares de bajas temperaturas.”<sup>6</sup>

✓ Laura Cardona Gómez, Luz María Sánchez Montoya<sup>7</sup>, en el año 2011 presentan una monografía en la Universidad de Medellín sobre el aprovechamiento de las llantas para utilizarlas como materia prima en la elaboración de pisos decorativos, conociendo las principales propiedades, la llanta pasa por un proceso de trituración mecánica obteniendo la arena plástica, utilizándola como materia prima de los pisos. “La arena plástica como materia prima para la elaboración de pisos decorativos, cumple con los requerimientos necesarios para alcanzar las principales propiedades de seguridad, confort y estética, ya que al comparar la arena plástica con la cerámica y la madera encontramos que la arena plástica posee excelentes características como: antideslizantes, apto para exteriores, resistentes al impacto, resistentes al tránsito, durables, higiénicos, elásticos, atenúan el ruido y son fáciles de limpiar.”<sup>8</sup> Se puede concluir que el reciclaje de la llanta triturada permite obtener un material como la arena plástica que puede ser utilizada en aplicaciones industriales, contribuyendo a la disminución de llantas que ya no son utilizadas.

✓ Andrés Xavier Criollo<sup>9</sup>, presenta en el año 2014 un trabajo de grado sobre la caracterización de caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU), aplicándolo como materia prima y generando productos que ofrece la industria y comercio. Además se obtuvo la estructura molecular del caucho antes y después de ser vulcanizado, lo que permitió conocer los procesos que existen para su vulcanización, trituración. Se debe tener en cuenta que el gránulo de caucho se utiliza en porcentajes menores del 10% para minimizar los impactos negativos debido a que al exceder la cantidad podría variar el comportamiento mecánico.

La importancia de esta investigación es la caracterización del caucho desvulcanizado de acuerdo con el porcentaje de azufre utilizado en cada probeta respecto a la masa del caucho vulcanizado para la reutilización de este material, el autor llega a la conclusión que de acuerdo al porcentaje de azufre las propiedades del caucho vulcanizado varían y el porcentaje de azufre donde se obtiene las mejores propiedades del material es con el 99.5% de masa de caucho vulcanizado y 0.5% de azufre.

---

<sup>6</sup> *Ibíd.*, p. 9

<sup>7</sup> CARDONA GÓMEZ, Laura y SÁNCHEZ MONTOYA, Luz María. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos, 2011.

<sup>8</sup> *Ibíd.*, p. 10.

<sup>9</sup> CRIOLLO SALAMEA, Andrés Xavier. Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima. Junio de 2014.

## 2.2 MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

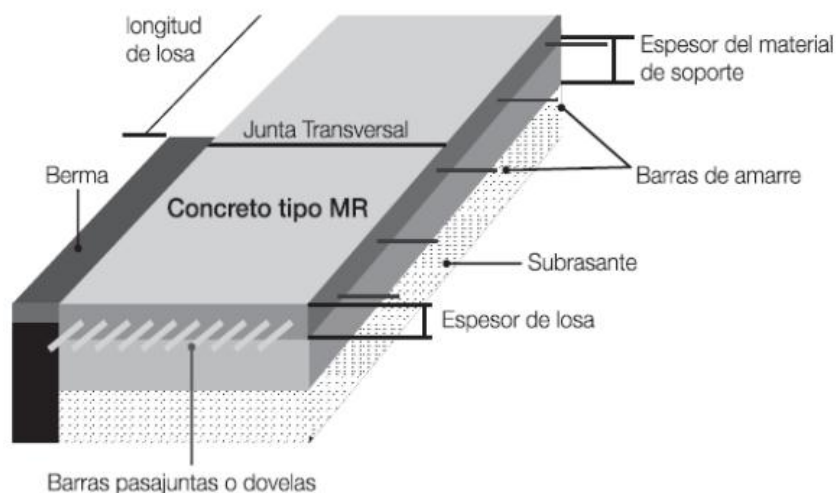
En el análisis comparativo del material de sello, se encuentran elementos y materiales que interactúan con su aplicación, uso y desempeño. A continuación se definen cada uno de los elementos que intervienen en el proceso de aplicación.

### 2.2.1 Pavimento en Concreto Rígido

El pavimento en concreto rígido es el elemento o material donde tendrá aplicación el material de sello, entendiendo que el pavimento rígido es proporcionado por losas de concreto hidráulico conformado por capas (subrasante, subbase). El cual se compone de un espesor para cada de las capas que cumplan con los requisitos de resistencia para soportar cargas generadas por la superficie.

Algunas de las variables que encontramos en el pavimento son la serviabilidad siendo la habilidad del pavimento para servir al tipo de tráfico que circulan en la vía, el tránsito que tiene en cuenta la carga de ejes equivalentes, la transferencia de carga que se define como “la capacidad que tiene la losa de pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes para minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento.”<sup>10</sup>

Figura 1. Capas del Pavimento Rígido.



Fuente. ARROYO HILTON, Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos.

Figura 2. Pavimento en Concreto Rígido

<sup>10</sup>ARROYO HILTON, Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos. Universidad Nacional Autónoma De México.2012, Pág.23



Fuente. Pavimento en Concreto Rígido [en línea]. <<http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2012/06/pav1>> [citado en 24 de febrero de 2016]

### **2.2.1.1 Tipo de daños en los Pavimentos**

Dentro de la clasificación de los daños de pavimentos se presentan los siguientes:

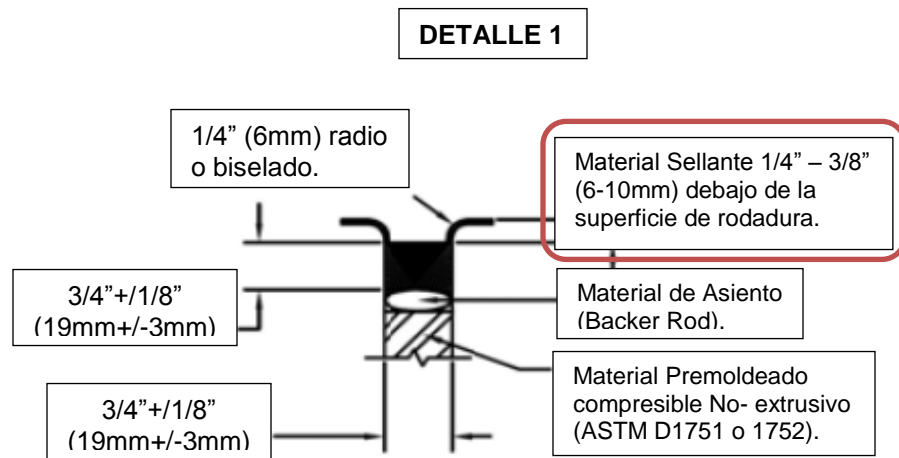
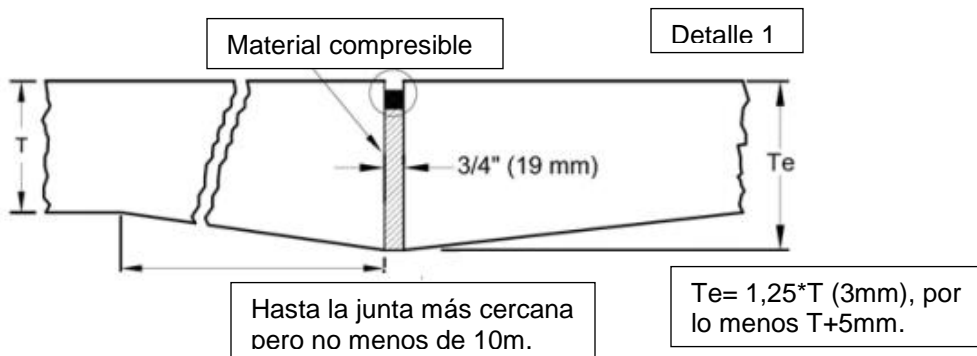
- ✓ Grietas y fisuras (menores a 0,03mm), Grietas de Esquina, Longitudinales, Transversales, en los extremos de los pasadores, en bloque o fracturación múltiple, en pozos y sumideros.
- ✓ Deterioro o daños en juntas (Separación de juntas longitudinales, **Deterioro del sello**).
- ✓ Deterioro superficial (desportillamiento de las juntas, desintegración, Baches, Escalonamiento de las juntas, levantamiento localizado, parches, hundimiento o asentamiento).
- ✓ Otros deterioros (fisuración por retracción o tipo malla, fisuras ligeras de aparición temprana, fisuras por durabilidad, Bombeo sobre las juntas transversal y longitudinal, ondulaciones, descenso de la berma, separación entre el berma y el pavimento).

### **2.2.2 Juntas**

Las juntas se construyen entre las losas de los pavimentos, son necesarias por los cambios volumétricos que experimenta el concreto, cambios en los sistemas constructivos, efectos climáticos (humedad y temperatura). Tienen como función “mantener las tensiones que se desarrollan en la estructura de un pavimento o disipar las tensiones debidas a agrietamientos, controla el agrietamiento

transversal y longitudinal, divide al pavimento en secciones adecuadas por efecto de las cargas de tránsito, permite la transferencia de cargas entre losas<sup>11</sup>, se conocen las juntas de contracción, construcción y de expansión de acuerdo a su función y según su ubicación hay transversales y longitudinales. Se coloca un pasajuntas o barras lisas que permiten la transferencia de carga entre juntas de losas de concreto.

Figura 3. Junta de Expansión –Detalle 1

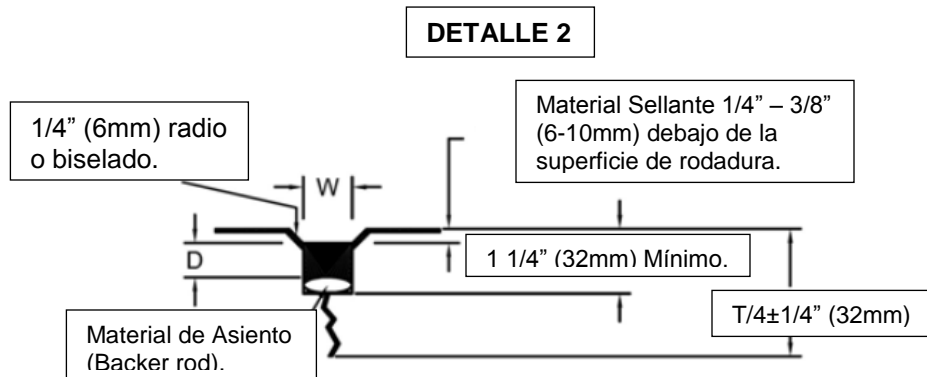
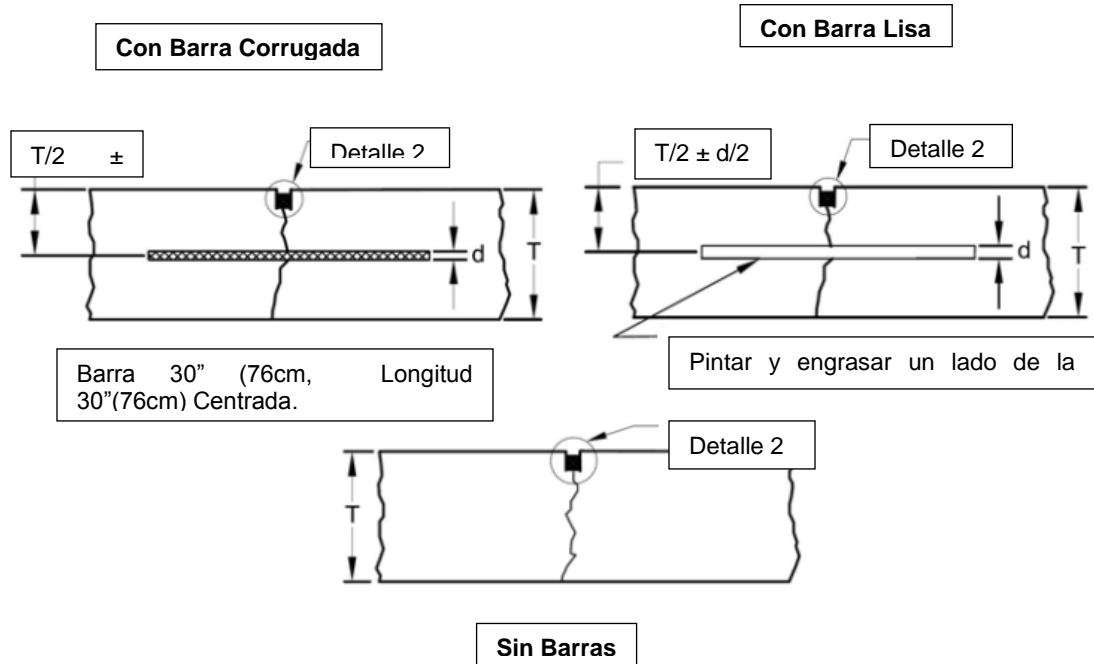


Fuente. Tomado de Guía de pavimentos rígidos para carreteras de alto volumen.

Las juntas de expansión permiten el movimiento horizontal en puentes, alcantarillas, uniones en calles y controlan la dilatación del concreto.

<sup>11</sup>Ibíd., p. 11

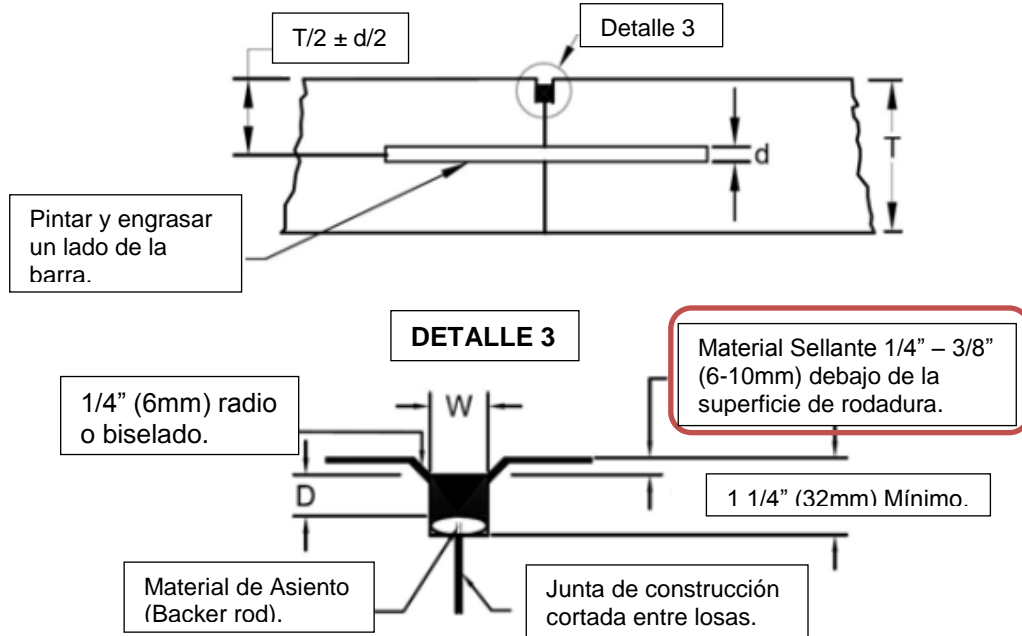
Figura 4. Junta de Contracción



Fuente. Tomado de Guía de pavimentos rígidos para carreteras de alto volumen.

Las juntas de contracción se construyen ortogonalmente al eje del pavimento, tienen como función evitar el agrietamiento que se originan por los esfuerzos que se presentan por los cambios de temperatura, humedad y secado, son implementadas o cortadas en el proceso constructivo.

Figura 5. Junta de Construcción



Fuente. Tomado de Guía de pavimentos rígidos para carreteras de alto volumen.

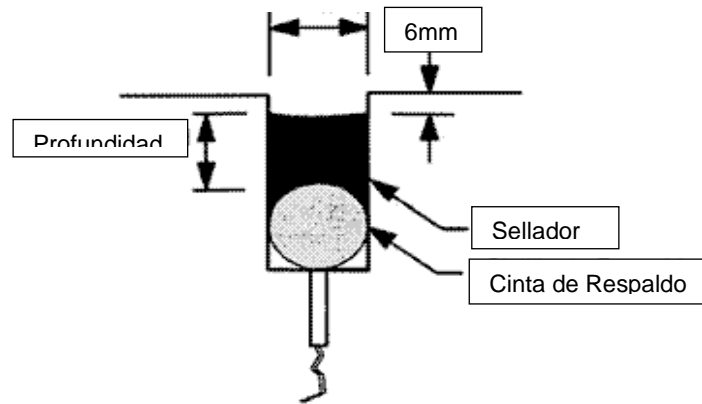
Las juntas de construcción se realizan al finalizar una labor o porque se hacen necesarias en las instalaciones y estructuras existentes.

### 2.2.3 Material de Sello

Es un material utilizado en las juntas que se implementan en el pavimento rígido, como lo indica su nombre es un sello o barrera que impide el paso de líquidos, sólidos y gases.

El material de sello debe tener propiedades adhesivas y cohesivas que interactúan con los demás materiales que intervienen en las juntas. Los materiales que se utilizan para el sellado de juntas pueden ser de látex o elastoméricos.

Figura 6. Material de Sello.



Fuente. Material de Sello. [en línea]. <<http://www.elconstructorcivil.com/2011/04/deposito-para-el-sello-de-la-junta.html>> [citado en 24 de febrero de 2016]

### 2.2.3.1 Deficiencias en el material de sello

La deficiencia del sellante posibilita la acumulación de material en las juntas o permite una significativa infiltración de agua, puede ser provocado por el endurecimiento del sellante por oxidación, pérdida de adherencia con los bordes de las losas, el levantamiento del sellante por efecto del tránsito y movimientos de la losa, escasez o ausencia de sellante, sellante inadecuado y el crecimiento de vegetación. La condición del sellante se evalúa de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 1 Severidad de la deficiencia del material de sello

Severidad	Condición del sellante	Presencia de causas	Examen visual
<b>Baja</b>	• buena	• reducida	• sin riesgo de infiltración de material incompresible.
<b>Medio</b>	• regular	• moderada	• reemplazar el sellante en un período de 2 años.
<b>Alta</b>	• pobre o no existe	• uno o más defectos	• sellar o resellar a la brevedad

Fuente: Tabla tomada de trabajo de graduación control de calidad en el material sellante para juntas en Pavimentos de concreto hidráulico. P 55

Despostillamiento, es la rotura, fractura o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 metros de una junta o una esquina; interceptando la junta en ángulo. El despostillamiento ocurre por varios factores, que pueden actuar en

forma aislada o combinada, también lo ocasiona las excesivas tensiones en las juntas, originadas por las cargas de tránsito y la infiltración de material incompresible, el deficiente diseño en la construcción de los sistemas de transferencia de carga y la acumulación de agua al nivel de las juntas, La condición del despostillamiento se evalúa de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2 Grado de severidad del despostillamiento

Severidad	Estado de las piezas formado por fracturamiento	Largo/ancho afectada	Examen visual
Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>trozos pequeños</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\leq 8</math> cm a cada lado de la junta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>firmes, puede faltar uno</li> </ul>
Media	<ul style="list-style-type: none"> <li>trozos relativamente sueltos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>&gt;8</math> cm a cada lado de la junta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>algunos o todos pueden faltar, pero su profundidad es menor a 25 mm</li> </ul>
Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>trozos inexistentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>&gt;8</math> cm a cada lado de la junta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>removido por el tránsito y tienen una profundidad mayor a 25 mm.</li> </ul>

Fuente: Tabla tomada de trabajo de graduación control de calidad en el material sellante para juntas en Pavimentos de concreto hidráulico. P 56

### 2.2.3.2 **Materiales para sellos de Juntas**

El sellado de juntas debe utilizar material que garantice la estanquidad sin despegarse de los bordes de las losas.

Puede emplearse sello líquido vertido en frío, en caliente y sellos preformados o comprimidos. Cada uno de estos tipos de sellos presenta a continuación su descripción y especificaciones de acuerdo a las normas que aplica para cada uno de ellos.

#### **Sellantes líquidos**

Dentro de los sellantes líquidos encontramos el termoplástico como el asfalto y el termoestable como la resina epoxi. En los selladores líquidos tenemos:

- a) *Material de sellado vertido en frío* no necesita calentamiento y de algún tipo de mezcla, un ejemplo de este material es el Silicón. En la tabla 3 se indican las normas y propiedades físicas del material de sello vertido en frío.

Figura 7. Sellante Líquido.



Fuente. Sellante Líquido. [En línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=UJ8AKKkIJP8>> [Citado en 24 de febrero de 2016]

Tabla 3. Material de Sellado Vertido en Frio.

<b>Selladores de un solo componente vaciados en frío</b>		
Silicón	N.D	No se comba, trabajable, bajo módulo
Silicón	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Silicón	N.D	Autonivelante (sin herramienta), muy bajo módulo
Sellador de goma de nitrilo	N.D	Autonivelante (trabajable), no se comba
Polisulfido	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Polímeros de bajo módulo	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
<b>Selladores de dos componentes vaciados en frío</b>		
Polímeros elastoméricos	SS-S-200	Resistente al combustible de avión

Fuente. Tabla tomada de trabajo de graduación control de calidad en el material sellante para juntas en Pavimentos de concreto hidráulico.

- b) *Sellador de juntas preformado*: Difieren de los selladores líquidos que se entregan listos para su instalación, no necesitan calentar, ni inyectarse en el terreno. El neopreno es el componente principal en los sellos preformados este es un caucho sintético que proporciona una excelente capacidad de presión resiliente bajo compresión. En la tabla 4 se indican las normas y propiedades físicas del material de sello preformado.

Figura 8. Sellante Preformado.



Fuente. Sellante Preformado [En línea].

<<http://www.especificar.cl/static/files/TECNOAV/imagenes/SL380207>>[Citado en 24 de febrero de 2016]

Tabla 4 Material de Sello preformado

<b>Policloropreno elastomérico preformado (sellos que se aplican comprimidos)</b>		
Sellos preformados	ASTM D2628 Lubricante Adhesivo	Resistente al combustible de aviones ASTM D2835
<b>Rellenos de juntas de expansión preformados</b>		
Rellenos preformados	ASTM D1751 AASHTO M213	Asfáltico, no extruído, elástico
Rellenos preformados	ASTM D1752 AASHTO M153	Esponja de goma, corcho
Rellenos preformados	ASTM D994 AASHTO M33	Asfáltico

Fuente. Tabla tomada de trabajo de graduación control de calidad en el material sellante para juntas en Pavimentos de concreto hidráulico.

- c) *Material de sellado vaciado en caliente.* El material es calentado utilizando gas y no debe tener contacto directo con el suelo para no perder temperatura, utilizando mangueras con aislamiento térmico en la instalación. En la tabla 5 se indican las normas y propiedades físicas del material de sello.

Figura 9. Sello Asfáltico en Aplicación en Caliente



Fuente. Tomado de Paviflex sello asfáltico.

Tabla 5. Material de Sello Vaciados en Caliente

Tipo del sellador	Especificación (es)	Propiedades
<b>Selladores vaciados en caliente</b>		
A base de asfalto poliméricos	ASTM D3405 ASTM D1190 AASHTO MO183 SS-S-1401 C	Autonivelante Autonivelante Autonivelante Autonivelante
Polímeros de bajo módulo	ASTM D3405	Autonivelante
Elastoméricos PVC alquitrán de hulla	ASTM D3406 SS-S-1614	Autonivelante Autonivelante
Elásticos	ASTM D1854	Resistente al combustible de avión
Elastoméricos PVC alquitrán de hulla	ASTM D3569 ASTM D3581	Resistente al combustible de avión

Fuente. Tabla tomada de trabajo de graduación control de calidad en el material sellante para juntas en Pavimentos de concreto hidráulico.

De acuerdo al ancho se escoge el material de sello, para juntas, para un ancho de 12mm los productos recomendados son aquellos que con deformación admisible entre el 20% y 30% cumplan con los requisitos establecidos en las normas correspondientes. Los imprimantes y cordones de respaldo deben ser compatibles con el sellador.

Para juntas con ancho entre 20mm y 30mm el material de sello recomendado es del tipo de masillas asfálticas, modificadas con polímero que tengan las siguientes características:

- ✓ Penetración
- ✓ Ductilidad,
- ✓ resistencia
- ✓ Punto de Ablandamiento

Para juntas con ancho superior a 30mmse recomienda una mezcla de arena-emulsión asfáltica, con una dosis mínima de 18% de emulsión.”<sup>12</sup>

#### 2.2.4 Reciclaje de Llantas

En el reciclaje de llantas se utilizan varios métodos, entre ellos se encuentran la termólisis, pirólisis e incineración, cada uno de estos métodos somete al residuo a un calentamiento donde carece el oxígeno que provoca la ruptura de los enlaces químicos generando cadenas de hidrocarburos. La incineración transforma el material en un producto gaseoso produciendo emisiones de gases contaminantes al medio ambiente. Se realiza un proceso inicial de trituración para cada uno de los métodos mencionados en el proceso de obtener nuevos materiales.

“En 1839 el químico norteamericano Charles Goodyear descubrió un procedimiento, denominado Vulcanización, que daba al caucho natural mayor estabilidad ante los cambios de temperatura, haciéndose resistente y elástico, además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, a los agentes químicos, al calor y la electricidad. También posee un alto coeficiente de rozamiento en superficies secas y un bajo coeficiente de rozamiento en superficies mojadas por agua. El principal agente vulcanizante sigue siendo el azufre, también se emplean ciertos elementos no metálicos como selenio y el telurio, con una elevada proporción de azufre”<sup>13</sup>.

Dentro de los tipos de caucho vulcanizado encontramos:

- A. **Fibra:** Las fibras tienen la función estructural, determinando principalmente las características de elevada resistencia mecánica y térmica de las láminas comprimidas.
- B. **Gránulo:** El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes como son: recapado, molienda a temperatura ambiente y molienda criogénica.

“El proceso de trituración de los neumáticos para su reciclaje consiste en reducir el tamaño de las llantas a través de máquinas trituradoras con el fin de separar el caucho de elementos como el acero y los textiles, este grano de caucho triturado se puede emplear para la elaboración de nuevos productos.

---

<sup>12</sup> LONDOÑO NARANJO, Cipriano. Manual de Diseño de Concreto.pág., 100.

<sup>13</sup>CAVIA, Soraya Diego. Estudio de viabilidad de reutilización de poliamida reforzada con fibra de vidrio cortar para inyectar placas de sujeción de vía ferrocarril para alta velocidad española (AVE): Universidad de Cantabria. Santander. Diciembre 2014, p., 12.

Figura 10. Tipos de caucho vulcanizado



Fuente. Tipos de caucho vulcanizado [En línea] <<https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/09/28/mas-hormigon-sostenible-hormigon-reforzado-con-fibras-metalicas-de-neumaticos-usados/>> [Citado en 15 de Marzo de 2016]

Actualmente se encuentran dos métodos de trituración, la trituración mecánica y la trituración criogénica:

- ✓ **Trituración mecánica:** La trituración mecánica emplea cuchillas para desmenuzar las llantas, se trituran las llantas hasta alcanzar el tamaño mínimo requerido y luego se emplean clasificadores neumáticos y magnéticos para separar el textil y el acero presentes. Tiene como ventaja obtener productos de buena calidad con un reducido número de etapas de proceso.

Figura 11. Trituradora de neumáticos.



Fuente. Trituradora de neumáticos. [En línea] <<http://www.monografias.com/trabajos96/planta-reciclaje-vertedero-potreri/planta-reciclaje-vertedero-potreri3.shtml>> [Citado en 15 de Marzo de 2016]

- ✓ **Trituración Criogénica:** La trituración criogénica consiste en congelar con nitrógeno líquido llantas enteras, las cuales son golpeadas para obtener el caucho en forma de polvo, con liberación de nitrógeno gaseoso, este

proceso tiene como ventaja el reducido tamaño de las partículas obtenidas y como desventaja el hecho de que las partículas de acero y caucho se encuentran mezcladas”<sup>14</sup>

### 2.2.4.1 Propiedades del Caucho Vulcanizado

A partir de los ensayos realizados por Andrés Xavier Criollo en su trabajo sobre la caracterización de caucho reciclado se determinan los ensayos que permiten conocer las propiedades del caucho vulcanizado, se enuncian cada una de sus propiedades y norma aplicada en cada uno de ellos.

- ✓ **Densidad:** Norma utilizada DIN ISO 1183-1, por el método de inmersión.
- ✓ **Dureza:** Norma NTC 467: Caucho vulcanizado. Determinación de la dureza., Equipo utilizado el Durómetro.
- ✓ **Resistencia a la Tensión, elongación y módulo de elasticidad:** Norma utilizada NTC 444 Caucho vulcanizado. determina el módulo tensión y elongación

La siguiente tabla relaciona los resultados obtenidos de las propiedades en ensayos realizados al caucho vulcanizado por Andrés Xavier Criollo.

Tabla 6 Propiedades del Caucho Vulcanizado.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.050	1.060	1.05	1.05	1.06
Dureza [SH-A]	45.2	45.7	46.2	47.6	43.3
Tensión [MPa]	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4
Elongación [%]	158	145	146	139	164
MD 050 [MPa]	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
MD 100 [MPa]	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Rebound [%]	34.4	35.6	34.6	34.8	36.6

Fuente: Tabla tomada del trabajo de grado, caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima., p 50

La siguiente tabla relaciona los resultados obtenidos de las propiedades en ensayos realizados al caucho vulcanizado utilizando como aditivo el azufre como agente vulcanizante.

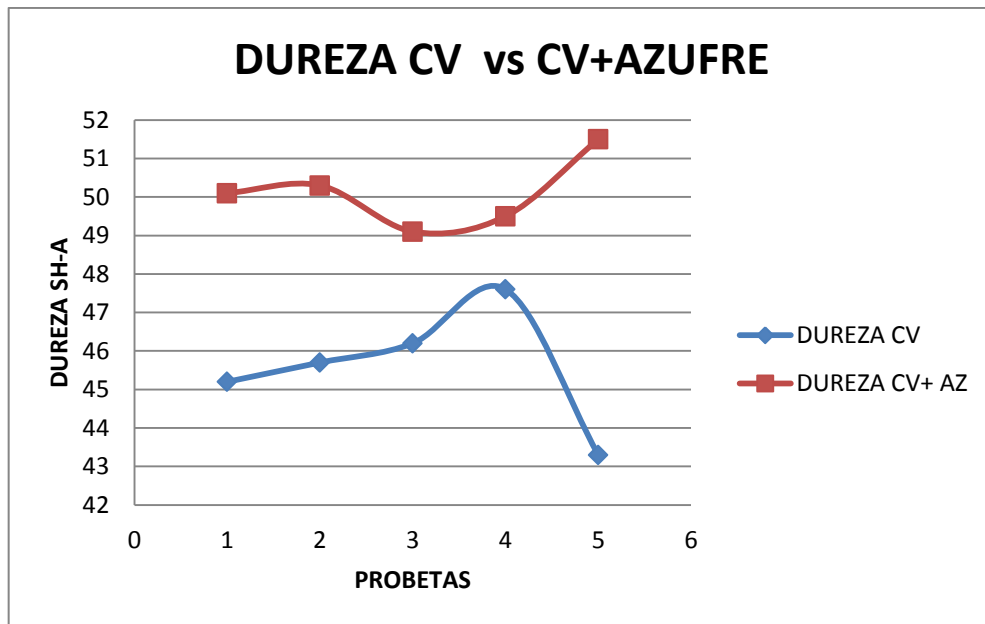
<sup>14</sup>TORRES OSPINA. Op.Cit., p 9

Tabla 7. Propiedades del Caucho Vulcanizado con azufre.

PROPIEDAD	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROBETA 4	PROBETA 5
Densidad [Kg/l]	1.090	1.090	1.090	1.09	1.09
Dureza [SH-A]	50.1	50.3	49.1	49.5	51.5
Tensión [MPa]	2.2	2.1	1.9	2.2	2.5
Elongación [%]	186	165	162	182	199
MD 050 [MPa]	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
MD 100 [MPa]	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
Rebound [%]	37.2	37.8	37	38	38

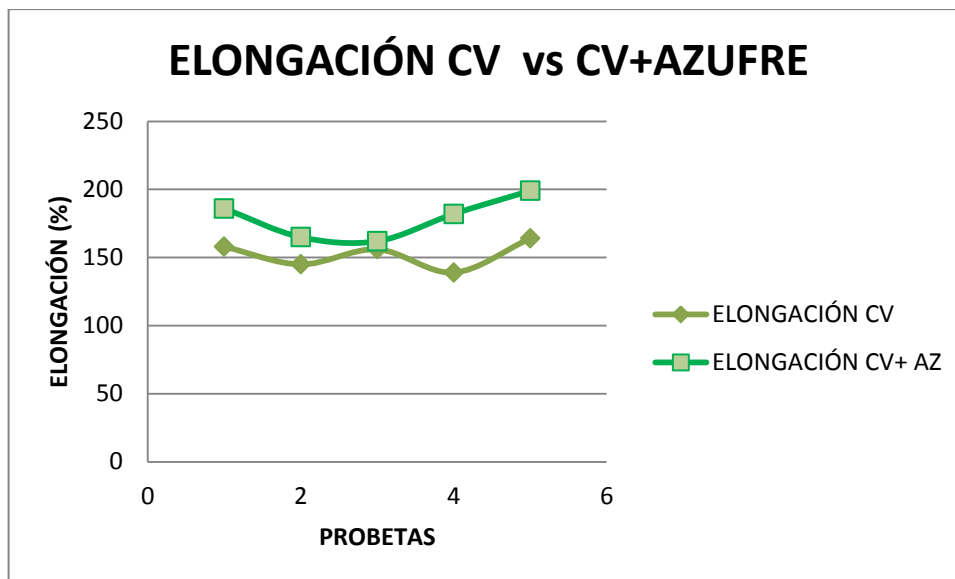
Fuente. Tabla tomada del trabajo de grado, caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima., p 50

Figura 12 Comportamiento del caucho vulcanizado VS el caucho con azufre en función de la dureza



Fuente. Propia, tomando como referencia los datos de trabajo de grado, caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima.

Figura 13 Comportamiento del caucho vulcanizado VS el caucho con azufre en función de la elongación



Fuente. Propia, tomando como referencia los datos de trabajo de grado, caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima.

Las tablas 6 y 7 nos indican los valores obtenidos de las propiedades del caucho vulcanizado con y sin aditivo de azufre. La densidad, la dureza, la tensión y módulo de elasticidad tienden a aumentar, la elongación se encuentra bajo tensión donde aumenta, y comienza a decrecer después de haber alcanzado su máxima tensión, sin lograr una alta deformación.

Otras de las propiedades mecánicas asociadas con la reacción a las diversas fuerzas aplicadas son:

- Dureza: se basa en la reacción elástica del caucho cuando dejamos caer sobre él un material más duro produciendo rebote.
- Índice de resistencia a la abrasión: es la medida de la resistencia de una pieza de caucho vulcanizado con relación a la de un estándar en las mismas condiciones.]
- Adhesión: es el estado en el que dos superficies se mantienen unidas por fuerzas externas.
- Alargamiento de rotura: es la extensión producida por tensión de tracción.

- Deformación permanente: es la cantidad por la cual un material elástico no retorna a su forma original después de la deformación.
- Deformación por compresión: es la deformación residual del material después de la eliminación de la tensión de compresión.
- Envejecimiento térmico: consiste en hacer envejecer aceleradamente en aire y en oxígeno a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo específicos. El deterioro se observa en general como un cambio de las propiedades originalmente medidas.
- Resistencia al envejecimiento es la resistencia al deterioro por el oxígeno, el calor, la luz, y el ozono o combinaciones de los mismos durante el almacenamiento o uso.
- Elasticidad: es la propiedad de la materia en la cual se tiende a volver a su tamaño y forma original después de la eliminación de la tensión que causó la deformación.
- Flexibilidad: es la capacidad de un producto a ser flexionado, doblado sin pérdida de su utilidad.
- Resistencia a la tensión: es el esfuerzo de tensión máxima aplicada durante el estiramiento hasta la ruptura.
- Resiliencia: es la energía de deformación (por unidad de volumen) que puede ser recuperada de un cuerpo deformado cuando cesa el esfuerzo que causa la deformación.
- Resistencia eléctrica: es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado.
- Resistencia al desgarramiento del caucho: es la fuerza necesaria para desgarrar una pieza de caucho bajo condiciones específicas.
- Rigidez: es la temperatura a la cual un elemento puede soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Además posee capacidad de absorción de vibraciones, gran capacidad de drenaje, peso reducido, absorción a impactos y alto poder calorífico.

## **2.3 MARCO LEGAL**

En el ámbito legal para utilizar un material de sello se requiere que cumpla con los parámetros y especificaciones establecidos en la norma de la “ASTM D6690, que determina las especificaciones estándar para selladores de juntas y grietas de aplicación en caliente, para pavimentos de concreto y asfalto, utilizando como referencia la ASTM D5329, métodos de prueba para selladores y rellenos, de aplicación en caliente en pavimentos de cemento portland y asfálticos”<sup>15</sup>, contenidas en esta norma.

A continuación se relacionan tres de los ensayos que contempla la norma ASTM D5329, para evaluar si el caucho vulcanizado cumple con las especificaciones requeridas como material de sello.

### **2.3.1 Ensayo de Penetración**

El material de sello se vierte en un recipiente de 6 onzas, colocándolo en un baño de agua a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$  2 h. Después del baño se seca la superficie, colocándolo en el penetrómetro de cono determinando tres posiciones en un radio de  $120^\circ$  en 150g. Se asegura la punta del cono soltándolo y dejándolo caer libremente en el material por 5 segundos a temperatura ya especificada, se realizan 3 lecturas y se promedian en unidades de 1/10mm dadas por el penetrómetro. El resultado para ser aprobado como sellante no debe exceder las 130 unidades.

### **2.3.2 Ensayo de Adherencia o ligazón sin inmersión**

Se preparan 6 bloques de concreto para 3 probetas. Se colocan 4 tiras espaciadoras de bronce de 6.4mm de ancho sobre una base metálica. Se colocan los bloques sobre las tiras espaciadoras formando una cavidad entre ellos de 12.7mm de ancho por 12.7 mm de espesor por 76,2 mm de largo y con abertura de 6,4mm debajo. Se vierte sellante alcanzando el tope de las paredes y se deja curar 21 días, al remover los espaciadores se examina su superficie exterior debe estar en estado sólido, sin mostrar vacíos u otro daño parecido debido a la pérdida de ligazón. Si la probeta no cumple con estos requerimientos se prepara una nueva probeta.

---

<sup>15</sup>ASTM D6690. especificaciones estándar para selladores de juntas y grietas de aplicación en caliente, para pavimentos de concreto y asfalto. 2015

### **2.3.3 Ensayo de Adherencia o ligazón con inmersión**

El sellante se vierte en un molde plástico de 40mm de ancho por 60mm de largo por 3mm espesor, se coloca en un panel de latón de calibre entre 0,25 a 0,64mm llenándolo con exceso de material. Se deja enfriar a temperatura ambiente media hora, nivelándolo al ras y se deja curar. Se colocan unas líneas de referencia en el fondo del borde del sellante y se coloca en el horno de aire forzado de forma que el eje longitudinal de la probeta este a un ángulo de  $75\pm 1^\circ$  con la horizontal a una temperatura de 60°C, 5h. Se remueve del horno y se mide el movimiento de la probeta debajo de las líneas de referencia sin que exceda los 5mm.

### **2.3.4 Ensayo de Tensión y adhesión**

Se preparan tres probetas al igual que en el ensayo de ligazón no sumergida y se dejan curar, se colocan en la máquina *tensile tester* y se estiran a una velocidad de 12.7mm/min en un rango desde 0 a 203 mm como mínimo. Se continúa la extensión hasta que el sellante alcance la cohesión completa y el fallo de adhesión. Se promedian las elongaciones, si la falla fue por cohesión o adhesión, su porcentaje debe ser igual a un mínimo del 500% de elongación para ser aprobada.

### **3 MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de Investigación del Proyecto corresponde a “Geotecnia Grancolombiana para el desarrollo de la Infraestructura física regional sostenible y la calidad de vida GGIR-UGC.”

La Sublínea de investigación corresponde a Materiales para Geotecnia vial. Con el presente trabajo de grado se pretende promover la utilización del caucho vulcanizado como material de sello a través del análisis comparativo propiedades mecánicas con las de otros materiales de sello de aplicación en caliente para juntas de pavimento en concreto hidráulico.

Actualmente los pavimentos rígidos presentan algunos daños ocasionados por el deterioro o deficiencia de los materiales sellantes en las juntas longitudinales o transversales, lo que provoca la pérdida de adherencia entre el sello y la losa, endurecimiento del sellante por oxidación, el levantamiento del sellante por efecto del tránsito y movimientos de la losa y escasez o ausencia del sellante. “El sello forma un compuesto elástico y adhesivo, resistente a los cambios de temperatura y a las diferentes cargas que tiene que soportar durante su vida útil, manteniendo sus características de adherencia, flexibilidad y consistencia.

Se encuentran múltiples tipos de selladores que se utilizan en pavimentos, según la calidad, tipos de materiales empleados en su fabricación, componentes utilizados, forma de aplicación, La elasticidad, adherencia y compatibilidad con los otros elementos constructivos son factores importantes al momento de una buena elección de un sellante.

Las propiedades que deben cumplir los selladores son: sellar efectivamente las juntas, fisuras y grietas contra la infiltración de humedad y agua lluvia a lo largo de sucesivos ciclos de expansión y contracción, excelente adherencia y compatibilidad con superficies de hormigón o asfalto, alta resistencia a los cambios climáticos, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad, consistencia a altas y bajas temperaturas”<sup>16</sup>.

#### **3.2 ENFOQUE CUANTITATIVO**

El enfoque que se aplica en el proyecto es de carácter cuantitativo, adquiriendo información, datos y resultados a partir de los ensayos que se realicen al caucho

---

16 OSORIO PONCE,Paula. Sellos de juntas y ensayos especiales, Laboratorio Nacional de Vialidad. Agosto 2014.

vulcanizado, ensayos de penetración, adherencia o ligazón con y sin inmersión, tensión, estos ensayos de laboratorio permiten comprobar el cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas para utilizarlo como material de sello.

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de Investigación es descriptivo con la modalidad de análisis comparativo y experimental de las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado como material de sello en juntas de pavimento rígido. Se pretende verificar a través de los ensayos el cumplimiento de las especificaciones que se requieren para su óptimo funcionamiento y desempeño.

### **3.4 HIPÓTESIS**

Es viable utilizar el caucho vulcanizado, como material de sello en las juntas de pavimento rígido, por tener propiedades mecánicas de resiliencia, viscosidad, impermeabilidad, durabilidad, adherencia y cohesión.

### **3.5 VARIABLES**

La variable cuantitativa permite obtener datos para realizar las comparaciones de las propiedades mecánicas entre material de sello existente y caucho vulcanizado para determinar su comportamiento como material sellante al utilizarlo en las juntas de construcción, apoyándonos en la comprobación a través de los ensayos de laboratorio. Las variables a tener en cuenta son las siguientes:

- Adherencia o ligazón con inmersión: Determina el grado de adherirse el material al concreto rígido
- Resiliencia: Es la capacidad de un material de recobrar su forma original después de haber sido sometido a una fuerza de deformación.
- Penetración: Determina el grado de dureza del sellante

### **3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Se realizó la recolección de la información a través de los estudios de otras investigaciones con el caucho vulcanizado.

### **3.6.1 Estudios Realizados de Investigaciones del Caucho Vulcanizado**

Se tienen en cuenta cada una de las investigaciones y estudios realizados referente al uso de neumáticos que se encuentran fuera de uso, y de cada uno de los ensayos que fueron aplicados para conocer las propiedades del caucho al darle un uso y aplicación diferente, se incluyen a continuación los estudios que fueron guía para conocer estas propiedades.

- Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial aplicación como materia prima, realizada por Andrés Xavier Criollo Salamea. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. (Quito, Guayaquil) junio de 2014.
- Control de calidad en el material sellante para juntas en pavimentos de concreto hidráulico, por Amalia Xiomara Morales Ramírez. Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre de 2006.
- Estudio de las alternativas de aprovechamiento de las llantas en desuso, realizada por Vicente Carlos Resendiz Tejada. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. (México, D.F) Octubre de 2007.
- Incorporación de residuos de caucho vulcanizado pos industrial obtenidos por trituración mecánica a mezclas puras de EPDM, realizada por Nelson Castaño Ciro, Universidad EAFIT (Medellín, Antioquia), 2012.
- Pavimentos con polímeros reciclados, realizada por Lina Marcela Ramírez Jiménez. Escuela de Ingeniería de Antioquia, (Envigado, Antioquia), 2011.

### **3.7 FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

- a) Fase 1: Determinar las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado en función de su desempeño como material sellante. Las propiedades se obtienen a través de los ensayos contenidos en la norma ASTM D5329, determinando las especificaciones que deben cumplir los materiales de sello aplicados en caliente, las propiedades a tener en cuenta son:
- Adherencia o ligazón con inmersión y sin inmersión.
  - Resiliencia.
  - Penetración.

- b)** Fase 2: Consultar las propiedades mecánicas de los materiales de sello convencionales, que se encuentran actualmente en uso para las juntas de concreto rígido a través de las fichas técnicas que contienen la información de sus propiedades., permitiendo realizar la comparación con las propiedades del caucho vulcanizado
- c)** Fase 3: Realizar la comparación entre las propiedades obtenidas de los ensayos del laboratorio del caucho vulcanizado con las propiedades del material de sello convencional. En esta fase se logra evidenciar que los valores obtenidos del caucho vulcanizado se encuentren entre los rangos que presentan los sellos, además de cumplir con la normatividad y los requerimientos mínimos para utilizarlos como material de sello.

## 4 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a través de ensayos de laboratorio para encontrar las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado.

### 4.1 Desvulcanización del caucho Vulcanizado

Para este proceso se utiliza el azufre como agente desvulcanizante en diferentes porcentajes obteniendo probetas con las tolerancias establecidas en la norma ASTM 5329, el porcentaje de azufre utilizado se determina de acuerdo a la masa del material de caucho vulcanizado.

Ensayo realizado en el laboratorio de la Universidad la Gran Colombia, para desvulcanización del caucho, a continuación se describe el procedimiento.

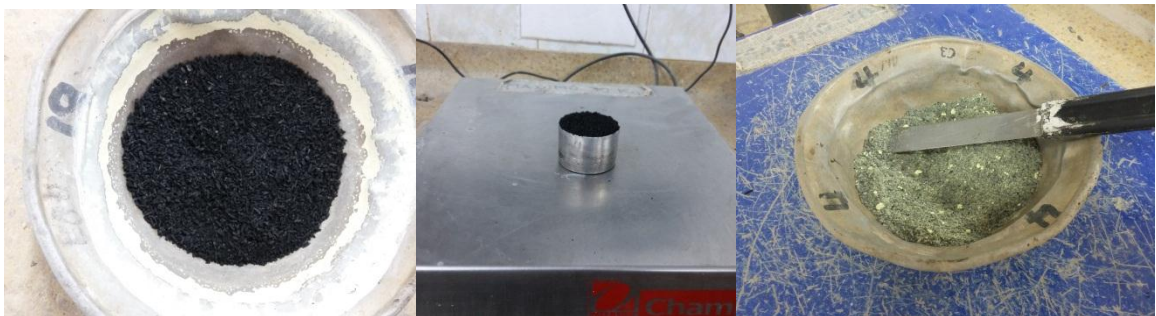
#### Datos:

Masa del caucho vulcanizado: 42,47gr  
Porcentaje de azufre 5%

#### Procedimiento

El caucho vulcanizado se mezcla con un porcentaje de azufre con respecto a la masa del caucho vulcanizado se coloca esta mezcla en un molde para ser calentado a una temperatura constante, hasta lograr la fluidez necesaria para ser vertidos en las probetas a ensayar.

Figura 14 Procedimiento de desvulcanización



Fuente. Propia. Fotografías tomadas en el laboratorio de la Universidad la Gran Colombia

La temperatura utilizada en el ensayo fue de 45°C, con un porcentaje del 5% de azufre, obteniendo como resultado la cristalización del material en un tiempo aproximado de 15 minutos, sin lograr la fluidez del material deseada para realizar las probetas.

Figura 15. Cristalización en el proceso de desvulcanización



Fuente. Propia. Fotografías tomadas en el laboratorio de la Universidad la Gran Colombia

De acuerdo con este resultado no es posible caracterizar el material en el laboratorio de la Universidad la Gran Colombia, por no tener los implementos necesarios, por lo tanto, el ensayo se realizó en laboratorios M&G certificado con la experiencia en la desvulcanización del caucho vulcanizado, y de esta manera realizar los ensayos que se necesitaban para obtener los resultados de las propiedades mecánicas.

#### **4.1.1 Penetración (ASTM D5329)**

Este método nos permite medir la dureza o consistencia de un material, mediante el penetrómetro, el cual se realiza después de haber obtenido una consistencia fluida del material, este se vierte en un molde de y se deja en agua a una temperatura de 25°C por un tiempo de dos horas.

Después se coloca la muestra en el penetrómetro de cono y se determinan 3 posiciones en un radio de 120°, equidistante entre el centro y el lado exterior de la probeta.

Se asegura la punta del cono, colocándola en un punto que represente el material, libre del polvo, agua, burbujas u otro material extraño.

Figura 16. Ajuste de la guja del penetrómetro



Fuente. Propia. Fotografías tomadas en el laboratorio MYG S.A.S

El cono se suelta y se deja caer libremente en la probeta por cinco segundos a temperatura ya especificada. Se realizan 3 lecturas y se promedian los resultados obtenidos.

Figura 17 Colocación de la muestra a ensayar



Fuente. Propia. Fotografías tomadas en el laboratorio MYG S.A.S

Figura 18 Posiciones de lecturas del penetrómetro



Fuente. Propia. Fotografías tomadas en el laboratorio MYG S.A.S

#### 4.1.1.1 Datos obtenidos

A continuación se presentan los datos obtenidos del penetrómetro

Tabla 8 resultados del penetrómetro

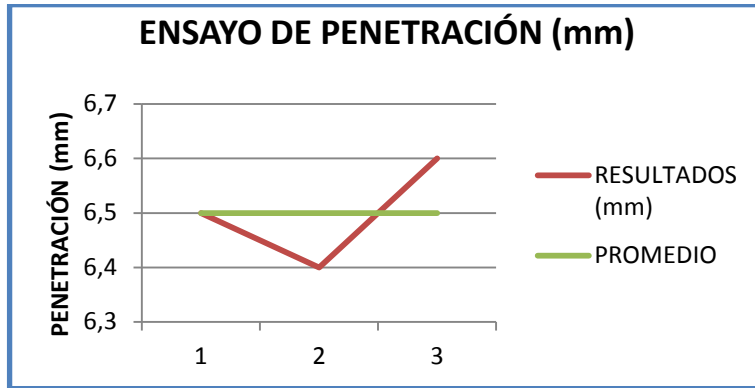
No DE ENSAYOS	RESULTADOS (mm)
1	6,6
2	6,4
3	6,5

Fuente. Propia.

De acuerdo con los datos obtenidos calculamos el valor promedio

- Promedio=  $(6,6+6,4+6,5)/3$
- Promedio= 6,5 mm

Figura 19 Ensayo de penetración-cálculo promedio



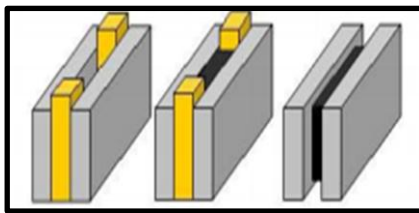
Fuente. Propia

El valor promedio obtenido de la gráfica es de 6,5mm, el cual se encuentra dentro de los parámetros exigidos por la norma ASTM D-5329.

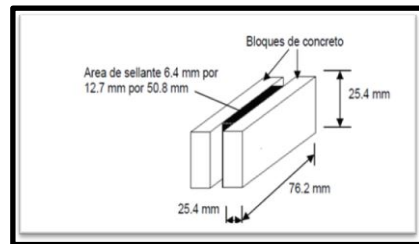
#### 4.1.2 Adherencia o ligazón con inmersión

Para esta prueba es necesario realizar dos bloques en concreto por cada probeta simulando una losa con una dilatación, para la preparación se deberá tener en cuenta:

Figura 20 Procedimiento de la preparación de las probetas



Hacer la mezcla de concreto con una resistencia de 4000 PSI. La mezcla se vierte en la formaleta y se vibra por 30 s.



Se corta en bloques de 25.4 por 25.4 por 76.2 mm, donde el sellante es vertido de modo que no quede aire en él y se sumergen en agua por 7 días a una temperatura de 23°C.



Se sacan de la cámara de curado y se dejan secar de 16 a 24 h antes de usarlos en un área del laboratorio libre de contaminación.

Fuente: propia

Se remueven los espaciadores, sin derramar el sellante, y se examina su superficie exterior, al evaluar las probetas, no se debe presentar grietas, separaciones o aberturas en el sellante, ni entre el sellante y los bloques de concreto, lo que indica que el material cumple con la adhesión.

Figura 21 Probeta después de la inmersión



Fuente: Tomada del informe del laboratorio MYG S.A.S

Después de sacar la probeta, se puede evidenciar que no hay presencia de grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto.

Se trabajó las probetas a 25 °C, se realizan 2 ciclos de recompresión y extensión, los cuales se describen a continuación.

#### **4.1.2.1 Probeta ensayada a extensión**

La probeta se coloca a  $-29 \pm 1^\circ\text{C}$  en un cuarto frío por 4 h. Si el material se contrae durante el enfriamiento por debajo de los topes de los bloques o se manifiesta otro defecto de vaciado, la probeta se descarta.

Si la probeta cumple con la normativa, se extraen los bloques de los espaciadores metálicos y se montan en las abrazaderas alineadas de la máquina de extensión, *tensile tester*; extendiendo la probeta 12.7 mm a  $3.2 \pm 0.26$  mm/h. Luego se remueve la probeta de la máquina de ensayo dentro de los 30 min de haber completado la extensión. Esto produce el 50% de extensión.

Figura 22 Maquina tensile tester



Fuente: Maquina tensile tester[En línea]. <<http://spanish.bairoe.cn/sale-514921-hut-100-hut-200-hydraulic-servo-universal-testing-machines-steady-load-tensile-compression-test.html>>[Consultada el 20 de abril de 2016]

La probeta se saca de la máquina de extensión, y se examina por separaciones obvias dentro del sellante y entre el sellante y los bloques.

Figura 23 Probeta ensayada en la máquina de tensión



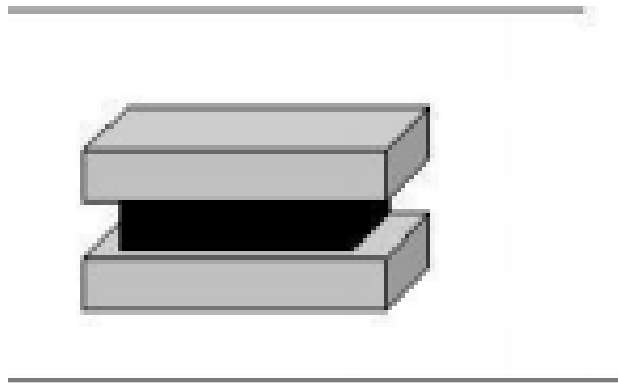
Fuente Tomada del informe del laboratorio MYG S.A.S

No se evidencian grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto.

#### 4.1.2.2 *Probeta ensayada a compresión*

Se reubican los espaciadores metálicos entre los bloques de concreto y se almacenan a la temperatura de la sala durante 2 horas, colocando las probetas de forma que queden en forma vertical para que el peso del bloque superior comprima la junta sellante.

Figura 24 Colocación de la probeta



Fuente: Colocación de la probeta [En línea]

[http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20III%20SELLOS%20\[Modo%20de%20compatibilidad](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20III%20SELLOS%20[Modo%20de%20compatibilidad) [consultado en 14 de marzo de 2016]

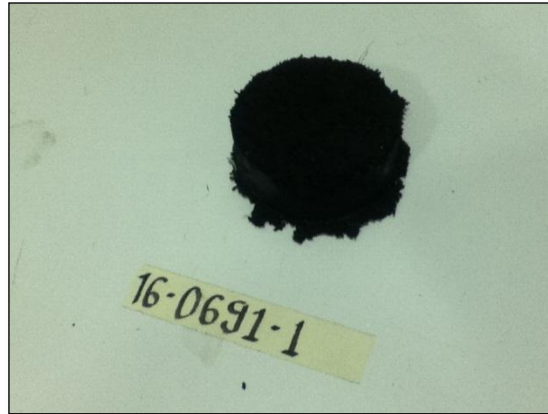
Se trabajó las probetas a 25 °C, se realizan 2 ciclos de recompresión y extensión, no se evidencian grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto.

#### 4.1.3 **Resiliencia**

Éste ensayo se realiza para determinar el grado de elasticidad que posee el material, la norma describe el siguiente procedimiento:

Se vierte sellante en una lata de seis onzas, dejándola curar previo a ensayar, se coloca la probeta en un baño de agua a  $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , 2 h. Luego, se extrae del baño de agua y se seca su superficie, cubriéndola ligeramente con talco, removiéndole el exceso. La probeta se ensaya a 25 °C.

Figura 25 muestra de la probeta a ensayar



Fuente: Tomada del informe del laboratorio MYG S.A.S

Se coloca el dial del penetrómetro en cero y la herramienta de penetración de bola en contacto con la superficie de la probeta, se suelta la herramienta de penetración de bola, permitiendo que penetre la probeta por 5 s y se registra la lectura como penetración de bola, P, en centímetros.

Figura 26 Probeta ensayada



Fuente: Tomada del informe del laboratorio MYG S.A.S

Se suelta la espoleta, permitiendo que la probeta se recupere por 20 s, registrando la lectura del dial final, F.

Figura 27 Proceso de recuperación de la probeta



Fuente:

[http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20III%20SELLOS%20\[Modo%20de%20compatibilidad](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/CAP%20III%20SELLOS%20[Modo%20de%20compatibilidad)

Las determinaciones se realizan a tres puntos equidistantes sin exceder los 13 mm del borde del recipiente. Calculando la recuperación (medida de Resiliencia) de la siguiente manera:

Debiendo obtener una recuperación mínima de un 60%, para su aprobación La probeta ensayada evidencio una **Resiliencia del 94%**

## 4.2 PROPIEDADES MECANICAS DEL MATERIAL DE SELLO CONVENCIONAL

Los materiales de sello deben cumplir con la norma ASTM D- 6690, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tabla 9 Propiedades de los materiales de sello en pavimentos de acuerdo con el método de prueba D-5329

PROPIEDAD	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
<b>Penetración</b>	Máx. 90	Máx. 90	Máx. 90	90-150
<b>Flujo a 60°C, mm</b>	5,0 Máx	3,0 Máx	3,0 Máx	3,0 Máx
<b>Adherencia sin inmersión y con inmersión</b>	Dos de tres muestras de 25.4 mm pasan (D)	Tres muestras de 12.7mm pasan (D)	Pasa Tres muestras de 12.7mm pasan (D)	Tres muestras de 12.7mm pasan (D)
<b>Resiliencia %</b>	60 min	60 min	60 min	60 min

NOTA: D La aparición, durante cualquier momento del procedimiento de prueba, de una grieta, separación u otra abertura que en cualquier punto tenga más de 6 mm de profundidad, en el sellador o entre el sellador y el bloque de concreto, constituye una falla de la muestra de prueba. La profundidad de la grieta, separación u otra abertura debe ser medida perpendicularmente al lado del sellador que muestre el defecto.

Fuente: tomado de: Norma ASTM D- 6690

#### 4.2.1 Materiales de sello convencionales

Los datos de las propiedades de los sellos convencionales se obtendrán de las fichas técnicas de cada material.

##### 4.2.1.1 Vulkem 45

Es un sellador de juntas autonivelante, de fácil aplicación, duradero, flexible y ofrece un excelente desempeño en juntas movibles. No requiere la aplicación de primer sobre la mayoría de los materiales de construcción.

#### Características:

- Tiene estabilidad ante los rayos ultravioleta para uso en exteriores.
- Permanece adhesiva y cohesivamente pegado durante los cambios en el ciclo de temperatura.
- Pasó las pruebas de adaptabilidad en climas severos a través de cambio acelerado de temperaturas.

#### Propiedades:

A continuación se presentan las propiedades del material sellante:

Tabla 10 Propiedades del material sellante- Vulkem 45

PRPOIEDADES	RERQUERIMIENTOS	RESULTADOS VULKEM
Dureza	25-50	35
Penetración	6.98 / +7.33	7.00
Punto de Ablandamiento	108°C	108°C
Durabilidad -movimiento cíclico	1,5 pulg <sup>2</sup> , Máxima pérdida de pega	Pasa
Adhesión - Cohesión.		
Resiliencia, 25°C, %	mín. 60	60

Fuente: tomado de la ficha técnica del material

##### 4.2.1.2 Polysello 3405 sellante elastomérico para juntas y grietas

Es un sellante elástico, flexible, impermeable, adherente y resistente al envejecimiento, elaborado con asfalto modificado y aditivos que le confieren un gran poder de penetración y adherencia en superficies limpias y secas. Producto de aplicación en caliente. Cumple con las normas para sellantes en caliente del Laboratorio Nacional de Vialidad LNV 57-84 y ASTM 6690.

Producto apto para el sellado de todo tipo de uniones y grietas, particularmente juntas sometidas a dilataciones y contracciones:

- Juntas y grietas en pavimentos de hormigón.
- Grietas en pavimentos asfálticos.
- Juntas, tales como tapas de alcantarillado, soleras, etc.
- Como protección en contacto con agua y sales minerales.

### Propiedades:

A continuación se presentan las propiedades del material sellante:

Tabla 11 Propiedades del material sellante- Polysello 3405

PROPIEDADES	RESULTADO
Temperatura de aplicación (°C)	160-180
Penetración (25°C, 150 g, 5 s, 1/10 mm)	máx. 9 mm
Flujo a 60°C, mm	máx. 3
Ligazón, -5°C tres ciclos, mm	máx. 6,5 mm
Ligazón -15°C, tres ciclos, mm	máx. 6,5 mm
Resiliencia, 25°C, %	mín. 60

Fuente: tomado de la ficha técnica del material. .

### 4.2.2 Dynaflex 88 sellado de juntas y grietas en pavimentos

Es un sello asfáltico de tipo elastomérico y aditivos especiales que lo hacen un compuesto elástico y adhesivo altamente resistente a condiciones críticas de servicio, es aplicado en caliente a una temperatura entre 195 a 200 °C.

#### Ventajas

- Notable resistencia al calor.
- Conserva su flexibilidad a bajas temperaturas.
- Posee un excelente comportamiento al envejecimiento por calor y una alta adhesión.
- Producto totalmente impermeable.
- Cumple con las normas ASTM D6690.

## Propiedades:

A continuación se presentan las propiedades del material sellante:

Tabla 12 Propiedades del material sellante-Dynaflex 88

PROPIEDADES	RESULTADO
Temperatura de aplicación (°C)	195-200
Penetración (25°C, 150 g, 5 s, 1/10 mm)	Máx. 9,0
Flujo a 60°C, mm	Máx. 3
Resiliencia, 25°C, %	Mín. 60
Ligazón 5°C, tres ciclos, mm	Máx. 6,5 mm

Fuente: tomado de la ficha técnica del material.

## 4.3 COMPARACION DE LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO DESVULCANIZADO Vs MATERIAL DE SELLO CONVENCIONAL

De acuerdo con los datos obtenidos del material de caucho desvulcanizado se realiza la comparación con los materiales de sello convencionales.

Tabla 13 comparación de las variables de caucho como material de sello frente a los convencionales

VARIABLES	CAUCHO DESVULCANIZADO	VULKEM 45	POLYSELLO 3405	DYNAFLEX 88
Penetración mm	65	70	90	90
Inmersión sumergido	No presenta grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto	Pasa	6,5 mm	6,5 mm
Resiliencia	94%	60%	60%	60%

Fuente: Propia

## 5 ANALISIS

A continuación se obtienen a partir de los ensayos de laboratorio los siguientes resultados:

- Los valores de penetración que deben manejarse se encuentran entre 1mm a 10mm, y en valores máximo 90 a 150 para ser clasificado dentro de un tipo de material sellante.

La penetración el ensayo realizado obtuvo como resultado 6,5mm igual a un valor de 65, de acuerdo a la tabla 13, se encuentra entre el rango de penetración siendo el valor máximo de 90.

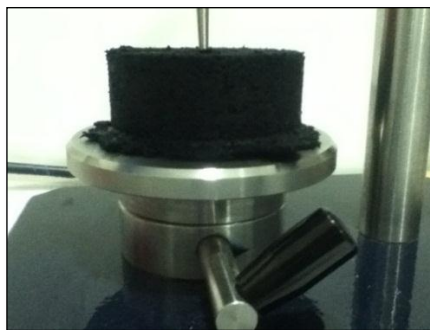
Tabla 14. Propiedades de los materiales de sello en pavimentos de acuerdo con el método de prueba D-6690

PROPIEDAD	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
PENETRACIÓN	Máx. 90 mm	Máx. 90 mm	Máx. 90 mm	90-150
FLUJO A 60°C, MM	5,0 Máx.	3,0 Máx.	3,0 Máx.	3,0 Máx.
ADHERENCIA SIN INMERSIÓN Y CON INMERSIÓN	Dos de tres muestras de 25.4 mm pasan (D)	Tres muestras de 12.7mm pasan (D)	Pasa tres muestras de 12.7mm pasan (D)	Tres muestras de 12.7mm pasan (D)
RESILIENCIA %	60 min	60 min	60 min	60 min

NOTA: D La aparición, durante cualquier momento del procedimiento de prueba, de una grieta, separación u otra abertura que en cualquier punto tenga más de 6 mm de profundidad, en el sellador o entre el sellador y el bloque de concreto, constituye una falla de la muestra de prueba. La profundidad de la grieta, separación u otra abertura debe ser medida perpendicularmente al lado del sellador que muestre el defecto.

Fuente: Norma ASTM D 6690

Figura 28. Penetración a la probeta de caucho vulcanizado

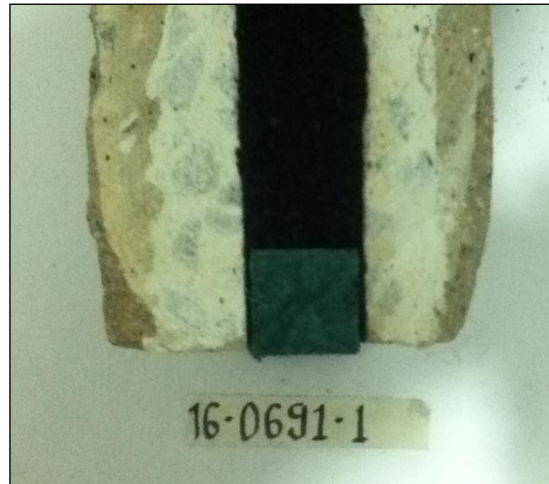


Fuente: Propia

- La adherencia o ligazón sin inmersión no presento grietas, separación o apertura entre el sellador y el concreto. De acuerdo a la norma D-5329 se

debe verificar que no haya tenido contracciones o manifestación de algún otro defecto, obteniendo una extensión del 50%.

Figura 29. Adherencia o ligazón sin inmersión a la probeta de caucho vulcanizado



Fuente: Propia

- La adherencia o ligazón con inmersión no presento grietas, separación o apertura entre el sellador y el concreto, De acuerdo a la norma D-5329 se debe verificar que no presente separaciones dentro de la probeta de ensayo.
- La resiliencia se evidencio un 94%, de acuerdo a este resultado y a la norma ASTM D 5329 el material cumple, siendo el mínimo porcentaje de 75% para ser utilizado como material sellante.

## 6 CONCLUSIONES

El caucho vulcanizado presentó una respuesta óptima como material de sello al cumplir con los parámetros que exige la norma ASTM-D6690 y al ser comparadas estas propiedades con la de otros materiales de sellos convencionales, se logra concluir que el caucho vulcanizado contiene un valor mayor a las presentadas en estos sellos convencionales, además se contribuye a darle un uso adecuado a los neumáticos fuera de uso (NFU), aportando al medio ambiente y a la utilización de un material en la ingeniería.

Se determinaron las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado a través de los ensayos de penetración, adherencia o ligazón sin inmersión, adherencia o ligazón con inmersión y Resiliencia, indicados en la norma ASTM D6690 y su método de ensayo ASTM D5329, encontrando en los resultados del caucho vulcanizado valores indicados en la norma, por lo tanto se determina que a través del ensayo de penetración el caucho vulcanizado posee la dureza o consistencia, solicitada para su desempeño como material sellante, el valor de penetración obtenido fue 6,5mm representando a través de este resultado la oposición a la penetración, demostrando su resistencia a esfuerzos y a fuerzas que generan cualquier tipo de deformación permanente y deterioro.

Teniendo en cuenta la dureza de uno de los materiales de sello como el del neopreno encontramos que el caucho vulcanizado cumple con esta propiedad. En las tablas se indica la dureza del neopreno y la dureza del caucho vulcanizado.

Tabla 15. Dureza del neopreno

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>				
D 2240	Dureza (Shore A Durometer)	50±5	60±5	70±5
D 412	Resistencia a la tracción, min (psi)	2250	2250	2250
	Elongación, min (%)	400	350	300

Fuente. Instituto Nacional de Vías. Artículo 642-07, pág.2.

Tabla 16. Resultado dureza de caucho vulcanizado

<b>Código Interno Muestra</b>	<b>Producto</b>	<b>Cone Penetration, Non - Immersed</b>
<b>16-0691-1</b>	Granulo de Caucho	Después del ensayo, la probeta evidencio una penetración de 65

Fuente. Laboratorio MYG. Muestra 16-00691, tabla 2. Documento anexo.

El caucho vulcanizado es un material con dureza, cumpliendo con la propiedad mecánica para ser utilizado como material de sello

Respecto al ensayo de adherencia con y sin inmersión el caucho vulcanizado cumple al no tener separación con los bloques que simularon la junta en el pavimento rígido.

Tabla 17. Resultado de ensayo de Resiliencia del caucho vulcanizado.

Código Interno Muestra	Producto	Bond, Water - Immersed Fuerza de Adherencia (No Inmerso)
16-0691-1	Granulo de Caucho	No se evidencian grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto
		<b>Fuerza de Adherencia (96 Horas Inmerso en Agua)</b>
		No se evidencian grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto
		<b>Observación</b>
		Se somete la probeta a un ensayo de adherencia sin evidenciar grietas, separación, apertura en el sellador ni entre el concreto y el sellador

Fuente. Laboratorio MYG. Muestra 16-00691, tabla 1. Documento anexo.

La Resiliencia obtenida fue del 94%, siendo un valor mayor requerido por la norma siendo el mínimo valor necesario de 60%, para su aprobación, esta propiedad cumple con el parámetro.

Tabla 18. Resultado de ensayo de Resiliencia del caucho vulcanizado.

Código Interno Muestra	Producto	Resilience
16-0691-1	Granulo de Caucho	La probeta evidencio una resiliencia del 94%

Fuente. Laboratorio MYG. Muestra 16-00691, tabla 3. Documento anexo

Se identificaron las propiedades mecánicas del material de sello convencional, por medio de las descripciones encontradas en las fichas técnicas de los materiales actualmente en el mercado, estas fichas fueron una guía para realizar la comparación con los resultados obtenidos de laboratorio del caucho vulcanizado.

A nivel general los sellos convencionales son de fácil aplicación, con duración, flexibles, impermeables, adherentes y resistentes. A continuación se presentan en la tabla .18, las propiedades de los sellos convencionales con los cuales se logró realizar la comparación con las propiedades del caucho vulcanizado.

Los sellos relacionados en la tabla son Vulkem 45, Polysello 3405 y Dynaflex son sellos utilizados en Colombia y que cumplen con los requerimientos de la norma ASTM D6690 y D5329 referente a los ensayos de penetración con valores entre 7.0 y 9.0, siendo el valor máximo de penetración 9.0 y resiliencia con un porcentaje de 60%, referente al ensayo de inmersión sumergida y no sumergida el

sello Vulkem 45 cumple con los requerimientos al no presentar grietas, ni separaciones entre el sello y la junta del pavimento, presentándose una desventaja con el Polysello y Dynaflex los cuales presentan una separación de 6,5mm.

Tabla 19. Propiedades de algunos sellos convencionales.

VARIABLES	VULKEM 45	POLYSELLO 3405	DYNAFLEX 88
<b>PENETRACIÓN mm</b>	7,0	9,0	9,0
<b>INMERSIÓN SUMERGIDO</b>	PASA	6,5 mm	6,5 mm
<b>RESILIENCIA</b>	60%	60%	60%

Fuente. Propia, datos tomados de fichas técnicas de los materiales de sello.

Se realiza la comparación entre las propiedades obtenidas de los ensayos de laboratorio del caucho vulcanizado con las propiedades del material de sello convencional, encontrando que el caucho vulcanizado contiene las propiedades para utilizarse como material de sello, siendo un material que tiene la dureza, la impermeabilidad, adhesión y el grado de elasticidad medido a través de la resiliencia.

Encontrando en cada uno de los resultados valores que cumplen con los indicados en la norma ASTM 6690, y con los ensayos de la norma ASTM 5329, se obtuvieron valores de penetración de 65, demostrando su resistencia, oposición a las deformaciones y deterioro, al compararlo con sellos convencionales es un valor menor pero que se encuentra dentro del parámetro indicado por la norma, el cual debe ser de 90, ver tabla 20 la cual indica el valor máximo de penetración.

Tabla 20. Comparación de las variables de caucho como material de sello frente a los convencionales

VARIABLES	CAUCHO DESVULCANIZADO	VULKEM 45	POLYSELLO 3405	DYNAFLEX 88
<b>Penetración mm</b>	65	70	90	90
<b>Inmersión sumergido</b>	No presenta grietas, separación o apertura del sellador, ni separación o apertura entre el sellador y el concreto	Pasa	6,5 mm	6,5 mm
<b>Resiliencia</b>	94%	60%	60%	60%

Fuente. Propia, datos tomados de fichas técnicas de los materiales de sello

Tabla 21. Tabla de normatividad material de sello para juntas.

ENSAYOS	8.701.1 (LNV 51)	8.702.2 (LNV 53)	8.702.3 (LNV 55)	8.702.4 (LNV 57)
<b>Tipo de Producto</b>	-	<b>Elástico</b>	<b>Elastomérico</b>	-
<b>Tipo de Aplicación</b>	<b>En frío</b>	<b>En caliente</b>	<b>En caliente</b>	<b>En caliente</b>
<b>Usos</b>	Hormigón, puentes y otras estructuras	Hormigón, puentes y otras estructuras	Hormigón de carreteras y aeropuertos	Pavimentos de hormigón y asfalto
<b>Ensayos</b>	<b>REQUISITOS</b>			
<b>Penetración cono a 25°C</b>	Máx. 235	Máx. 90	Máx. 130	Máx. 90
<b>Flujo a 60°C</b>	Máx. 5	Máx. 5		Máx. 5
<b>Flujo a 70°C</b>			No debe fluir	
<b>Ligazón a 5°C, 5 ciclos</b>	Si se presenta alguna grieta o abertura en el sellante o entre el sellante y el mortero por 6,5mm, constituirá una falla del material. La falla de dos probetas de un grupo de tres constituye la falla del material	No debe existir grieta o abertura en el sellante o entre el sellante y el mortero por 6,5mm medidos perpendicularmente. Al menos dos probetas ensayadas de un grupo de tres que representa una muestra dada, satisfacen los requisitos de ligazón		
<b>Ligazón a 5°C, 3 ciclos</b>			No debe existir grieta o abertura en el sellante o entre el sellante y el mortero por 6,5mm medidos perpendicularmente. El total de las probetas ensayadas deben satisfacer los requerimientos de ligazón	No debe existir grieta o abertura en el sellante o entre el sellante y el mortero por 6,5mm medidos perpendicularmente. El total de las probetas ensayadas deben satisfacer los requerimientos de ligazón
<b>Resiliencia a 25°C</b>			Mín. 60	Mín. 60

Fuente. Sellos de Juntas, Jorge silva f. / ingeniero investigación y desarrollo química

El caucho vulcanizado al ser aplicado como material de sello no presenta separación con las paredes del concreto ni evidencias de grietas, prueba que se realizó en el laboratorio M&G, obteniendo una apreciación para su utilización, tiene una ventaja frente a dos de los materiales de sello convencionales, que sí presentan un separación de 6,5mm. Como se puede evidenciar en la tabla 19, que nos indica la comparación realizada.

Se analizan las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado como material de sello frente a los materiales de sello convencionales utilizados en las juntas de pavimento rígido y se logra concluir que el material de sello cumple con las especificaciones de la norma ASTM D6690 y de laboratorio ASTM D5329, y con

las propiedades que tienen los sellos utilizados en el mercado, siendo el caucho vulcanizado apto para su uso y aplicación en las juntas de pavimento rígido, es un material que se caracteriza por su dureza, adhesión y elasticidad.

## 7 RECOMENDACIONES

Para garantizar la desvulcanización del material es importante proponer otros métodos donde se pueda obtener la fluidez del material y en donde se puedan mejorar las propiedades iniciales, utilizando los siguientes procedimientos que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 22 Tipos de desvulcanización

METODO	PROCESO
Desvulcanización química.	Con agentes químicos se rompe enlaces para eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. Se emplea CO <sub>2</sub> supercrítico con un reactivo de disulfuro de difenilo. En el campo microbiana utilizan el hongo “Resinicium bicolor”.
Desvulcanización térmica.	Empleado para caucho natural, se calienta el polvo del caucho a una elevada temperatura sin agentes químicos. O desvulcanización por microondas provoca rotura del enlace químico entrecruzado, un ajuste fino puede conseguir romper enlaces S-S y C-S pero no C-C.
Desvulcanización mecánica.	Un proceso patentado es emplear aleaciones Fe-Co para reducir mediante catálisis la densidad de entrecruzamiento de cloropreno y EPDM con un porcentaje de desvulcanización de 43%. Obteniendo malas propiedades

Fuente: Tomada de la tesis de CRIOLLO SALAMEA, Andrés Xavier. Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima. P, 16.

Se recomienda para un análisis más detallado de las propiedades físicas y mecánicas del material de caucho vulcanizado, evaluar diferentes porcentajes de azufre para poder analizar el comportamiento y cambios que se den en el material.

Para temas investigativos se podría realizar los ensayos de la norma ASTM D5329 entre los cuales están: ligazón no sumergida, fluidez, flexibilidad, resistencia y envejecimiento al horno, de acuerdo con la probetas que se obtengan con los diferentes porcentajes de azufre, para poder determinar qué otro valor en porcentaje de azufre se podría ajustar a las especificaciones de los sellantes en caliente.

Para procesos de desvulcanización del material es importante seguir con los procedimientos establecidos en la norma ASTM D5329 y contar con laboratorios que cuenten con un sistema de ventilación, implementos y equipos necesarios, debido a que este proceso de desvulcanización es tóxico y se debe manejar de una forma adecuada.

## 8 BIBLIOGRAFIA

SECRETARIA GENERAL DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Proyecto de Acuerdo 244 de 2014. Bogotá D C: Concejo de Bogotá., 2014.

REYES LIZCANO, Fredy Alberto. Uso de desechos plásticos en mezclas asfálticas. Trabajo de grado Editorial, Pontificia universidad Javeriana. Bogotá D.C Agosto de 2008.

TORRES OSPINA, Hermes Andrés. Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto adicionado con residuos de llantas de caucho. Tesis para obtener la Maestría de ingeniería Civil. Bogotá D.C Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014. 238 p.

LÓPEZ GUTIÉRREZ, John Freddy, ESPITIA JIMÉNEZ, Javier Andrés y GUTIÉRREZ RINCÓN, Marly Johana. Comparación de una mezcla MDC-2 convencional y una modificada con poliestireno expandido y polvo de llanta compactada estáticamente. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Civil. Bogotá D.C. Universidad de la Salle, 2009. 191 p.

CARDONA GÓMEZ, Laura, SÁNCHEZ MONTOYA Luz María. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. Especialista en PML. Medellín: Medellín. Universidad de Medellín, 2011. 79 p.

CRIOLLO SALAMEA, Andrés Xavier. Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial y aplicación como materia prima. Tesis previa a la obtención de título como ingeniero mecánico. Cuenca. (Quito, Guayaquil). Universidad politécnica salesiana, 2014. 126 p.

ARROYO HILTON, Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos. México (ciudad México). Universidad Nacional Autónoma De México.2012, Pág.23

EPSA LABCO, Ingenieros Consultores S.A, Guía de pavimentos rígidos para carreteras de alto volumen.Pág.19

LONDOÑO NARANJO, Cipriano. Manual de Diseño de Concreto. pág., 100.

CAVIA, Soraya Diego. Estudio de viabilidad de reutilización de poliamida reforzada con fibra de vidrio cortar para inyectar placas de sujeción de via ferrocarril para alta velocidad española (AVE): Universidad de Cantabria. Santander. Diciembre 2014, p., 12.

LOAIZA SEGURA, Luis Héctor. Las basuras y el reciclaje, revista institucional de la contraloría de Cundinamarca. Bogotá 2006.

OSORIO PONCE, Paula. Sellos de juntas y ensayos especiales, Laboratorio Nacional de Vialidad Agosto 2014

ASOCRETO. Construcción de Pavimentos, 2001.

OPINO. Una nueva vida para los neumáticos usados. 20 de Abril de 2010.

J. BELTRAND. A. Estudio químico de los polímeros.

ASTM C679: Método de ensayo estándar para la determinación del tiempo de secado al tacto de los selladores elastoméricos.

ASTM C719: Método de ensayo estándar para la determinación de la adherencia y la cohesión de selladores elastoméricos de juntas bajo movimiento cíclico (Ciclo Hockman).

ASTM D412: Método de ensayo estándar para evaluar la resistencia a la tracción de cauchos vulcanizados y elastómeros termoplásticos.

ASTMD-6690-01: Especificaciones Estándar para Selladores de Juntas y Grietas, Aplicación en Caliente, para Pavimentos de Concreto y Asfalto.

Pavimento en Concreto Rígido [en línea]. <<http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2012/06/pav1>> [citado en 24 de febrero de 2016].

Material de Sello. [en línea]. <<http://www.elconstructorcivil.com/2011/04/deposito-para-el-sello-de-la-junta.html>> [citado en 24 de febrero de 2016]

Sellante Líquido. [En línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=UJ8AKKkIJP8>> [Citado en 24 de febrero de 2016]

Tipos de caucho vulcanizado [En línea] <<https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/09/28/mas-hormigon-sostenible-hormigon-reforzado-con-fibras-metalicas-de-neumaticos-usados/>> [Citado en 15 de Marzo de 2016]