

**ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO
“CGR”.**

**YUDY BIBIANA LADINO OYOLA
ÁNGELA MARCELA RUBIANO QUIROGA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA
TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS
BOGOTÁ,
2017**

Adoquines en Asfalto Reciclado y Grano de Caucho Reciclado “CGR”.

**Yudy Bibiana Ladino Oyola
Ángela Marcela Rubiano Quiroga**

**Trabajo presentado para optar al título de: Tecnólogo en Construcciones
Arquitectónicas**

**Coordinador PTCA y Docente Proyecto de Grado
Arquitecto Nelson Ricardo Cifuentes Villalobos**

**Universidad La Gran Colombia
Facultad de Arquitectura
Tecnología en Construcciones Arquitectónicas
Bogotá
Diciembre de 2017**

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, diciembre de 2017

Agradecimientos

El desarrollo del presente proyecto se realizó gracias al apoyo y colaboración de varias personas que tuvieron diferentes intervenciones durante su proceso, pero que fue de vital importancia para los resultados obtenidos. Agradecemos en primera instancia a Dios, por permitirnos alcanzar con éxito todos los logros propuestos, brindándonos perseverancia y paciencia, en los momentos de mayores dificultades que se nos presentaron a lo largo de este proceso académico.

A la Universidad La Gran Colombia por brindarnos la oportunidad de ambientes de aprendizaje de calidad, acompañados de docentes, con alto profesionalismo en su desarrollo catedrático, que nos colaboraron en todo momento para que creyéramos, a nivel académico, pero también personal.

A nuestros familiares quienes compartieron, apoyaron y nos fortalecieron para seguir adelante en cada una de las etapas de este proceso.

Muchas gracias a cada uno.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Marcos de Referencia	17
Marco Teórico	17
¿Qué es un adoquín?.....	17
Consolidación del suelo.	28
<i>Explicación.....</i>	<i>28</i>
Preparación de la subrasante.....	28
<i>Sub-base.....</i>	<i>30</i>
<i>Base.....</i>	<i>31</i>
<i>Bordillo o cinta de confinamiento.</i>	<i>32</i>
<i>Capa de arena.....</i>	<i>34</i>
<i>Adoquines en asfalto reciclado.....</i>	<i>34</i>
<i>Fresado.</i>	<i>34</i>
<i>Elaboración de adoquines en asfalto reciclado.....</i>	<i>35</i>
<i>Adición de polímeros al asfalto reciclado.....</i>	<i>35</i>
Marco Referente	39
Estado del Arte.....	39
Mezclas asfálticas con desechos de llanta en la ciudad de Bogotá.....	39
<i>Características fisicoquímicas de las llantas.....</i>	<i>41</i>
<i>Las llantas desechadas.....</i>	<i>43</i>
<i>Aplicación del caucho en los pavimentos.....</i>	<i>45</i>
<i>Caucho molido utilizado.</i>	<i>47</i>
<i>Procesos de obtención del asfalto- por vía seca.</i>	<i>48</i>
<i>Mezclas asfálticas en caliente.</i>	<i>49</i>
<i>Proceso de obtención por vía húmeda.....</i>	<i>50</i>
<i>Perspectivas o enfoques.</i>	<i>55</i>
Marco conceptual	57

Andenes.....	57
Contenido de la guía de la movilidad.....	57
El peatón.....	58
Accesibilidad peatonal.....	59
Requerimientos de espacio para el peatón.....	60
Elementos de infraestructura peatonal.....	61
<i>Aceras.....</i>	<i>61</i>
<i>Vados.....</i>	<i>63</i>
<i>Rampas.....</i>	<i>64</i>
Maquinaria y equipo.....	65
Tipos de agregados.....	66
<i>Agregado fino.....</i>	<i>66</i>
<i>Agregado grueso.....</i>	<i>66</i>
<i>Método Marshall.....</i>	<i>66</i>
Equipos.....	67
<i>Dispositivo para moldear probetas.....</i>	<i>67</i>
<i>Extractor de probetas.....</i>	<i>67</i>
<i>Martillos de compactación.....</i>	<i>67</i>
<i>Pedestal de compactación.....</i>	<i>68</i>
<i>Sujetador para el molde.....</i>	<i>69</i>
<i>Mordazas.....</i>	<i>69</i>
Marco Normativo.....	71
Asfalto Reciclado.....	71
Grano de Caucho Reciclado.....	71
Metodología.....	72
Diseño Adoquín.....	72
Ensayos Preliminares.....	73
Elaboración de probetas en frío.....	73
Dosificación de la Mezcla.....	74
Equipos y Herramientas.....	75

Ejecución de los Ensayos.....	75
Instalaciones.	75
Materiales.	75
Procedimiento.....	75
<i>Granulometría de los agregados.....</i>	<i>76</i>
Concentración de asfalto en fresado.	76
Análisis y Resultados	78
Resultados de granulometrías.....	78
Elaboración briquetas.	83
Costos Directos.....	86
A.P.U producción de A.A.R.	86
Precio de adoquines.	87
Discusión.....	89
Bibliografía.....	90

Tabla de Imágenes

Imagen 1. Explanación	28
Imagen 2. Configuración subrasante.	29
Imagen 3. Sub-base	30
Imagen 4. Base	31
Imagen 5. Bordillo en concreto prefabricado	32
Imagen 6. Bordillo	33
Imagen 7. Fresado asfáltico.....	34
Imagen 8. Calle sexta - octubre 20 de 2014	43
Imagen 9. Definiciones clave.	57
Imagen 10. Tipos de peatones	58
Imagen 11. Accesibilidad en la movilidad peatonal.....	59
Imagen 12. Capacidad red peatonal.....	60
Imagen 13. Red peatonal.	61
Imagen 14. Clasificación de andenes.	62
Imagen 15. Características constructivas.....	63
Imagen 16. Clasificación según escala urbana.	63
Imagen 17. Requerimientos técnicos de los vados.	64
Imagen 18. Descripción de las rampas.	65
Imagen 19. Molde para probetas Marshall.	67
Imagen 20. Martillo de compactación de manejo manual.....	68
Imagen 21. Martillo mecánico de compactación Marshall.....	69
Imagen 22. Mordazas.	70
Imagen 23. Tipos de adoquines AAR.....	72
Imagen 24. Mezcla de insumos y elaboración de probetas en frío.....	73
Imagen 25. Llenado de formaleta.	74
Imagen 26. Proceso de tamizaje.	76
Imagen 27. Centrifugado de asfalto.....	77
Imagen 28. Porcentaje de asfalto.....	78

Imagen 29. Proceso de elaboración de briquetas.....	83
Imagen 30. Prueba de estabilidad y flujo.	84
Imagen 31. Adoquín de caucho.	86

Listado de Tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo de adoquines	19
Tabla 2. Preparación del subrasante.	29
Tabla 3. Terminología asociada con el uso del caucho en mezclas asfálticas.....	45
Tabla 4. Pruebas asfalto.....	53
Tabla 5. Características físicas de los asfaltos.....	53
Tabla 6. Clasificación andenes según escala urbana.	62
Tabla 7. Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente.	71
Tabla 8. Distribución de tamaños del grano de caucho reciclado	71
Tabla 9. Granulometría grano caucho reciclado.....	79
Tabla 10. Granulometría asfalto reciclado.	79
Tabla 11. Cálculos de ajuste de mezcla no. 1.....	80
Tabla 12. Tabla de cálculos de ajuste de mezcla no. 1.....	80
Tabla 13. Cálculos de ajuste de mezcla no. 2.....	81
Tabla 14. Cálculos de ajuste de mezcla no. 3.....	81
Tabla 15. Cálculos de ajuste de mezcla no. 4.....	82
Tabla 16. Resultados de briquetas	84
Tabla 17. Peso por tipo de adoquín	85
Tabla 18. Costos de materiales requeridos en el proceso de fabricación.	86
Tabla 19. Costos de materiales para el proceso de adoquín no. 1.....	87
Tabla 20. Costos de materiales para el proceso de adoquín no. 2.....	87
Tabla 21. Costos de materiales para el proceso de adoquín no. 3.....	88
Tabla 22. Precio de instalación de AAR, de acuerdo a especificaciones técnicas.	88

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Condiciones asfalto.....	37
Gráfica 2. Deformación asfalto	38
Gráfica 3. Usos llantas.....	44
Gráfica 4. Ajuste de mezcla no. 1.....	80
Gráfica 5. Ajuste de mezcla no. 2.....	81
Gráfica 6. Ajuste de mezcla no. 3.....	82
Gráfica 7. Ajuste de mezcla no. 4.....	82

Resumen

Los andenes, de acuerdo con su definición según la Guía Práctica de Movilidad, es el área lateral de una vía, destinada a la permanencia y al tránsito exclusivo de peatones; es de vital importancia dentro de los espacios urbanísticos de los proyectos, ya sean de vivienda, institucionales o viales, entre otros. Siendo el factor primordial la seguridad y equidad en su uso por parte de los peatones, permitiendo espacios de libre circulación aptos para diferentes fines.

La obstrucción del uso de los senderos peatonales por levantamientos y asentamientos puntuales limita su accesibilidad, impide su uso equitativo y se vuelve en un precursor de accidentes. Por esta razón el uso de elementos constructivos con mejor desempeño que los presentes en el mercado, de arcilla y concreto, se vuelve una alternativa funcional. El objetivo principal de este proyecto es producir adoquines en asfalto reciclado y grano de caucho reciclado “GCR” con forma de paralelepípedo oblicuo para senderos peatonales de proyectos residenciales privados de la ciudad de Bogotá D. C; de forma que mitigue las problemáticas actuales de los andenes, a su vez genere el desarrollo de un producto con menor impacto ambiental, al ser realizado con materiales reciclados y que sea competitivo comercialmente.

Palabras claves: Anden, adoquín, asfalto reciclado, grano de caucho reciclado.

Abstract

The platforms, according to its definition as the Practical Guide to Mobility, is the lateral area of a road, for the permanence and the exclusive pedestrian traffic; it is vital in the urban areas of the projects, whether for housing, institutional or vials, among others. The primary factor being security and fairness in its use by pedestrians, allowing free circulation spaces suitable for different purposes.

Obstructing the use of footpaths by uprisings and timely settlements, limiting its accessibility, prevents fair use and becomes a precursor of accidents. For this reason, the use of constructive elements with better performance than on the market, clay and concrete, it becomes a functional alternative. The main objective of this project is to produce recycled asphalt pavers in grain and recycled rubber "" oblique parallelepiped shaped footpaths for private residential projects Bogotá D. C; to mitigate the current problems of the platforms, turn generated the development of a product with less environmental impact, to be made from recycled materials and is commercially competitive.

Keywords: Platform, cobble, recycled asphalt, grain recycled rubber.

Introducción

Los andenes al ser espacios peatonales destinados a la libre movilización de las personas, en su diseño deben ser continuos y a nivel, sin generar obstáculos, cumpliendo con los principios básicos de accesibilidad, como: el uso equitativo, su flexibilidad en el uso, el esfuerzo físico reducido y el tamaño y espacio para acercarse y usar. La accesibilidad del peatón a los andenes dentro de las zonas comunes de cada proyecto residencial se ve limitado por el levantamiento puntual de adoquines y por asentamientos diferenciales de los mismos en los senderos peatonales, problemáticas comunes y de alta ocurrencia, acompañadas de volcamiento, fractura de piezas, hundimientos y aposamiento de aguas lluvias; limitando su capacidad de uso por parte de las personas de edades avanzadas, niños, y con diferentes capacidades motrices.

Estas problemáticas se deben en primera instancia a la rigidez de los elementos en los que están contruidos los adoquines, elementos prefabricados, en ladrillo o en concreto, que hacen parte de los pavimentos flexibles, estos son demasiado rígidos al ser contruidos por materiales duros, debido a que los senderos peatonales trabajan básicamente a compresión, si se añade el empleo de mortero de pega los hace aún más inflexibles, por tal razón en el momento de resistir un esfuerzo su comportamiento se restringe a los elementos individuales y su resistencia se ve afectada, evidenciando fracturas o desportillamiento con facilidad.

Los asentamientos diferenciales en los andenes, en su mayoría, se deben a su limitada interacción de los adoquines, como elemento constitutivo con la consolidación del suelo, esto debido a que su recubrimiento por área es reducido a las dimensiones del elemento, ocasionando desniveles puntuales por secciones de anden, que en un principio se evidencian con hundimientos y aposamiento de aguas lluvias, que son los precursores de accidentes y limitación del uso peatonal.

Por otra parte, se estima que en Bogotá D. C. el sector de transporte arroja al año más de 2,5 millones de llantas en desuso que terminan en las calles y humedales de la ciudad,

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

generando gran contaminación por su acumulación. De igual manera, el sector de la construcción rehabilita en promedio 45 km de vías en asfalto por trimestre, acopiando el fresado asfáltico en lugares no aptos. Incrementando sus respectivos porcentajes de impacto ambiental, de manera que los ciclos de energía se mantengan en forma lineal (Abiertos).

El asfalto reciclado y el grano de caucho reciclado, son materiales duraderos, capaces de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes, actualmente el Instituto de Desarrollo Urbano-IDU, normalizó en las especificaciones generales de construcción de carreteras 2013, la reutilización de dichos materiales para el desarrollo de vías secundarias, convirtiéndose en un material con alto índice de elasticidad que al configurar un adoquín, le permitirá mitigar la rigidez a la que se ven sometidos los materiales tradicionales (concreto y arcilla), contrarrestando la problemática anteriormente planteada.

Por ello y en pro de buscar un material con propiedades físicas más plásticas y que de un mayor margen de flexibilidad que el brindado por los tradicionales adoquines, el asfalto reciclado y, son materiales de gran potencial, que a su vez se respalda de forma sostenible al ser producto de la reutilización del conglomerado asfáltico y las llantas en desuso, disminuyendo el impacto ambiental del material constitutivo de los adoquines. A su vez su dimensionamiento de 240mm x 160mm x 60mm y su junta oblicua, lo hace una pieza mano portante en su proceso constructivo igual que el tradicional, pero con mayor superficie de recubrimiento y menor peso por área, esto mitigaría la incidencia de asentamiento diferencial puntual en los senderos peatonales, a la vez que se reforzará por su tipo de ensamble lo que permitirá mayor estabilidad y acondicionamiento con el suelo.

Generando la pregunta problema para el proyecto de investigación, ¿La combinación de asfalto reciclado y grano de caucho reciclado como materiales constitutivos de un adoquín, aumentaría la elasticidad del elemento, disminuiría su rigidez y mitigaría su fragilidad a fractura y presencia de fisuras, evitando el levantamiento puntual de adoquines en senderos peatonales?

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

De esta manera el proyecto busca verificar la siguiente hipótesis, los adoquines en asfalto reciclado y, se comportarán mejor de acuerdo a sus dimensiones, forma, materiales y características técnicas que los adoquines presentes en el mercado (arcilla y concreto), probando su funcionalidad en la movilidad peatonal urbana, acorde con la normativa vigente y en especial con la (Secretaría Distrital de Planeación, 2015).

Así pues, surge la necesidad de producir adoquines en asfalto reciclado y grano de caucho reciclado con forma de paralelepípedo oblicuo para senderos peatonales de proyectos residenciales privados de la ciudad de Bogotá D. C;

A partir de este objetivo se desprenden los siguientes objetivos específicos, el primero se concentra en producir un prototipo de adoquín en asfalto reciclado, acorde a la mejor proporción de materiales, forma y dimensiones propuestas en el proyecto. El segundo en identificar las características técnicas de los adoquines en asfalto reciclado, comparando su desempeño con adoquines en arcilla y concreto, con forme a las especificaciones de la normativa en movilidad peatonal urbana vigente. El último de los objetivos consiste en analizar la relación costo / beneficio de la producción de adoquines en asfalto reciclado y con los presentes en el mercado.

El tipo de investigación empleado en el proyecto es aplicado de manera que se propone transformar el conocimiento puro en conocimiento útil. Esta mezcla el componente teórico y experimental, generando un producto que puede ser un prototipo, el cual se puede comparar con productos existentes en el mercado o de carácter novedoso, a partir de los análisis de laboratorio, basados en la recolección de datos de carácter medible (Cuantitativos).

Marcos de Referencia

Marco Teórico

En el mercado actual además del adoquín tradicional de cerámica y concreto se encuentran gran variedad de adoquines con diferentes materiales reutilizables, con distinta forma, diseño, color, calidad y precio. Por ello se debe conocer la oferta de productos actual con miras a buscar que los AAR, cuenten con aspectos diferenciales que permitan ser elegidos en el momento de la compra además de ser parte de la mitigación del problema técnico que presentan los senderos peatonales. La siguiente investigación de mercados enfatiza los adoquines nacionales, sin embargo, también se consultó lo que a nivel global se está utilizando en el tema.

¿Qué es un adoquín?

Son unidades de piedras o bloques labrados de diferentes formas y materiales, que son premezclados y vibro comprimidos de forma prismática. Tienen la particularidad que su forma permite la colocación de las piezas de forma continua y simétrica. Se utilizan para hacer pavimentos vehiculares o peatonales.

Se encuentran diferentes tipos de adoquín (EcuRed, s.f.) entre ellos:

Adoquinados modernos: se les añaden colorantes buscando un mejor resultado estético.

Adoquín corbatín: Posibilita diferentes formas de colocación para tráfico vehicular pesado en muelles estacionamiento, vías internas y externas.

Adoquín antideslizante: Para recuperación de centros históricos. Colocado en forma de "espina de pescado" se consiguen pavimentos omnidireccionales.

Adoquín rectangular: Ideal para caminos, plazoletas y vías en donde la forma rectangular admite su mejor uso. Su sencillez en el diseño permite economías en la mano de obra, para su colocación y a la vez flexibilidad.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Adoquín guitarra: Original por ser la más novedosa forma de adoquín en el mundo. Rompe con la monotonía de los pavimentos porque combina 2 figuras, el cuadrado y el octágono dando lugar a un pavimento con varias formas.

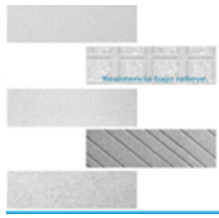

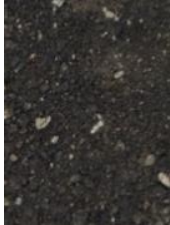

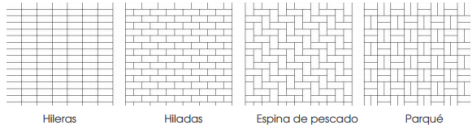
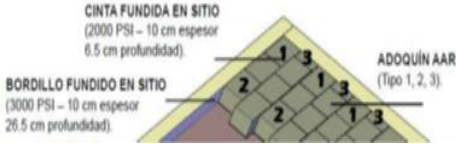
Adoquín ecológico gramoquín: Pavimento ideal para estacionamientos vehiculares donde se necesite tener verde y mantener el entorno. Sirve para estabilización de taludes y revestimiento de canales (párr. 7).

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Tabla 1. Cuadro comparativo de adoquines

Características generales																																
Indicador	Adoquín en concreto	Adoquín en arcilla	Adoquín en asfalto caucho reciclado –AAR-																													
Colores	<p>Tonalidades varían según lote</p>		<p>Negro y variación en la tonalidad de gris oscuro, debido a la inclusión de asfalto en el elemento.</p>																													
Tipo según tránsito	<p>Tabla 2.3 Selección del adoquín con base en el tipo de tránsito</p>	<p>3. TIPOS DE ADOQUÍN DE ARCILLA</p> <table border="1"> <tr> <td>* COLONIAL</td> <td>Colonial Terracota Colonial Claro</td> <td>ADOQUIN CUARTO 26</td> <td>ADOQUIN COLONIAL</td> <td>ADOQUIN ESPAÑOL</td> </tr> <tr> <td>* ROYAL</td> <td>También conocido como corbalón. Color Terracota Entero con Bisel Accesorios Royal: Remate lateral Remate de punta o medio</td> <td>ADOQUIN ROYAL</td> <td>ADOQUIN ROYAL ACCESORIO</td> <td>ADOQUIN ROYAL MEDIO</td> <td>ADOQUIN ROYALITO</td> </tr> <tr> <td>* ROYALITO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>* ESPAÑOL</td> <td>Español Terracota Español Claro</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>* CUARTO 26</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	* COLONIAL	Colonial Terracota Colonial Claro	ADOQUIN CUARTO 26	ADOQUIN COLONIAL	ADOQUIN ESPAÑOL	* ROYAL	También conocido como corbalón. Color Terracota Entero con Bisel Accesorios Royal: Remate lateral Remate de punta o medio	ADOQUIN ROYAL	ADOQUIN ROYAL ACCESORIO	ADOQUIN ROYAL MEDIO	ADOQUIN ROYALITO	* ROYALITO						* ESPAÑOL	Español Terracota Español Claro					* CUARTO 26						<p>TIPO 1</p> <p>TIPO 2</p> <p>TIPO 3</p>
* COLONIAL	Colonial Terracota Colonial Claro	ADOQUIN CUARTO 26	ADOQUIN COLONIAL	ADOQUIN ESPAÑOL																												
* ROYAL	También conocido como corbalón. Color Terracota Entero con Bisel Accesorios Royal: Remate lateral Remate de punta o medio	ADOQUIN ROYAL	ADOQUIN ROYAL ACCESORIO	ADOQUIN ROYAL MEDIO	ADOQUIN ROYALITO																											
* ROYALITO																																
* ESPAÑOL	Español Terracota Español Claro																															
* CUARTO 26																																
Formas geométricas	<p>adoquín ecológico y gramoquín</p>	<ol style="list-style-type: none"> Adoquín corbalón 20x10x6 Adoquín escuadrado 20x10x6 Adoquín Res. Shalala resaca 10x20x6 Adoquín rectangular 20x10x6 Adoquín rectangular cancha 20x10x6 Adoquín rectangular recuro 20x10x6 Adoquín resaca rectangular 10x20x6 Corralón macizo 20x10x6 	<p>Paralelepípedo oblicuo</p>																													

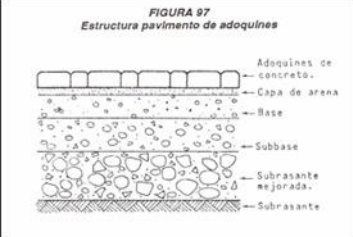
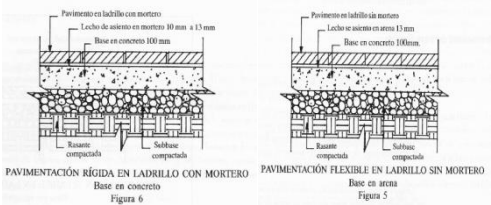
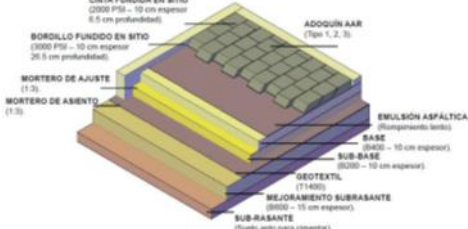
ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

<p>Textura</p>	 <p>Lisa, panot, labrada Rayada, Erosionada.</p>	 <p>Rústica</p>	<p>Por el que se utiliza para la fabricación de los AAR, presentan una superficie de textura rugosa, que contribuye a minimizar la resistencia al deslizamiento.</p> 
<p>Patrón de colocación</p>	<p><i>Patrones de colocación losetas y tabletas en concreto.</i></p> 	<p>700.4.5.1.1 Patrones de colocación para superficies de tránsito peatonal</p> <p>Existe una gran cantidad de formas de adoquines, algunos de ellos, como los rectangulares, se pueden colocar en una gran variedad de patrones de colocación. Ver Figura 700.1.</p>  <p>Figura 700.1 Patrones de Colocación – Superficies de Tránsito Peatonal</p>	<p>Los adoquines se deben colocar en dirección de la transitabilidad para efectos de minimizar la resistencia al desplazamiento</p> 
<p>Características técnicas</p>			
<p>Indicador</p>	<p>Adoquín en concreto</p>	<p>Adoquín en arcilla</p>	<p>Adoquín en asfalto caudo reciclado –AAR-</p>
<p>Usos</p>	<p>Pisos, andenes, plazas, plazoletas, patios, caminos interiores en casas., tráfico vehicular en general</p>	<p>Andenes peatonales, ciclo rutas, plazoletas, parques, circuitos atléticos, estaciones de ejercicios, separadores de vías y vías de tráfico vehicular.</p>	<p>Senderos peatonales residenciales. Clasificados según la escala urbana en andenes locales (entre 2 y 1-50 mts)</p>
<p>Materiales Fabricación</p>	<p>Agregados, cementos, pigmentos, agua</p>	<p>Arcilla, esquisto (roca de textura pizarrosa) o sustancias terrosas naturales o similares, pigmentos, agua</p>	<p>Fresado de asfalto reciclado; grano de caucho reciclado, ligante y agua</p>
<p>Proceso fabricación</p>	<p>Fundición de elementos, proceso de curado. Producción artesanal e industrializada</p>	<p>Tratamiento térmico a temperaturas elevadas por encima de 1100 °c</p>	<p>Calentamiento de materiales, mezcla a 130°C, inclusión de asfalto</p>

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

		(cocción), producción artesanal e industrializada	para ligante de elementos, prensado en formaleta.
Dimensión rectangular	1. 200 mm x 100 mm 2. 100mm x 100m 3. 100mm x 200mm	1. 100mm x 100mm 2. 200mm x 100mm 3. 120mm x 240mm 4. 250mm x 60mm	240mm x 160mm x 60 mm
Espesor	40mm - 60mm y 800mm	300 mm - 5mm - 600mm – 8mm	60mm
Módulo de ruptura	4.2 mpa	4.2 mpa	6.96 mpa
Tolerancia dimensional	+/- 2mm	+/- 2mm	+/- 5 mm
Absorción promedio agua	9%	6%	3%
Resistencia a la compresión	509.8 kgf/cm ³	622.02 kgf/cm ³	709.82 kgf/cm ³
Peso en seco	2,4 – 3,5 kg	1,4 – 2,6 kg	3.6 kg (tipo 2 – mayor sección)
Rendimiento por m²	1. 50 unid. X m ² 2. 100 unid x m ² 3. 50 unid. X m ²	1. 30 unid x m ² 2. 50 unid x m ² 3. 40 unid x m ² 4. 4. 65 unid x m ²	24 unid x m ²
Normativa			

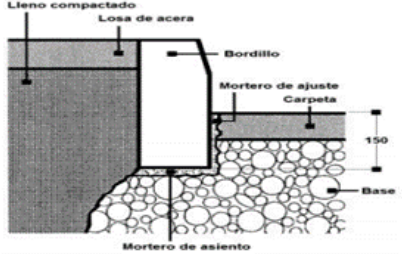



ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Normativa aplicada	Ntc 2017 - astm c 936	NTC 3829/96 (Instituto colombiano de normas técnicas, ICONTEC, 2004) e internacionales de la <i>american society for testing and materials astm</i> -, en la producción y fabricación de adoquines de arcilla	Mezclas asfálticas en caliente con asfaltos modificados con caucho IDU 560-11 (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, s.f.)
Proceso constructivo			
Indicador	Adoquín en concreto	Adoquín en arcilla	Adoquín en asfalto caucho reciclado –aar-
Proceso constructivo	 <p>FIGURA 97 Estructura pavimento de adoquines</p>	 <p>PAVIMENTACIÓN RÍGIDA EN LADRILLO CON MORTERO Base en concreto Figura 6</p> <p>PAVIMENTACIÓN FLEXIBLE EN LADRILLO SIN MORTERO Base en arena Figura 5</p>	
Subrasante	Se realiza el descapote y la excavación del terreno a la profundidad que indique el estudio de suelos. Sobre esta se debe colocar un geotextil tejido de separación t1400, que evita contaminación del material granular de la subbase. Es igual para cualquier clase de adoquín		
Base	Material granular de 100 mm de espesor según especificación técnica IDU 400-11. Tabla 400.2 (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, s.f.)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es de material compactado de tipo B600, de acuerdo con las especificaciones de estructura, generalmente con un espesor de 20 cm. 2. Base en concreto espesor 10 cm. 3. base de mortero de pega 1:3 espesor 2,5 cm 4. base de placa de concreto reforzada 	Material granulado B200 compactado, de 10 cm de espesor



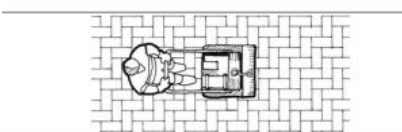
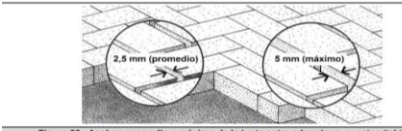
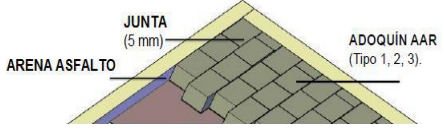
ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

<p>Subbase</p>	<p>Las características de los agregados pétreos que se empleen en la construcción de la subbase granular, en acuerdo con la presente sección, deberán llenar los requisitos que se indican en la tabla 400.3 especificación técnica IDU 400-11 (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, s.f.).</p>		<p>Material granulado b-400 compactado, de 10 cm de espesor</p>																																																																					
<p>Cama de asiento</p>	<table border="1" data-bbox="495 509 842 711"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMIZ</th> <th colspan="2">% QUE PASA EN PESO</th> </tr> <tr> <th>ICOMTEC</th> <th>Denominación Alterna</th> <th>Mínimo</th> <th>Máximo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.5 mm</td> <td>3/8"</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>4.75 mm</td> <td>No. 4</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3.36 mm</td> <td>No. 6</td> <td>75</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1.18 mm</td> <td>No. 16</td> <td>40</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>600 µm (0.600 mm)</td> <td>No. 30</td> <td>20</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>300 µm (0.300 mm)</td> <td>No. 50</td> <td>10</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>150 µm (0.150 mm)</td> <td>No. 100</td> <td>0</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>75 µm (0.075 mm)</td> <td>No. 200</td> <td>0</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="531 695 804 711">*Para el suelo de arena se le debe agregar entre el 12% y el 15% del peso total en seco a arilla no orgánica.</p> <p data-bbox="478 764 884 906">Cama de asiento con arena, puede contener algo de humedad para mejor compactación aproximado 4cm</p>	TAMIZ		% QUE PASA EN PESO		ICOMTEC	Denominación Alterna	Mínimo	Máximo	9.5 mm	3/8"	100	100	4.75 mm	No. 4	90	100	3.36 mm	No. 6	75	100	1.18 mm	No. 16	40	100	600 µm (0.600 mm)	No. 30	20	90	300 µm (0.300 mm)	No. 50	10	70	150 µm (0.150 mm)	No. 100	0	30	75 µm (0.075 mm)	No. 200	0	7	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cama de asiento con arena.: el espesor suelto a colocar deberá estar entre los 4 y 5 cm, de modo que luego de extendida y terminada la capa ésta tenga un espesor entre 3 y 4 cm. El espesor mínimo aceptado será de 3 cm y el máximo de 4 cm. <table border="1" data-bbox="961 699 1373 865"> <caption data-bbox="1010 699 1325 724">Tabla 700.1 Granulometría de la Arena capa de soporte</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamiz</th> <th rowspan="2">Porcentaje que pasa</th> </tr> <tr> <th>Normal</th> <th>Alterno</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.50 mm</td> <td>3/8"</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>4.75 mm</td> <td>No. 4</td> <td>90-100</td> </tr> <tr> <td>2.36 mm</td> <td>No. 8</td> <td>75-100</td> </tr> <tr> <td>1.18 mm</td> <td>No. 16</td> <td>50-95</td> </tr> <tr> <td>600 µm</td> <td>No. 30</td> <td>25-60</td> </tr> <tr> <td>300 µm</td> <td>No. 50</td> <td>10-30</td> </tr> <tr> <td>150 µm</td> <td>No. 100</td> <td>0-15</td> </tr> <tr> <td>75 µm</td> <td>No. 200</td> <td>0-5</td> </tr> </tbody> </table> <ol style="list-style-type: none"> 2. Cama de asiento con mortero. espesor entre 10 y 13 cm 3. Cama de asiento sobre placa de concreto 4. Cama de asiento relleno fluido 	Tamiz		Porcentaje que pasa	Normal	Alterno	9.50 mm	3/8"	100	4.75 mm	No. 4	90-100	2.36 mm	No. 8	75-100	1.18 mm	No. 16	50-95	600 µm	No. 30	25-60	300 µm	No. 50	10-30	150 µm	No. 100	0-15	75 µm	No. 200	0-5	<p>Arena fina de 3cm de espesor y con el tamizaje descrito y autorizado en la norma</p>
TAMIZ		% QUE PASA EN PESO																																																																						
ICOMTEC	Denominación Alterna	Mínimo	Máximo																																																																					
9.5 mm	3/8"	100	100																																																																					
4.75 mm	No. 4	90	100																																																																					
3.36 mm	No. 6	75	100																																																																					
1.18 mm	No. 16	40	100																																																																					
600 µm (0.600 mm)	No. 30	20	90																																																																					
300 µm (0.300 mm)	No. 50	10	70																																																																					
150 µm (0.150 mm)	No. 100	0	30																																																																					
75 µm (0.075 mm)	No. 200	0	7																																																																					
Tamiz		Porcentaje que pasa																																																																						
Normal	Alterno																																																																							
9.50 mm	3/8"	100																																																																						
4.75 mm	No. 4	90-100																																																																						
2.36 mm	No. 8	75-100																																																																						
1.18 mm	No. 16	50-95																																																																						
600 µm	No. 30	25-60																																																																						
300 µm	No. 50	10-30																																																																						
150 µm	No. 100	0-15																																																																						
75 µm	No. 200	0-5																																																																						

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

<p>Confinamiento externo</p>	<p>Bordillos prefabricados o fundidos en sitio, ancho de 15 cm y 45 cm de profundidad para tráfico peatonal</p> 	<p>Previamente a la colocación de estos elementos podrán ser prefabricados o construidos en sitio con una resistencia a compresión mínima de 3000 psi a los 28 días y cuyas especificaciones técnicas se han establecido en la NTC 4109 prefabricados de concreto. Bordillos, cunetas y tope llantas de concreto. Los elementos de confinamiento tendrán un ancho mínimo de 10 cm y deberán apoyarse como mínimo 15 cm por debajo del nivel inferior de los adoquines</p>	<p>Bordillo fundido en sitio con resistencia a la compresión de 3000 psi. De 10 cm de espesor y una profundidad de 40 cm. Fundido sobre mortero de asiento (1:3)</p> 
<p>Equipos</p>			
<p>Equipos y herramientas para instalación</p>	 <p>Herramienta de mano, carretilla, vibro compactador (canguro), cortadora de ladrillo.</p>	 <p>La misma herramienta que para los adoquines en arcilla</p>	<p>Igual a la de los demás adoquines</p>
<p>Proceso constructivo</p>			
<p>Indicador</p>	<p>Adoquín en concreto</p>	<p>Adoquín en arcilla</p>	<p>Adoquín en asfalto caucho reciclado –AAR-</p>

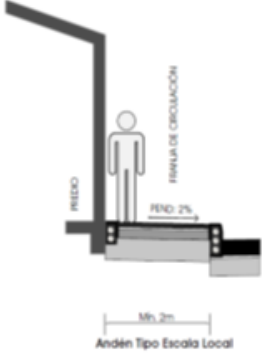
ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO "CGR"

<p>Drenaje</p>	 <p>Figura 13. Relación entre las pendientes del pavimento y la necesidad de cunetas.</p> <p>Pendiente longitudinal de la vía menor al 2%, su pendiente transversal debe ser de, mínimo 2%, no es necesario construir cunetas a los costados, de lo contrario sí.</p>	<p>La pendiente mínima para facilitar un adecuado drenaje será del 2%. Cuando se ubiquen los drenajes en las zonas adoquinadas, para las tapas de las cajas y sumideros, se recomienda que queden perpendiculares al sentido de la circulación y perfectamente niveladas con el piso de acabado. La pendiente transversal oscila entre el 2% y el 4%</p>	<p>se asumirán las mismas condiciones de pendiente mínima equivalente al 2%, exigidas en la norma</p> 
<p>Compactación final</p>	 <p>Figura 5. Placa vibrcompactadora para la rodadura de adoquines de concreto.</p> <p>Vibro compactado con rana y barrido final para garantizar llenado de juntas</p>	<p>El área adoquinada se deberá compactar sólo hasta un (1) metro del borde del avance de la obra o de cualquier borde no confinado para que no haya posibilidad de desplazamiento de adoquines, en caso de que suceda, será necesario retirarlos, nivelar la capa de arena y volver a instalarlos para luego proceder con la compactación</p>	<p>Se estima que se debe compactar de igual manera con vibro compactador y barrido final</p>
<p>Sellado de juntas</p>	<p>Debe estar lo más seca posible para su manejabilidad y penetración arena de material fino que pasa el tamiz 75 μm.</p>	<p>Las juntas se rellenan con:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arena seca fina 2. Mortero 3. Sello de silicona 4. Junta abierta (drenaje) 	<p>Arena asfalto para garantizar drenaje, sin arrastre de material (como en el caso de la arena) y evitar aposamiento de agua.</p>
<p>Ancho de junta</p>	<p>2,5 mm a 5mm</p>  <p>Figura 22. Anchos promedio y máximo de la junta entre adoquines, puestos "al tope"</p>	<p>2.0 a 4.0 mm</p>	<p>500 mm</p>  <p>JUNTA (5 mm) ARENA ASFALTO ADOQUÍN AAR (Tipo 1, 2, 3).</p>

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Escalonamiento de adoquines	5mm	5mm	5mm
Mantenimiento	Se deben proteger contaminación o daño con: tierra, lodo, aceites, mezclas de concreto, cemento, rayado con materiales duros como acero, ácidos de lavado de fachadas, descargues de materiales y cualquier otro agente externo que lo deteriore	Larga vida útil, se cuantifica aproximado en 30 años. Cuando se renuevan se utiliza un 90% de los mismo. Estos pavimentos se reparan de forma mucho más económica que los adoquines de cualquier naturaleza Se debe esperar 28 días, después de instalado para limpiarlo con ácido nítrico diluido mínimo en una proporción de 1:10.	Por las condiciones de materiales y fabricación (cocción) las condiciones de durabilidad son óptimas y el mantenimiento es mínimo.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

<p>Clasificación del tráfico</p>	<p>A0. Peatonal, muy bajo: (4 cm). En aceras y otros pisos en jardines o parques de observación de naturaleza</p> <p>A1. Peatonal, bajo: (4 cm). En aceras y otras áreas peatonales en unidades de vivienda</p> <p>A2. Peatonal, medio: (4 cm). En aceras y otras áreas peatonales en zonas no céntricas de la ciudad, con tráfico peatonal permanente, pero sin grandes concentraciones</p> <p>A3. Peatonal, alto: (4 cm). En aceras y otras áreas peatonales en zonas céntricas de ciudad reconocidas por su alto flujo de peatones</p>	<p>tipo f. Tipo f o flexibles, adoquines asentados sobre una capa de arena, con juntas de arena y soportados por una base adecuada, conformada por materiales granulares compactados</p> <table border="1" data-bbox="919 532 1402 862"> <tr> <td data-bbox="919 532 1087 654"> <p>TIPO I</p> </td> <td data-bbox="1087 532 1402 654"> <p>VEHICULAR Adoquín expuesto a amplia abrasión, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Vías · Entradas vehiculares a edificios y centros comerciales </td> </tr> <tr> <td data-bbox="919 654 1087 776"> <p>TIPO II</p> </td> <td data-bbox="1087 654 1402 776"> <p>PEATONAL DE TRÁNSITO INTERMEDIO Adoquín expuesto a tránsito intermedio, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Restaurantes · Calzadas exteriores </td> </tr> <tr> <td data-bbox="919 776 1087 862"> <p>TIPO III</p> </td> <td data-bbox="1087 776 1402 862"> <p>PEATONAL DE TRÁNSITO BAJO Adoquín expuesto a tránsito bajo, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pisos o patios de casas unifamiliares </td> </tr> </table>	<p>TIPO I</p>	<p>VEHICULAR Adoquín expuesto a amplia abrasión, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Vías · Entradas vehiculares a edificios y centros comerciales 	<p>TIPO II</p>	<p>PEATONAL DE TRÁNSITO INTERMEDIO Adoquín expuesto a tránsito intermedio, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Restaurantes · Calzadas exteriores 	<p>TIPO III</p>	<p>PEATONAL DE TRÁNSITO BAJO Adoquín expuesto a tránsito bajo, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pisos o patios de casas unifamiliares 	<p>considerado para peatones (usuarios ambulantes) y, peatones con movilidad reducida (pmr),</p>  <p>Md. 1,00 m Andén Tipo Escala Local</p>
<p>TIPO I</p>	<p>VEHICULAR Adoquín expuesto a amplia abrasión, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Vías · Entradas vehiculares a edificios y centros comerciales 								
<p>TIPO II</p>	<p>PEATONAL DE TRÁNSITO INTERMEDIO Adoquín expuesto a tránsito intermedio, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Restaurantes · Calzadas exteriores 								
<p>TIPO III</p>	<p>PEATONAL DE TRÁNSITO BAJO Adoquín expuesto a tránsito bajo, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pisos o patios de casas unifamiliares 								

Fuente: Elaboración propia

Consolidación del suelo.***Explanación.***

Consiste en el movimiento de tierras necesario para obtener una plataforma uniforme sobre la cual se construirá el sendero.

Imagen 1. Explanación

Fuente: (Landaeta, 2017, pág. 11).

Para ello se hace el retiro de rastrojo, maleza, bosque, pastos, escombros, etc., en las áreas que van a ser ocupadas por el proyecto peatonal, de manera que el terreno quede limpio y libre de vegetación y su superficie resulte apta para el inicio de los trabajos subsiguientes.

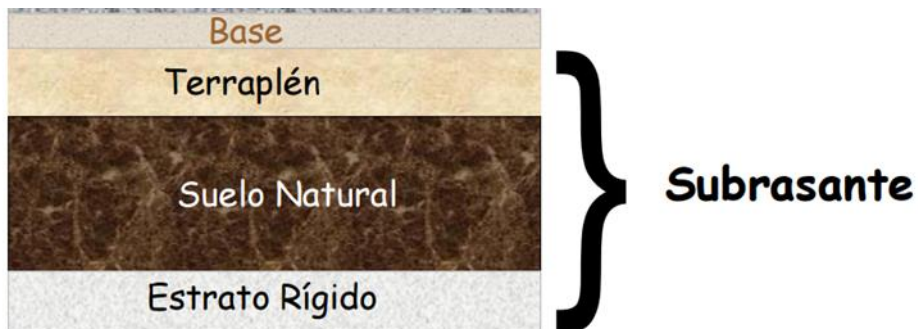
Preparación de la subrasante.

Se define como la fundación sobre el cual el sendero será construido. La subrasante es la capa superior de la explanación (generalmente en espesor de 300 mm). Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Las respuestas estructurales del sendero (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) son influidas significativamente por la subrasante y un gran porcentaje de las deflexiones en la superficie del sendero se puede atribuir a la subrasante. Las propiedades requeridas de la subrasante incluyen la resistencia, el drenaje, la fácil compactación, la conservación de la compactación, la estabilidad volumétrica etc. El proceso constructivo consiste en la compactación mediante maquina cilindro o rodillo, posterior a ello se debe tomar muestra de la superficie a fin de garantizar la densidad de la

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

misma y finalmente sobre la subrasante se suelen colocar geotextiles para impedir que el suelo contamine las capas granulares de la siguiente fase.

Imagen 2. Configuración subrasante.



Fuente: (Alvarez Pabón, s.f.).

Tabla 2. Preparación del subrasante.

Compactación de la subrasante	Verificación de la densidad
	
Uso de geotextil para separación	
	

Fuente: (Landaeta, 2017).

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Tiene una gran influencia en las operaciones de construcción del sendero y en la eficiencia del mismo. Las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de base y/o subbase y no dan soporte adecuado para las subsiguientes operaciones por ello es de vital importancia seguir las especificaciones técnicas descritas en el estudio de suelos, pues de lo contrario ocasionara fallas al sendero.

Frecuentemente, las deficiencias en la construcción debidas a problemas de la subrasante no se detectan por encontrarse “ocultas” en el sendero peatonal; sin embargo, pueden aparecer después de la exposición al tráfico peatonal y al medio ambiente.

Imagen 3. Sub-base



Fuente: (Maccaferri, 2015)

Sub-base.

Esta parte sirve de drenaje al camino peatonal, así como control de la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el sendero contra los Hinchamientos.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

El material de la sub - base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser arena, grava, escoria de altos hornos o residuos de material de cantera. Si la función principal de la sub - base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz No. 200 no será mayor del 8%.

Base.

Antes de colocar esta capa se proceden a instalar los bordillos que quedarán fundidos dentro de esta base y darán el confinamiento a los adoquines. Esta capa tiene por finalidad, la de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los peatones y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub - base y por medio de esta al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar constituidas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro ligante.

Imagen 4. Base



Fuente: (Mantenimiento Autopista sur, 2011).

Por lo general en la capa base se emplea piedra triturada o chancada, grava o mezclas estabilizadas, etc. El material pétreo que se emplea en la base debe llenar los siguientes requisitos:

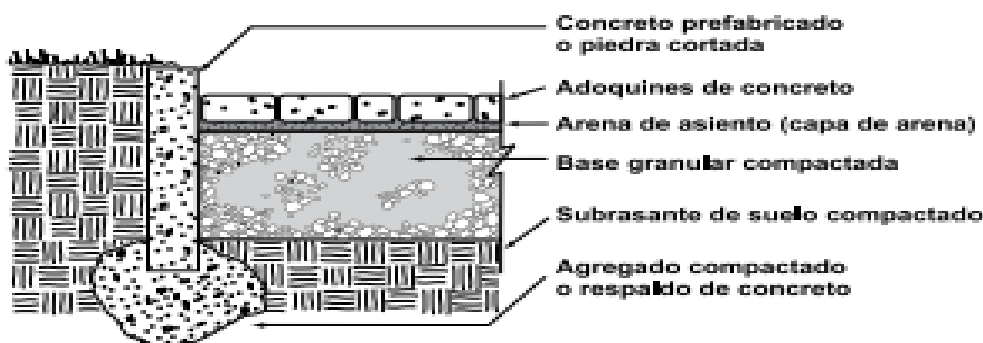
ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

- a. Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- b. No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- c. La fracción del material que pase el tamiz No. 40, ha de tener un Limite Liquido del 25 %, y un Índice de Plasticidad inferior a 6.
- d. La fracción que pasa el tamiz No. 200, no podrá exceder de 1/2 y en ningún caso los 2/3 de la fracción que pasa el tamiz No. 40.
- e. La graduación del material de la base es menester que se halle dentro de los límites establecido en las normas o en el pliego de especificaciones técnicas para la ciudad de Bogotá reglamentada por el IDU.

Bordillo o cinta de confinamiento.

Los senderos de adoquín necesitan un elemento que los contenga lateralmente para evitar el desplazamiento de las piezas, apertura de las juntas y pérdida de trabazón entre los adoquines; este elemento que puede ser un bordillo, canaleta o cualquier otra pieza similar debe apoyarse al menos 15 cm. por debajo de los adoquines para lograr la fijación adecuada. Aunque existen variedad de propuestas referentes al tema, se propondrá para este caso de investigación los bordillos de concreto prefabricado. Estos generalmente se extienden por todo el espesor del material de base. Se pueden colocar sobre suelo compactado (no sujeto a hinchamiento), material granular compactado o un lleno de concreto.

Imagen 5. Bordillo en concreto prefabricado



Fuente: (Interlocking Concrete Pavement Institute "icpi", 2006)

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

En Chile están utilizando pavimentos peatonales permeables a fin de mitigar las alteraciones que las zonas urbanas tradicionales producen sobre la hidrología y el medio ambiente, debido fundamentalmente a la impermeabilización del terreno.

La disminución de la capacidad de infiltración y de almacenamiento, la eliminación de los cauces naturales de escurrimiento ha generado graves falencias y han llevado a países como Chile a un nuevo concepto en materias de planificación y diseño de urbanizaciones, cuyo principal criterio es minimizar las áreas impermeables y proteger la red de drenaje natural mediante técnicas que potencian la infiltración, el almacenamiento temporal y la desconexión de zonas impermeables.

Imagen 6. Bordillo



Fuente: (Metalobra, 2016).

La idea básica es que no todo lo que se necesita pavimentar tiene que impermeabilizarse. Con la utilización de pavimentos permeables se consigue recargar los acuíferos y reducir el volumen y el caudal máximo de esorrentía, provocado por las lluvias. También se remueven algunos contaminantes, mejorando la calidad del escurrimiento.

Para este proyecto investigativo se propondrá que los bordillos cuyas medidas serán objeto de la profundización deben contener perforaciones a fin de ser llenadas con algún material pétreo que permita darle la permeabilidad enunciada con anterioridad al sendero.

Capa de arena.

Una vez que se han colocado los bordillos y se ha terminado el proceso constructivo de la base se procede a regar y tender a mano la arena con una pala, con el fin de obtener una cama uniforme sin compactar, cuyo espesor varía de 3 a 5 cm. La arena es conveniente que sea de buena calidad, sin arcillas, preferiblemente lavada y más bien gruesa. Posterior a ello se procede a la colocación de los adoquines para el caso de estudio en AAR en el entramado definido en el diseño y finalmente se compactarán ligeramente con una bandeja o rodillo vibrante. Se extenderá convenientemente para conseguir una capa uniforme de 3 a 5 cm. de espesor, se nivelará cuidadosamente a 1 o 2 cm. más de altura que su cota definitiva, debido a la disminución que experimentará al colocar y vibrar el adoquín. No se debe pisar la arena ya extendida y o nivelada ya que la colocación de los adoquines se realiza pisando por encima de los ya colocados.

Adoquines en asfalto reciclado.

Imagen 7. Fresado asfáltico.



Fuente: (Fermin, 2016).

Fresado.

El IDU, es la entidad encargada de expedir las especificaciones técnicas para la obtención del fresado de asfalto esta se encuentra contemplada en la sección (540-11) del compilado de especificaciones (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, s.f.). Para su obtención

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

se utiliza una máquina fresadora con controles automáticos, capaz de fresar el pavimento asfáltico con una profundidad precisa de corte y con el perfil y la pendiente transversal establecidos. El equipo estará provisto de dispositivos para verter el material fresado directamente en camiones de transporte. Previamente a la operación de fresado, la superficie del pavimento asfáltico deberá encontrarse limpia.

El fresado se efectuará a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto del pavimento existente. El material extraído como resultado del fresado, deberá ser transportado y acopiado en los lugares autorizados y para la ciudad de Bogotá este material es de propiedad del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). Se debe hacer un riguroso control de calidad que también se especifica en la sección 540-11,- 540.5.2.1 de la cartilla de especificaciones del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, s.f.), al igual que regirse a los planes de manejo ambiental exigidos por el DAMA.

Elaboración de adoquines en asfalto reciclado.

Para la elaboración de los adoquines prefabricados de asfalto reciclado se utilizará la mezcla del fresado asfáltico con trozos de neumático triturado. La modificación de asfalto es una técnica que consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones.

Adición de polímeros al asfalto reciclado.

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes. Por otro lado disminuir el fisura miento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas. A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados que no es nuestro caso. Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formado por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termofijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas, etc.

Los neumáticos se pueden clasificar en radiales y diagonales según la estructura de la carcasa. Los mismos centran un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo. Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira. El caucho natural se extrae a partir del árbol *Hevea Brasiliensis* que es un látex con partículas de caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes productos. Hoy en día alcanza el 30 % del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos sintéticos. Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son: Cauchos naturales (NR) Estireno – Butadieno (SBR) Polibutadienos (BR) Polisoprenos (IR).

Como se ha comprobado en las vías con asfalto modificado el caucho junto con el SBS:(estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, pues es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.

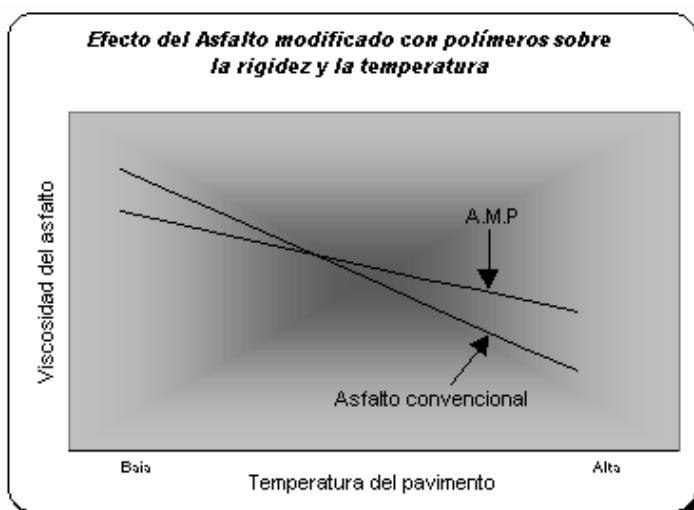
Precisamente los neumáticos tienen como materia prima estos componentes por ello será el polímero propuesto para adicionarlo al fresado. Además, en la actualidad son bastantes los problemas ambientales que ha generado el acopio de este tipo de neumáticos en desuso.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Este micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros. El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad-temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

Gráfica 1. Condiciones asfalto



Fuente: (Tonda, s.f.).

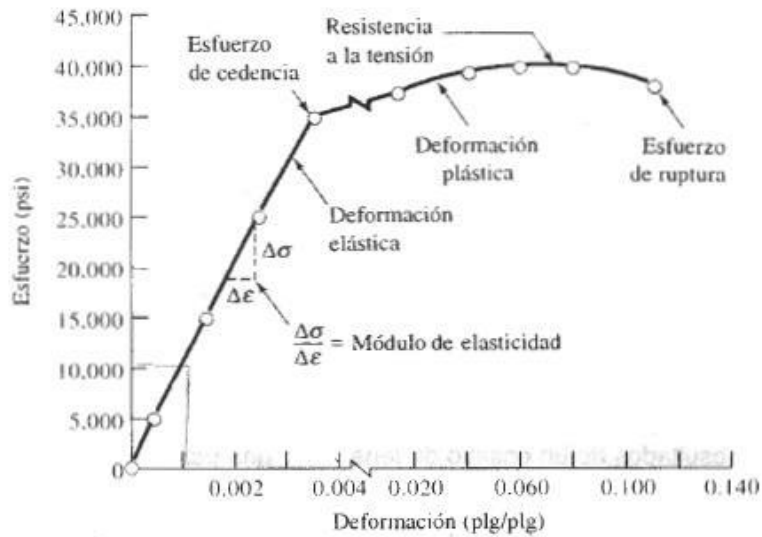
Otras propiedades que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son:

- Mayor intervalo de plasticidad (diferencia entre el punto de ablandamiento y el Fraass).

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO "CGR"

- Mayor cohesión.
- Mejora de la respuesta elástica.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Gráfica 2. Deformación asfalto



Fuente: (Saucedo, 2010).

Marco Referente

Estado del Arte

Mezclas asfálticas con desechos de llanta en la ciudad de Bogotá.

(IDU), contrato a la Universidad de los Andes para realizar un estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas mediante el contrato 366/01, esto con el fin de analizar la viabilidad del uso de las llantas como desecho solido que en conjunto con el asfalto tradicional mejoraría el comportamiento de la mezcla bituminosa que se usa en las vías de la ciudad de Bogotá (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2005). El informe se utilizará como referente para esta investigación, con el fin de sustentar que el asfalto-caucho mejora las propiedades mecánicas y durabilidad comparadas con las del tradicional además de contribuir como solución ambiental frente a las llantas en desuso.

Se citarán las siguientes palabras claves para lograr entender la conclusión a la que llego el estudio.

Asfalto: material aglomerante de color marrón oscuro o negro de consistencia variable, constituido por betunes. Hay asfalto natural u obtenido de refinación del petróleo.

Alquitrán: producto hidrocarbonado semisólido o liquido resultante de la destilación de la hulla. su contenido de betún es menor que el de los asfaltos. Tiene buena adhesividad con los agregados y resiste a los derivados del petróleo. Tiene alta susceptibilidad térmica y envejecimiento rápido

Ligante bituminoso: material que contiene betún (bitumen), hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (cs). el asfalto y el alquitrán son materiales bituminosos

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Asfalto modificado: el asfalto modificado es el cemento asfáltico al cual se altera su composición química mediante la utilización racional y técnica de modificadores. los modificadores son frecuentemente sustancias macromoleculares que tienen un efecto directo sobre el cemento asfáltico. las sustancias que se utilizan con mayor frecuencia son elastómeros SBS, los plastómeros EVA y el caucho molido. estas modificaciones tienen por objeto reducir la susceptibilidad térmica del asfalto y mejorar sus características de resistencia a la fatiga

Caucho modificante: conocido como, grano de caucho reciclado, es el caucho molido proveniente de llantas desechadas usado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y en otras aplicaciones de pavimentación (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2005).

Actualmente existen dos procesos usados en la elaboración de concreto asfálticos en los que se incorpora desecho de llantas usadas, denominados proceso húmedo y proceso seco. Estudios previos realizados con caucho natural y sintético en algunos países como estados unidos, España, Sudáfrica, entre otros, demostraron que el caucho sintético es el más apropiado para este uso particular. Este caucho es obtenido de forma económicamente viable empleando llantas de desechos que deben ser molidas hasta obtener tamaños de partícula apropiados. El caucho molido de esta forma recibe el nombre de grano de caucho reciclado (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 7).

Mucha de esta información se obtuvo de asociaciones internacionales como Rubber Pavement Association, International Society For Asphalt Pavements, e información contenida en las memorias del Congreso Internacional Asphalt Rubber 2000 realizado en Vilamoura, Portugal, en noviembre del año 2000, entre otros documentos (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 8).

Este trabajo de investigación se enfoca en el empleo del GCR como modificador del ligante y como mejorador de la mezcla asfáltica para su uso en la construcción de pavimentos

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

flexibles. Los beneficios que éste aporta a los pavimentos, y a los cuales se espera llegar con esta investigación, podrán verse reflejados en una disminución de espesores en las capas asfálticas con respecto a pavimentos asfálticos con materiales convencionales para una misma vida útil establecida. Esto se debe a que el caucho bien dosificado en las mezclas asfálticas mejora la resistencia al fisuramiento por fatiga y evita el ahuellamiento del pavimento a altas temperaturas, aumentando la vida útil del mismo y disminuyendo los costos de mantenimiento.

Por otro lado, mejora el agarre de los neumáticos de los vehículos al pavimento, reduce el envejecimiento por oxidación del ligante, ayuda a la preservación del medio ambiente, y a disminuir el ruido generado por el tráfico al contacto con el pavimento. el corredor escogido por el IDU para llevar a cabo el proyecto se encuentra ubicado sobre la carrera 96, comprendido entre la calle 67a y la calle 63 más conocida como avenida José celestino mutis. Como para toda obra vial, sobre el corredor escogido se llevó a cabo una completa caracterización de la subrasante y de las capas granulares existentes. Sobre el corredor fueron colocadas cinco (5) tipos de mezclas con ligantes diferentes, pero de igual granulometría, entre las mezclas colocadas se incluyeron dos tipos de mezclas con ligantes comerciales modificados con polímeros para que sirvieran de comparativo con las mezclas objeto del estudio. Terminada la construcción de la pista de prueba, se dio inicio a un año de auscultación y seguimiento de los tramos construidos (Universidad de Los Andes, 2005, págs. 11-12).

En países de los cinco continentes el empleo le ha dado buenos resultados, y su uso se ha venido incrementando con el tiempo gracias al apoyo e interés de entidades públicas y centros de investigación.

Características fisicoquímicas de las llantas.

Las principales materias primas utilizadas en la fabricación de llantas son cauchos naturales y sintéticos (sbs, sbr), acero, textiles y aditivos, entre los que se destacan el negro de humo, aceites, óxido de zinc activado con cadmio, dióxido de titanio, sulfuro, sílica, resinas fenólicas y ácidos grasos. La materia base del caucho natural es el látex que se da en el hevea más conocido como árbol del caucho. Las cualidades que el caucho natural aporta a las llantas

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

son: la maleabilidad, gran resistencia mecánica y adherencia de estas sobre cualquier tipo de superficie, cualidades que hacen que todavía hoy siga siendo un elemento indispensable para la industria de las mismas, donde se consume aproximadamente el 70% de la producción mundial. En el ligante modificado con el aporte del látex de las llantas se traduce en un mejor comportamiento elástico.

El caucho sintético fue desarrollado durante la segunda guerra mundial a través del programa americano GRS (government rubber stock) para contrarrestar la falta del caucho natural, los cauchos sintéticos ofrecen cada día mayores posibilidades de formulación. Estos elastómeros derivados del petróleo han permitido mejorar las características de las llantas, en particular prolongar su vida útil y aumentar su nivel de adherencia. Cuando se incorporan en los ligantes asfálticos mejoran la susceptibilidad térmica y en general sus características geológicas proporcionando un cemento asfáltico no tan fluido a elevadas temperaturas ni tan viscoso a bajas.

El negro de humo es obtenido por combustión o descomposición térmica parcial de gases naturales o hidrocarburos pesados. Este elemento en las llantas permite conseguir unas mezclas más resistentes a la rotura y a la abrasión, dándoles el característico color negro. En el ligante actúa como un agente inhibidor del envejecimiento, lo que prolonga la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo.

La sílice es obtenida de la arena que, al ser asociada con un elastómero sintético específico, gracias a un agente de enlace y a un proceso especial de mezclado, da como resultado mezclas que permiten elaborar unas llantas que presentan baja resistencia al rodamiento y buena adherencia en superficies frías, sin perder los niveles de resistencia al desgaste del negro de humo. Dentro de los procesos de fabricación de llantas se encuentra el vulcanizado, el cual consiste en ligar las cadenas de elastómeros entre sí por reacción con el azufre bajo la acción del calor. Durante este proceso la mezcla de elastómeros pasa de un estado plástico a uno elástico.

Las llantas desechadas.

Cada año millones de llantas son desechadas en todo el mundo. Las llantas viejas son visualmente contaminantes, atentan contra la salud pública y generan peligro por ser generadoras de incendios; por otro lado, se presenta inconvenientes con su disposición final, ya que por ser considerada un desecho sólido deben ser enterradas, almacenadas, o destruida por incineración.

Imagen 8. Calle sexta - octubre 20 de 2014



Fuente: (Aristizábal & Redacción Bogotá, 2016).

En la actualidad se utilizan diversos métodos para recuperar algunos de los materiales presentes en las llantas desechadas, y para destruir sus componentes peligrosos, estos son algunos:

- Termólisis: se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de llantas a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen como efecto destruir los enlaces químicos.
- Pirolisis: este proceso, que se encuentra aún en fase de investigación, presenta problemas técnicos en la separación de la gran cantidad de compuestos carbonados que se producen en su desarrollo, resultando muy costoso.
- Incineración: proceso mediante el cual se produce la combustión de los materiales orgánicos de las llantas a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. es un proceso costoso que presenta inconvenientes en las diferentes

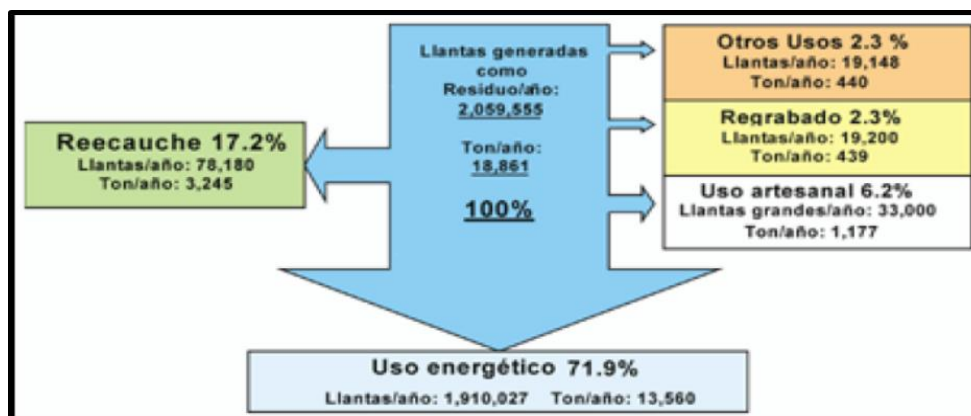
ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

velocidades de combustión de los componentes y la necesidad de depuración de los residuos, por lo que es difícil de controlar, resultando contaminante. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son perjudiciales para la salud humana, entre ellos el monóxido de carbono, hollín de xileno, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, óxidos de zinc, benceno, fenoles, dióxido de azufre, óxidos de plomo, tolueno, entre otros. el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos altamente cancerígenos. el zinc es particularmente tóxico para la fauna acuática. muchos de estos compuestos son solubles en el agua, por lo que pueden pasar a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

- **Trituración mecánica:** por ser un proceso puramente mecánico los productos resultantes son de alta calidad y limpios de todo tipo de impurezas, facilitando la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. la trituración con sistemas mecánicos generalmente es el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de llantas. (andes, 2005, pág. 15-20)

La investigación contiene el siguiente gráfico que ilustra el porcentaje en toneladas del aprovechamiento que se hace de las llantas usadas por el parque automotor en Bogotá. Estadística proporcionada por la secretaria del medio ambiente en el año 2000

Gráfica 3. Usos llantas



Fuente: (Secretaria

Distrital de Ambiente, s.f., pág. 4).

Las llantas desechadas se utilizan en mayor porcentaje para la generación de energía, tal es el caso de las cementeras, que las usan en vez del carbón para los hornos industriales, en las termoeléctricas como aprovechamiento energético gracias a su poder calorífico. Sin embargo, todos estos procesos son altamente contaminantes; en muchas partes del mundo si lo utilizan como agregado para el asfalto.

Aplicación del caucho en los pavimentos.

El caucho de llantas usadas puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados como proceso húmedo y proceso seco. En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el cemento asfáltico, mientras que, en el proceso seco, el caucho es usado como una porción del agregado fino. Cada proceso es utilizado dependiendo del producto que se quiera obtener, existiendo para cada uno diferentes tecnologías

Tabla 3. Terminología asociada con el uso del caucho en mezclas asfálticas.

MATERIAL	PROCESO	TECNOLOGÍA	PRODUCTO
	húmedo	bachadas	asfalto modificado con caucho o asfalto-caucho
		continua	
		terminal	
	seco	plusride	mezcla asfáltica mejoradas con caucho
		genérica	
		convencional	

Fuente: (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 21).

El caucho para ser utilizado como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas es reciclado de las llantas desechadas y disminuido en tamaño por trituración mecánica, debe ser de contextura fina en tamaños menores a 6.3 mm (1/4”). Los métodos para la producción del imparten diferentes características en cuanto a la forma y textura del grano de caucho.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Una de las principales características que presenta el cemento asfáltico modificado con es el aumento en la viscosidad de la mezcla resultante; esto hace que la mezcla asfalto-caucho sea más flexible a bajas temperaturas mientras que a altas temperaturas logra que sea menos plástica. Entre los principales beneficios logrados en los pavimentos se encuentran las mejoras en la deformación permanente, la fatiga, y la resistencia al fisuramiento a bajas temperaturas. Dependiendo del proceso utilizado, el costo de usar en las mezclas asfálticas puede llegar a superar al de las elaboradas con materiales convencionales. El proceso por vía seca demanda más cantidad de ligante, requiere un procedimiento especial para la adición del, y un mayor tiempo de compactación en obra.

El proceso por vía húmeda requiere nuevos equipos en planta, como la unidad de mezclado y almacenamiento del asfalto caucho, cambio de bombas y tuberías, y energía adicional para calentar la mezcla a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados. El caucho molido al ser vulcanizado para resistir calor y sobrecalentamiento elimina los problemas encontrados con el polímero virgen. Además, no presenta solubilidad, a diferencia del caucho natural este no cambia dentro del cemento asfáltico al ser sobrecalentado. El posee valiosos componentes que pueden contribuir al buen desempeño del asfalto. Algunos de estos son:

- Negro de humo: este componente se destaca por su acción específica contra el desgaste de las llantas al contacto con la superficie, permitiendo quintuplicar la duración de la llanta. Considerado como un antioxidante, este componente reduce el desgaste de la llanta al incrementar la durabilidad del caucho. en la mezcla asfáltica ha demostrado aumentar las propiedades de refuerzo del ligante y ayudar a disminuir su envejecimiento.
- Antioxidantes: compuestos que retardan el deterioro del caucho natural causado por la oxidación. Algunas de las sustancias usadas son los estabilizadores del caucho sintético, principalmente de los polímeros de butadieno, en el momento de la preparación, y cuando se usan de este modo se denominan estabilizadores. el contiene más del 20 por ciento de este compuesto.

- Aminas: son adicionadas durante el proceso de vulcanizado y están estrechamente relacionadas con los compuestos de antiadherencia. las aminas aromáticas evitan el endurecimiento progresivo del caucho, el aumento de su fragilidad y la pérdida de la elasticidad.
- Aceites aromáticos: estos son similares a los agentes rejuvenecedores los cuales prolongan la vida del asfalto-caucho. se considera que el tamaño apropiado del es en partículas entre tamaños de ¼” a mínimo tamiz número 30.

Entre las desventajas tenemos:

La captación de aceites del cemento asfáltico por parte de las partículas de caucho afecta adversamente las propiedades de cohesividad y adhesividad del ligante, haciendo que disminuya la propiedad de la mezcla a unirse con las superficies de la estructura del pavimento o con los agregados. Este problema se puede solucionar usando ligantes más blandos ricos en aceites, sin embargo, la mezcla resultante podría ser muy blanda y delicada. Al modificar el ligante con la mezcla resultante experimenta un incremento en la viscosidad haciéndola no apta para ser usada en ciertas aplicaciones que requieren que este ligante sea bien fluido. Este problema se puede solucionar ablandando la mezcla asfalto-caucho con el uso de kerosén (Universidad de Los Andes, 2005, págs. 24-28)

Caucho molido utilizado.

El que se utilizó en la investigación de la universidad de los andes, fue un grano de caucho desechado, producto del reencauche de llantas usadas de camión suministrado por la firma renovadora de llantas Ltda. En el proceso de reencauche, la superficie de las llantas usadas es raspada con cuchillas que giran en sentido contrario al movimiento de rotación normal de la llanta, obteniéndose partículas que van desde tamaños de 2.38 mm a 74 µm, libre de fibras y metales. Las partículas superiores a 2 mm son de forma alargada, lo que requiere de un proceso adicional de molienda para lograr un grano de caucho de menor tamaño con

formas redondeadas. Los procesos anteriormente mencionados para obtener permiten que el caucho conserve el vulcanizado

Procesos de obtención del asfalto- por vía seca.

El proceso seco es cualquier método donde es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico. este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar cómo un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el uno (1%) y tres por ciento (3%) del peso total de los agregados en la mezcla. a diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, sólo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado.

Tecnologías. Las dos tecnologías más comunes en estados unidos para el uso del GCR por la vía seca son la tecnología plusride y la tecnología genérica o sistema TAK, otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 20)

Genérica: esta tecnología fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 y a principio de los años 1990 para producir mezclas asfálticas en calientes con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el GCR grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 21).

Plusride: esta tecnología fue originalmente desarrollada en Suecia a finales de los años 1960, y registrada en los estados unidos bajo el nombre comercial plusride por la firma envirotire. Es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van de 1 a 3 por ciento del peso total de los agregados. El

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

GCR son partículas que van desde 4.2 mm (1/4”) a 2.0 mm (tamiz no 10). El contenido de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4 por ciento, y por lo general son obtenidos con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 por ciento. Del GCR es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. a diferencia de las mezclas plusride, la granulometría del GCR se divide en dos fracciones en la que la parte fina se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica, que puede llegar a necesitar una pre-reacción o pretratamiento con un catalizador para alcanzar una óptima hinchazón de la partícula. En este sistema, el contenido de GCR no debe exceder el 2 por ciento del peso total de la mezcla para capas de rodadura (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 20).

Convencional: esta tecnología fue desarrollada en España para usar el GCR en la mejora de mezclas asfálticas empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menos cantidad de caucho, aproximadamente un dos por ciento del peso total de los agregados. Estas mezclas asfálticas han sido evaluadas dinámicamente en el laboratorio y colocadas en la vía con buenos resultados (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 21).

Aplicaciones: el proceso seco puede ser usado para mezclas asfálticas en caliente en granulometrías densas, abiertas o discontinuas. No puede ser usado en otro tipo de aplicaciones como mezclas en frío, sellos, o tratamientos superficiales por ser un proceso en el que no se modifica el ligante (Universidad de Los Andes, 2005, pág. 22).

Mezclas asfálticas en caliente.

Cuando se usa una mezcla tipo discontinua con GCR la discontinuidad en los tamaños de los agregados produce una textura en la mezcla asfáltica relativamente gruesa que disminuye potencialmente el ahuellamiento y la

facilidad de deslizamiento de los vehículos sobre el pavimento. Con propiedades similares al asfalto-caucho, las mejoras en el ligante proporciona características de elasticidad y adhesividad a la mezcla asfáltica, lo que puede incrementar la resistencia al fisuramiento inducido por las capas granulares si las deformaciones no son muy grandes. Las partículas gruesas del GCR actúan como un agregado en la mezcla asfáltica que puede mejorar el desempeño de la misma (pág. 22).

Las partículas de que quedan expuestas en la superficie del pavimento tienen una función importante al impedir que las llantas de los vehículos se deslicen sobre el pavimento ofreciendo un mejor agarre, y las que quedan dentro del cuerpo de la mezcla asfáltica ayudan a retardar el fisuramiento inducido por las capas granulares por absorción de los esfuerzos obstaculizando la propagación de la fisura (pág. 22).

Proceso de obtención por vía húmeda.

En el proceso húmedo, es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado (pág. 22).

El cemento asfáltico que ha sido modificado con GCR es llamado asfalto-caucho y es el resultado de la interacción del GCR con el ligante, donde la reacción que ocurre entre los dos no es una reacción de tipo química. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el cemento asfáltico hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla, el componente aromático del cemento de asfáltico, y el uso de otros aditivos (pág. 23)

Modificación del ligante: la reacción entre el cemento asfáltico y el GCR implica, como ya se ha dicho, la absorción de aceites aromáticos del cemento asfáltico por el GCR en las cadenas de polímero, las cuales comprenden los componentes principales de la estructura del caucho natural y sintético. La reacción entre GCR y el cemento asfáltico puede ser aumentada ampliando el área superficial del, la temperatura de mezclado y el tiempo de agitación. La viscosidad de la mezcla es el principal parámetro usado para supervisar la reacción. Para una reacción especificada, por razones económicas, el tiempo escogido deberá ser el mínimo a una temperatura seleccionada. entre las tecnologías usadas en el proceso húmedo están: el mezclado por bachadas o tecnología McDonald, mezclado continuo, y mezclado terminal (págs. 23-24)

Tecnología por bachadas: esta metodología consiste en una producción de mezclado de asfalto y caucho por bachadas. las primeras aplicaciones en el proceso húmedo fueron bachadas y se basaron en la tecnología McDonald, que fue desarrollada a comienzos de los años 1960 por Charles McDonald, y patentada en los años 1970 por la Arizona Refining Company (arco). hoy en día existen numerosas patentes relacionadas con la tecnología McDonald, muchas de las cuales ya han expirado y otras cuantas todavía se encuentran vigentes (pág. 24).

Tecnología continua: este proceso consiste en un sistema de producción de mezclado de asfalto y caucho de manera continua. La tecnología de mezclado continua fue desarrollada en florida a finales de los años 1980 y es conocida como florida wet process. En este proceso, un tamaño fino 0.18 mm (tamiz no. 80) de GCR es mezclado con el cemento asfáltico en un proceso continuo. la tecnología de florida se diferencia del proceso McDonald en varios aspectos: emplea bajos porcentajes de, entre 8 y 10 por ciento, el tamaño de la partícula de caucho requerida es más pequeña, disminuye la temperatura de mezclando, y acorta el tiempo de reacción. el proceso húmedo de florida aún no ha sido patentado (pág. 25).

Tecnología terminal. la tecnología de mezclado terminal es un proceso húmedo que brinda la capacidad de mezclar o combinar el cemento asfáltico con el caucho reciclado y conservar el producto durante amplios períodos de tiempo. este producto asfalto-caucho tiene una amplia duración de almacenamiento y puede ser mezclado en la refinería donde se produce el cemento asfáltico por cualquiera de las dos tecnologías, continua o por batchadas (pág. 25).

Aplicaciones. el cemento asfáltico modificado con GCR mediante el proceso húmedo ha sido usado ampliamente como ligante en la reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, membranas retardantes de fisuras, y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente (pág. 25).

Sellantes. el ligante modificado como material sellante tiene un excelente desempeño y es una buena alternativa en cuanto a su costo efectivo. entre las propiedades ingenieriles que este aporta están la mejora en la susceptibilidad térmica, reduce el envejecimiento, y mejora la durabilidad ante el ataque de agentes agresores como el agua, el clima y la radiación ultravioleta. las cadenas del polímero mejoran la viscosidad del ligante a altas temperaturas sin alterar de manera significativa la viscosidad a bajas temperaturas, aumentando la capacidad elástica del ligante aportándole flexibilidad (págs. 25-26).

Las enunciadas técnicas de preparación de asfalto caucho generaron unos prototipos de ensayo los cuales fueron sometidos a diversas pruebas físicas con el fin de evaluar las propiedades del material y poder comparar el resultado con los datos conocidos por el asfalto tradicional; estas pruebas fueron:

1. Estabilidad al almacenamiento: la prueba zenke o de estabilidad de almacenamiento permite evaluar el porcentaje de separación entre fases. consiste en mantener la

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

muestra asfáltica en un tubo colapsible de aluminio sellado y sin aire durante 72 horas a una temperatura entre 160°C y 180°C.

2. Pruebas de penetración: la prueba de penetración permite relacionar el valor obtenido con la consistencia del asfalto a temperaturas medias de servicio, además de asociar este parámetro con una posible falla de fisuramiento. la prueba se desarrolla bajo la norma astm 5-73.
3. Pruebas de viscosidad brookfield: la medición de la viscosidad se utiliza para la selección de la mezcla, el criterio utilizado es que el valor de la viscosidad debe estar en un rango de 1500-3000 cp a una temperatura de 163 ° C.

Los resultados de los ensayos arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 4. Pruebas asfalto

ENSAYO	NORMA	Asfalto 60-70	Asfalto 85-100	Asfalto modificado
Viscosidad dinámica a 135°C [Pa.s]	-	0,56	0,40	2,37
Penetración	INVE-706	65	91	60
Punto de ablandamiento [°C]	INVE-712	52	49	68
Peso unitario del asfalto sólido [gr/cm ³]	INVE-707	1,01	1,01	0,91
Punto de ignición [°C]	INVE-709	238	240	243
Punto de llama [°C]	INVE-709	244	243	247
Pérdida de masa RTFOT (%)	ASTM D-1754	0,5	0,7	0,6
Módulo de Rigidez a 58°C y 1.59 Hz [kPa]	V. de Poel	11,8	4,02	65

Fuente: (Reyes Ortiz, 2009).

Tabla 5. Características físicas de los asfaltos

PRUEBA	Barranca 70-90	AC 80-100	SBS	SBR
Viscosidad a 135°C(cP)	683	2917	1267	2917
Penetración Original(dmm)	92	90	49	62
Ductilidad(cm)	150	25	109,5	147
Estabilidad al almacenamiento	SI	NO	NO	SI

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Punto Ablandamiento(°C)	50	52	85	50
Penetración del Residuo(dmm)	33	70	34	41
Pérdida de Masa (%)	0,08	0,380	0,12	0,45
T mezcla (°C)	155	179	177 *	160 *
T compactación (°C)	145	172	166 *	150 *
T falla original(°C)	61,5	76,7	71,5	62,93
T falla residuo(°C)	67,5	62,2	67,5	62,14
T falla PAV(°C)	22,9	16,1	21,1	22,8

Fuente: (Reyes Ortiz, 2009).

Las conclusiones a las que llega el estudio son las siguientes, y serán el punto de partida para la propuesta del uso de asfalto reciclado (fresado) mezclado con, el grano de caucho reciclado () obtenido de llantas usadas puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como un modificador del ligante (proceso húmedo).

Los resultados obtenidos mediante el proceso por vía seca no fueron los esperados, este tipo de mezcla se caracterizó por tener baja adherencia, y poca resistencia durante los ensayos de desempeño practicados. Entre menor sea el tamaño máximo del que se utilice para mejorar las mezclas asfálticas o modificar el ligante serán mejores los resultados obtenidos, esto por el hecho que facilita la homogenización de la mezcla y disminuye los tiempos de reacción durante el proceso de modificación.

El utilizado para el proceso húmedo mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo, hace que los módulos dinámicos disminuyan. la deformación plástica en ciertos casos es incrementada por la incorporación de caucho como modificador de ligante o como modificador de la mezcla, sin embargo, para las mezclas modificadas mediante proceso húmedo los valores de velocidad de deformación se mantienen dentro del rango admisible (< 30 um/min.). Para la mezcla modificada por proceso seco la velocidad de deformación no cumplió con el rango admisible, ocupando las peores resistencias al ahuellamiento en conjunto con los ligantes no modificado

Se puede trabajar con husos granulométricos convencionales para la fabricación de mezclas asfálticas mejoradas con caucho. El empleo del GCR incrementa la vida útil de un

pavimento. Los costos de una mezcla asfáltica mejorada con GCR son mayores que los de una mezcla asfáltica convencional.

Luego de haber construido un tramo de prueba a escala real, sometido al clima y a las cargas reales, se puede concluir que la metodología por proceso húmedo es mucho más confiable que la metodología por proceso seco. Al utilizar un tipo de mezcla con granulometría tipo IDU 0/14 se obtienen resultados aceptables en mezclas modificadas con ligante asfalto-caucho mediante proceso húmedo. Las principales ventajas se evidencian en el incremento de la resistencia a la fatiga, en la disminución de la velocidad de deformación en el ensayo de ahuellamiento, y en una mejor susceptibilidad al agrietamiento por temperatura.

En general el contenido de asfalto tanto para mezclas asfalto caucho como para las mezclas convencionales se encontró entre 6 y 7%. El contenido óptimo de ligante en una mezcla asfáltica aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de adición de, debido a la absorción de ligante que éste produce. El ensayo de deformación permanente indica que las mezclas con caucho son más deformables, lo que se corresponde con el valor de los módulos dinámicos.

“Los valores de módulos dinámicos señalan menos susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica, lo cual favorece que no se fisure fácilmente a bajas temperaturas, ni haya un excesivo riesgo de deformabilidad a elevadas temperaturas” (pág. 209). Cómo se puede evidenciar luego de un año, el tramo con mezcla con ligante asfalto-caucho ha presentado los mayores índices de durabilidad en relación con la mezcla no modificada, y los tramos con polímeros, por lo tanto ha quedado evidenciada la mayor durabilidad que ofrece la modificación de ligantes con desechos de llantas en un ejercicio a escala real (Universidad de Los Andes, 2005)

Perspectivas o enfoques.

Como se puede ver, el asfalto caucho es un material que ya se ha utilizado en Colombia, específicamente en la ciudad de Bogotá, con óptimos resultados productivos, económicos y ambientales. partiendo del principio de viabilidad del asfalto caucho, se

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

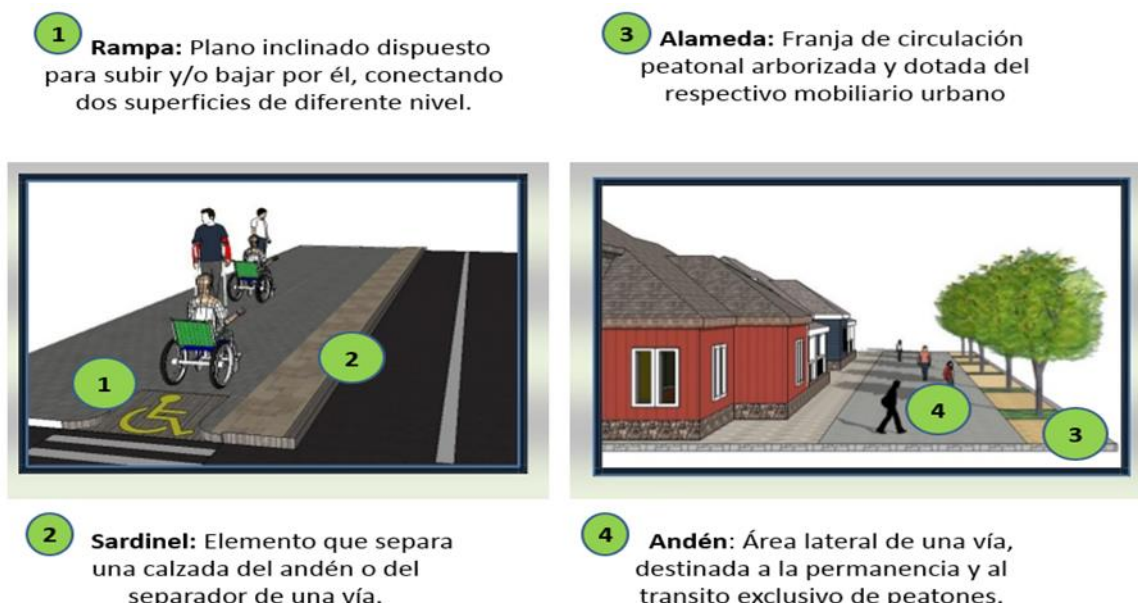
procederá a estudiar la posibilidad de diseñar y fabricar adoquines para tráfico peatonal, que aprovechando las mejoras mecánicas de mejor resistencia a la fatiga, menor deformación (ahuellamiento), menor susceptibilidad al agrietamiento y durabilidad, generen un elemento que enmarcado bajo unas condiciones de forma e instalación, mitiguen el actual problema técnico de hundimiento, aposamiento y deformación de los senderos peatonales.

Marco conceptual

Andenes

Cuando se diseñan los proyectos urbanísticos se contemplan todas aquellas necesidades arquitectónicas que requiere el destinatario final, de la misma manera y sin restar ninguna importancia, los andenes, sendas o senderos peatonales cuentan con una normativa que permite la adecuación de espacios peatonales transitables óptimos y ajustados a las necesidades de los usuarios. Para ello se tomará como referente la Guía práctica de la movilidad peatonal (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007).

Imagen 9. Definiciones clave.



Fuente: (Ladino & Rubiano, 2015).

Contenido de la guía de la movilidad.

- Requerimientos mínimos para que el peatón, en especial aquel con movilidad reducida, pueda transitar agradablemente por la ciudad.
- Decretos 1660 (Presidencia de la República de Colombia, 2003), Decreto 1538 (Presidencia de la República de Colombia, 2005), IDU Y NTC

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

- El contexto urbano se relaciona con el peatón mediante la creación de espacios y de ayudas para la movilidad del usuario.
- La ergonomía facilita que los espacios se adapten al usuario mediante elementos que se ajustan anatómicamente a las exigencias de los usuarios.
- Los peatones deben lograr llegar, ingresar, usar, salir, de los espacios de origen o destino
- Se basa en tres condiciones a satisfacer: seguridad confort y autonomía.

El peatón.

El peatón se puede definir como toda persona que transita a pie por el espacio público o privado. Pero también referido a una realidad como son los peatones que requieren de una atención especial en caso de lesiones o discapacidad compleja, que les impide desplazarse con facilidad por el espacio público. Últimamente son denominados Peatones con Movilidad Reducida, PMR.

Imagen 10. Tipos de peatones



Fuente: (Ladino & Rubiano, 2015).

Los peatones cuentan con derechos y deberes para facilitar su movilidad al transitar por la ciudad y ha sido el gran protagonista en el proceso de transformación de Bogotá.

Al respecto, el Plan de Ordenamiento Territorial, contempla pautas claras de protección hacia los peatones y prioriza sobre el tema al referirse sobre la escala peatonal (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 22)

Accesibilidad peatonal.

La accesibilidad se puede entender como: la facilidad en el desplazamiento de los peatones para acceder o interactuar en un espacio público. En términos prácticos implica que los peatones logren: llegar, ingresar, usar, salir, de los espacios de origen o destino referidos a intereses particulares. La Ley de Universalidad es el diseño universal aplicado a la movilidad peatonal y tiene por objetivo principal simplificar la vida del peatón.

El entorno construido debe contemplar la posibilidad de ser utilizado por el mayor número de peatones como sea posible a un costo mínimo, beneficiando a todas las personas de diferentes edades y capacidades. Una rampa o un pasamanos son algo tan bienvenido para alguien que traslade un bebe en un coche como para alguien que use silla de ruedas. El diseño universal debe ayudar a todas las personas con movilidad reducida ofreciéndole un margen de seguridad. (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 15)

Imagen 11. Accesibilidad en la movilidad peatonal



Fuente: (Ladino & Rubiano, 2015).

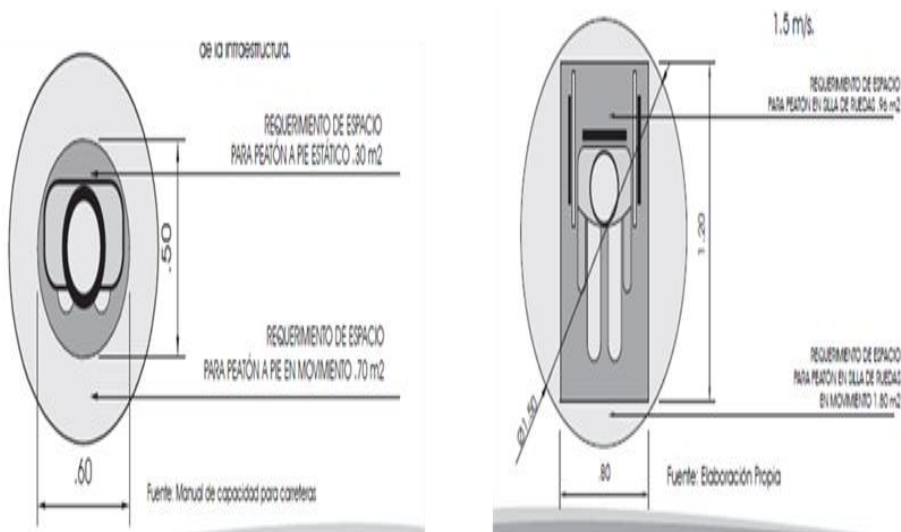
Requerimientos de espacio para el peatón.

La forma como se mueve un peatón por la infraestructura peatonal depende de la forma cómo se encuentran vinculados sus espacios contiguos y las posibles alternativas que longitudinal o transversalmente genere una ruta o mapa mental. Cada peatón transita en términos del menor tiempo y distancia posibles. (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 30).

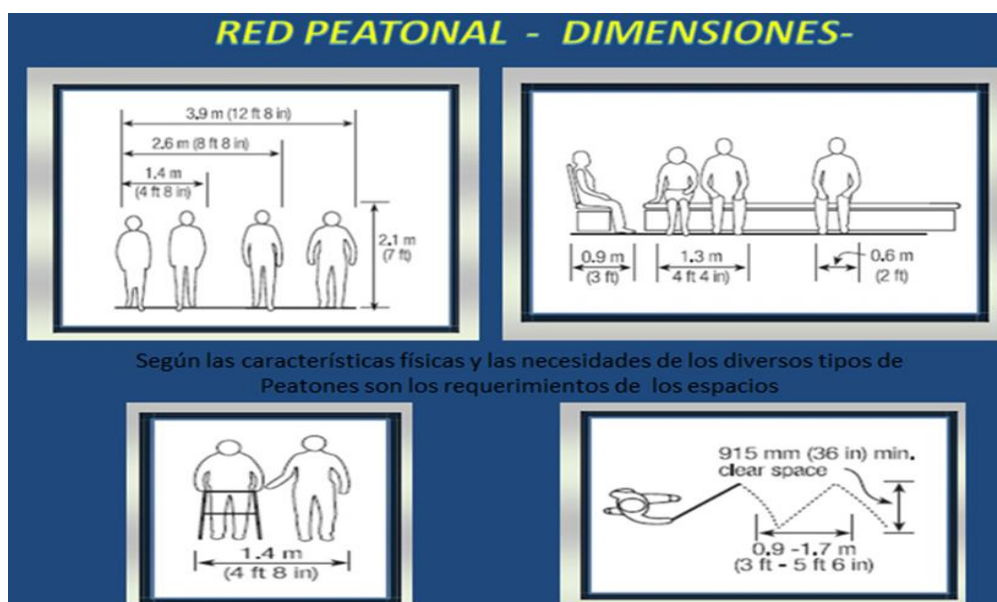
El patrón por utilizar para definir el requerimiento de espacio es:

- Peatón a pie estático: una elipse de 0.50x 0.50m en un área de 0.30m², para efectos del peatón en movimiento se utiliza una relación: 0.70 m². Por peatón a pie.
- Peatón en silla de ruedas: un rectángulo 1.20 x 0.80 m en un área 0.96m², para efectos del usuario en silla de ruedas en movimiento, se considera un círculo de 1.50 m de diámetro, lo que arroja una relación de 1.8 m² por peatón en silla de ruedas en movimiento (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 31).

Imagen 12. Capacidad red peatonal.



Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, págs. 30,31).

Imagen 13. Red peatonal.

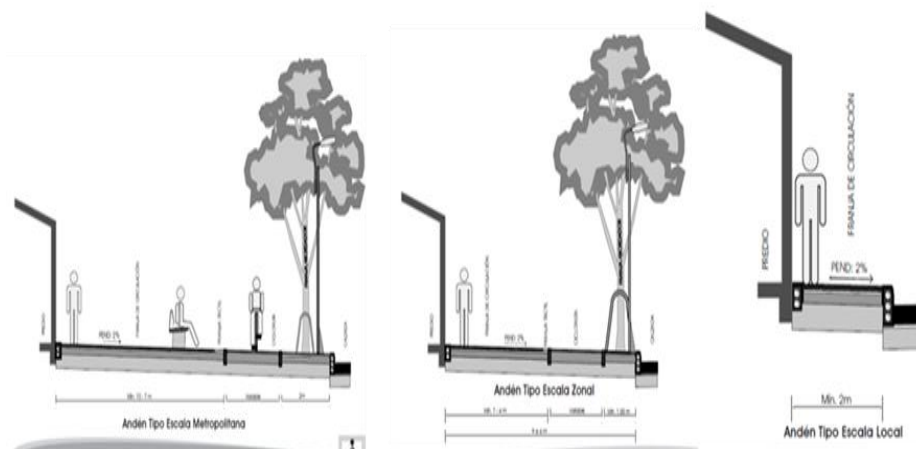
Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, págs. 30,31)

Elementos de infraestructura peatonal.***Aceras.***

Son espacios peatonales destinados a la libre movilización de los ciudadanos. En su diseño, los andenes deben ser continuos y a nivel, sin generar obstáculos con los predios colindantes y tratados con materiales duros y antideslizantes, garantizando el desplazamiento de personas con alguna limitación (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 50).

Según la escala urbana se clasifican en:

- Escala metropolitana de 10-5 metros
- Escala zonal de 5-2 metros
- Escala local de 2-1,5 metros

Imagen 14. Clasificación de andenes.

Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, págs. 30,31).

Tabla 6. Clasificación andenes según escala urbana.

Geometría	Escala metropolitana	Escala zonal	Escala local
Ancho min. franja abridor	2	1	No aplica
Ancho min. franja circulación	10-7	7-4	1.5
Altura libre	2.2	2.2	2.2.
Pendiente transversal	2%	2%	2%
Pendiente longitudinal	6%	6%	6%
Textura piso para señalización visual	Aplica		No aplica
Acabado piso adherente	Pref. Con textura	Mixto	Concreto
Equipamiento urbano	Aplica	Aplica	Uso restrictivo

Nota: **Aplica:** guía táctil ubicada entre franja abridor y circulación. **No aplica:** se suprime guía táctil. **Uso restrictivo:** el elemento que se utilice debe permitir la movilidad peatonal. Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, págs. 35-37)

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Imagen 15. Características constructivas.



- Las tapas y rejillas deben estar rasantes con el nivel del piso sin que sobresalgan más de 3mm.
- Las rejillas se deben instalar en sentido perpendicular a la vía peatonal.
- El piso de la franja de andén de circulación debe ser antideslizante.
- El terminado de piso no debe tener protuberancias mayores a 5 mm
- En las esquinas o cruces peatonales donde exista desnivel entre la calzada y la franja de andén de circulación se debe salvarse mediante rampa.
- Los bordes de los materiales en los fillos que se producen por cambios de nivel o esquinas, deben ser preferiblemente redondeados.



FRANJAS CORRESPONDIENTES A UNA ACERA

✓ Franja de paramento, FP

Es el espacio destinado para dar acceso a las edificaciones, vitrinas comerciales, ventanas, y demás sitio de exhibición. Bajantes, ductos y otros elementos.

✓ Franja de circulación peatonal, FCP

Es el espacio libre de cualquier obstáculo destinado exclusivamente para la circulación peatonal.

✓ Franja de mobiliario, FM

Es el espacio destinado para la ubicación de todos los elementos que componen el mobiliario.

Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 60)

Vados.

Imagen 16. Clasificación según escala urbana.



Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 61).

“El vado es una rampa en andén, que conecta el desnivel existente entre la calzada y el andén, debe poderse acceder lateralmente por medio de sus cantos achaflanados, el remate con la calzada debe ser al mismo nivel. Se ubican en

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

los cruces viales extremos de la manzana”. (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 61).

Imagen 17. Requerimientos técnicos de los vados.

2. LOS VADOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

1.2. VADOS - NTC 4279 (primera actualización)

Accesibilidad de las Personas al Medio Físico. Espacios Urbanos y Rurales. Vías de Circulación Peatonales Planas.

Resumen

Establece las dimensiones mínimas y las características funcionales y constructivas que deben cumplir las vías de circulación peatonales planas.

Área de aplicación

En todos los cruces peatonales a nivel, en los remates de los separadores, en los cruces por isletas, en los andenes que conecten a mitad de manzana con una boca-calle.

Aspectos constructivos

• El nivel de remate del vado con la calzada debe ser como máximo 0.025 m.

• Su localización se debe advertir por señalización en piso (cambio de textura).

• El piso de la franja de acceso frontal y sus respectivos accesos laterales deben ser antideslizantes.

• Su localización en el andén debe coincidir con uno igual, pero de sentido opuesto con el andén de la manzana adyacente.

• Su conexión entre andenes de manzanas, debe estar conectada por una franja de circulación, perfectamente demarcada en la calzada vehicular.

Dimensiones

• Ancho mínimo: 0.90 m

• Longitud máxima de desarrollo: 3m



VADOS-NTC 4279
PRIMERA ACTUALIZACIÓN

AMBIENS



Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007).

Rampas.

Una rampa es un elemento arquitectónico cuya función es unir dos planos de diferente altitud por medio de una pendiente cuya normativa se explica a continuación. En geometría descriptiva las rampas pueden clasificarse en dos tipos:

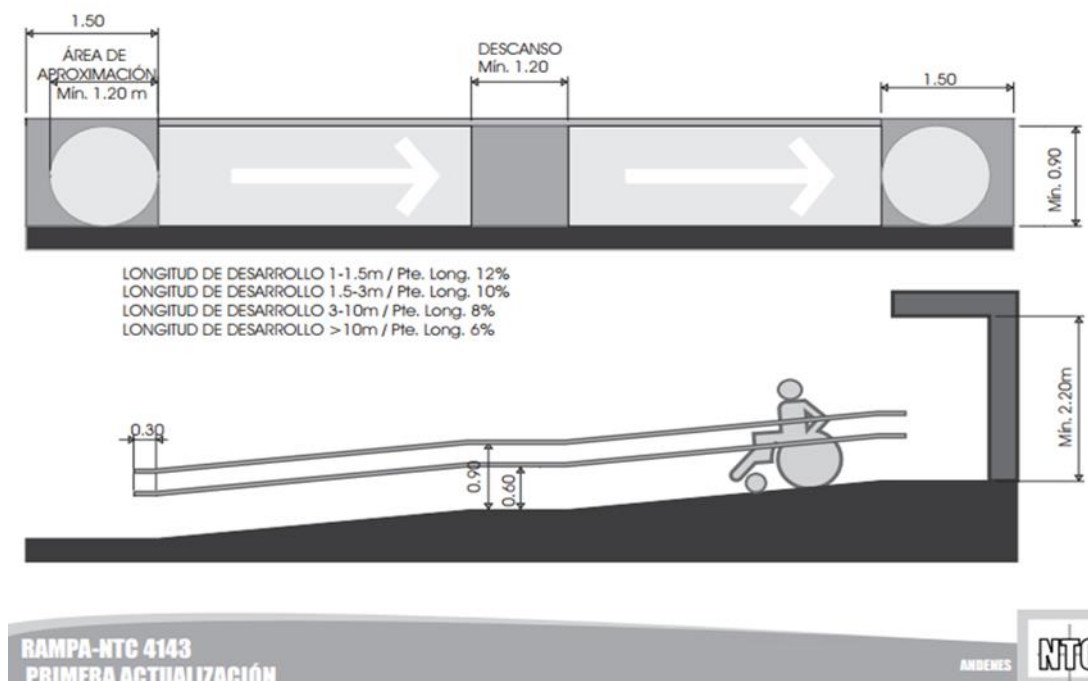
- Rampas planas
- Rampas helicoidales

La rampa es el mejor conector para garantizar la movilidad de los usuarios y su implantación debe responder a unos requerimientos mínimos basados en sus dos dimensiones: longitud de desarrollo y ancho, estas dimensiones deben estar directamente relacionadas con los flujos peatonales esperados en la zona de implantación. Después de tres metros de longitud de desarrollo se debe agregar baranda con pasamanos en los sentidos de circulación. Por ser punto de encuentro debe contemplar: buena iluminación, áreas contiguas de entrega y recibo,

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

pendiente mínima que garantice su esorrentía superficial y su acabado de piso ser antideslizante en régimen de lluvias. (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 39)

Imagen 18. Descripción de las rampas.



Fuente (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2007, pág. 63).

Maquinaria y equipo.

La instalación de los adoquines es muy sencilla y no requiere equipos ni maquinarias de alta complejidad. El instalador debe tener su herramienta de mano convencional.

- Mazo de goma: Herramienta para el asentamiento de las baldosas, adoquines, piedras y suelos en general
- Llana dentada: Herramienta para la distribución del mortero de pega de forma uniforme para la instalación del suelo.
- Paleta de albañil: Utilizado para aplicar el mortero y el pegamento de suelos y baldosas.
- Llana de goma: Herramienta utilizada para el lechado y rejuntado de las piezas sin que sufran daños o despuntes de las baldosas.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

- Gafas protectoras Para la protección y seguridad de los ojos del trabajador.
- Guantes para seguridad Elementos de seguridad y protección del operario durante la actividad.
- Nivel y Metro.

Tipos de agregados.

Agregado fino.

Los agregados finos, denominados arenas se definen como las partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras, o también como la porción de material que pasa la malla No. 4 y es retenido en la malla No. 200.

Agregado grueso.

El agregado grueso, se define como las partículas mayores de 4.75 mm, es decir, el retenido en la malla no. 4 (Gonzalez Salcedo, 2008, pág. 12).

Método Marshall.

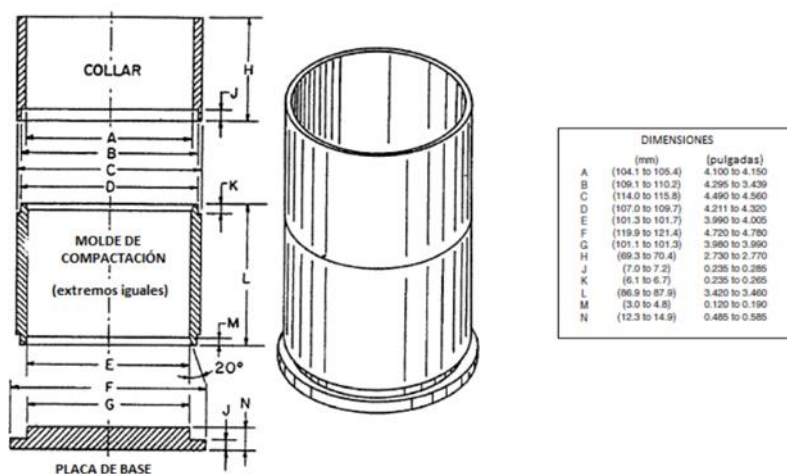
Determina el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción de la mezcla. Este sólo se aplica a mezclas asfálticas de pavimentación (en caliente) que usan cemento asfáltico, clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los datos más importantes del diseño de mezclas son: primero, análisis de la relación de vacíos-densidad, y segundo, prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas (Cueva del Ingeniero Civil, 2010).

Equipos.***Dispositivo para moldear probetas.***

– Molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana.

Imagen 19. Molde para probetas Marshall.

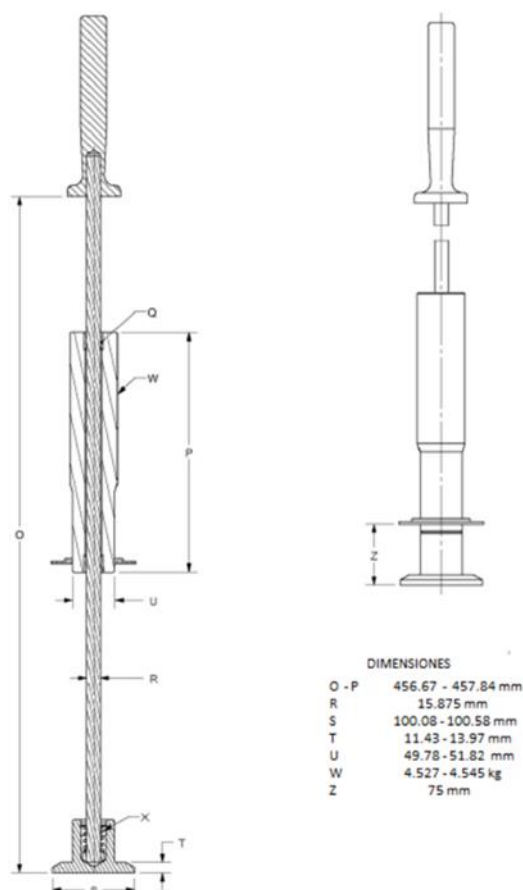
Fuente: (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013, págs. INV E - 748 - 13).

Extractor de probetas.

– Elemento de acero en forma de disco, con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (½") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde con la ayuda del collar de extensión. Se requiere un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta (gato hidráulico o mecánico), sin deformarla durante el proceso de extracción.

Martillos de compactación.

-Mango sostenido manualmente (tipo 1) o fijo (tipo 2) – De operación manual o mecánica. Consisten en dispositivos de acero con una base plana circular de compactación con una articulación de resorte y un pistón deslizante de 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb) de masa total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 ± 1.5 mm (18 ± 0.06 ").

Imagen 20. Martillo de compactación de manejo manual.

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013, págs. INV E - 748 - 13).

Pedestal de compactación.

Pieza prismática de madera de base cuadrada, de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" × 8" × 18"), provista en su cara superior con una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado y 25.4 mm de espesor (12" × 12" × 1"), firmemente sujeta al pedestal. La madera será roble, pino amarillo u otra clase, con una densidad seca de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³).

El conjunto se debe fijar firmemente a una base de concreto mediante soportes en escuadra (imagen 21). El pedestal se debe instalar de manera que la pieza de madera quede a plomo y con la platina de acero en posición horizontal.

Imagen 21. Martillo mecánico de compactación Marshall.

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013, págs. INV E - 748 - 13)

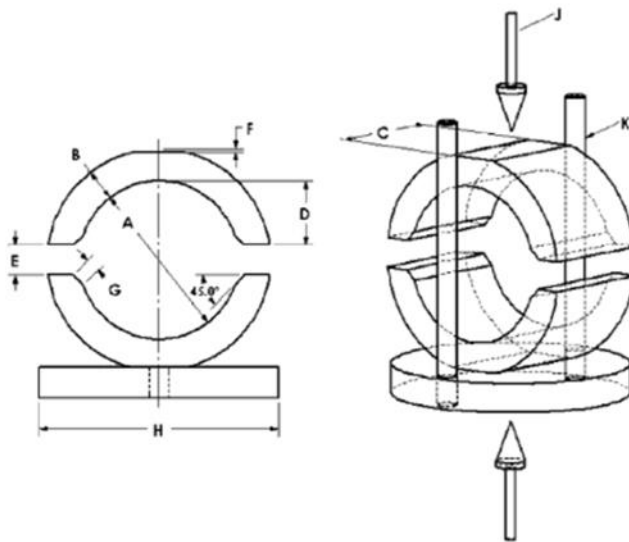
Sujetador para el molde.

– Dispositivo con resorte de tensión, diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. En los equipos que tienen varios compactadores, los sujetadores no se encuentran necesariamente centrados. El sujetador debe sostener en su posición el molde, el collar y la placa de base durante la compactación de la probeta.

Mordazas.

– Consisten en dos segmentos cilíndricos de hierro fundido gris, acero fundido o de tubería de acero recocido. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella (de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro o más), que sirven de guía para ensamblarla con la mordaza superior, sin que queden muy apretadas o sueltas.

El bisel de las mordazas debe ser el que muestra la imagen 22, para evitar resultados erróneos.

Imagen 22. Mordazas.

	mm	in.
A	101.5 to 101.7	3.995 to 4.005
B	21.7 min	0.855 min
C	76.2 min	3.0 min
D	41.15 to 41.40	1.620 to 1.630
E	18.92 to 19.18	0.745 to 0.755
F	2.0 ref	0.08 ref
G	8.89 to 9.09	0.350 to 0.358
H	101.3 min	3.990 min
J	Fuerzas transmitidas a través de una superficie esférica y una plana	
K	Sistema de guía (ni muy apretado ni muy suelto)	

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013, págs. INV E - 748 - 13)

Marco Normativo

Asfalto Reciclado

- Franjas granulométricas Art. 451.

Tabla 7. Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente.

TIPO DE MEZCLA	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	75	63	50	37.5	19.0	9.5	4.75	2.26	0.150
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 100
% PASA									
MAC-75	100	95-100	-	30-70	3-20	0-5	-	-	-
MAC-63	-	100	-	35-70	5-20	-	-	0-5	-
MAC-50	-	-	100	75-90	50-70	-	8-20	-	0-5
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)	5 %							3 %	

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013, págs. 451-2)

Grano de Caucho Reciclado

- Franjas granulométricas Art. 413.

Tabla 8. Distribución de tamaños del grano de caucho reciclado

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)					
	2.38	2.00	1.19	0.59	0.30	0.075
	No. 8	No. 10	No. 16	No. 30	No. 50	No. 200
% PASA						
Tipo A	100	95 - 100	0 - 10	-	-	-
Tipo B	-	100	65 - 100	20 - 100	0 - 45	0 - 5

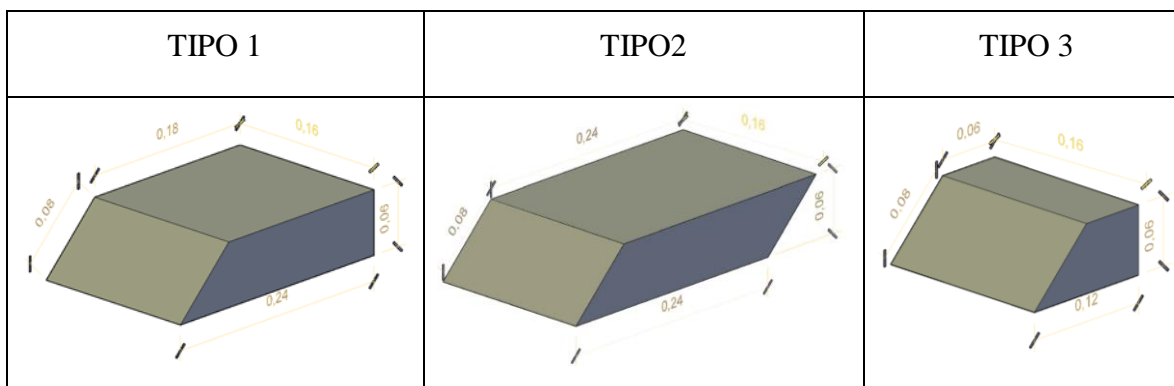
Fuente: (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013, págs. 413-2).

Metodología

Diseño Adoquín

El sistema constructivo AAR, está compuesto por tres tipos de adoquines, A1-Comienzo (24cm x 16cm x 6cm), A2-Desarrollo (24cm x 16cm x 6cm) y A3-Comienzo (12cm x 16cm x 6cm), con una sección de junta oblicua de 8cm x 16cm, la junta mínima entre elementos es de 5 mm y sellada con arena asfalto. Su forma geométrica base es un paralelepípedo oblicuo para el adoquín, de manera que permite una mejor distribución de la carga en el elemento dentro del sistema, haciendo que su junta a 45° disperse la carga en la sección con mayor fragilidad a fractura o fisuramiento, permitiendo que la direccionalidad del esfuerzo cortante dentro del elemento sea paralela a la junta, mitigando el desconfinamiento de los adoquines.

Imagen 23. Tipos de adoquines AAR.



Fuente: elaboración propia.

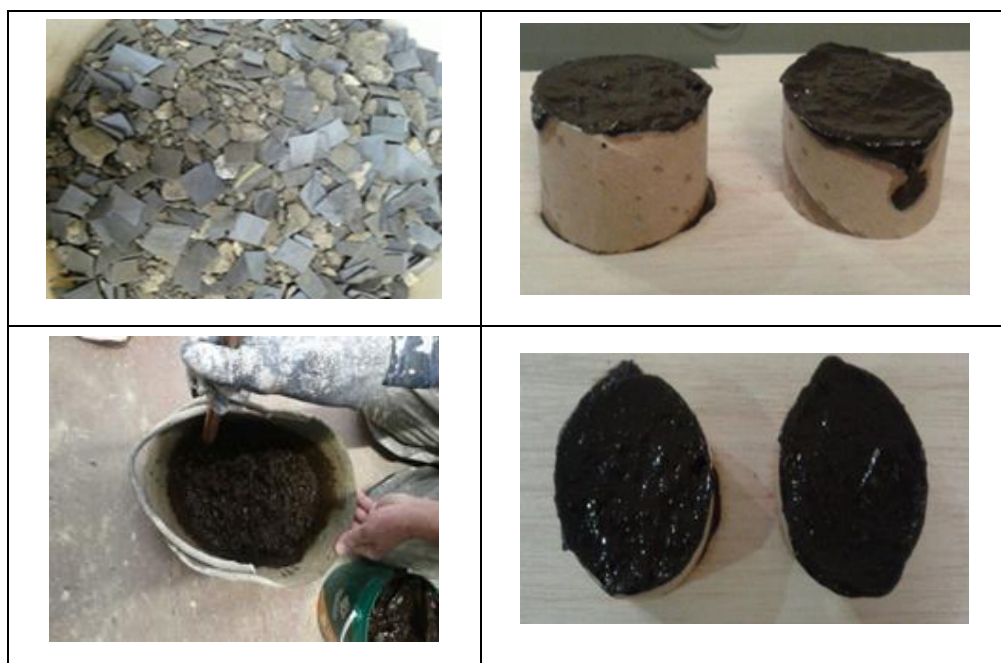
La disposición de los elementos puede ir en hiladas o hileras, o una combinación de las dos; confinados por elementos en concreto fundidos en sitio, como: bordillos y cintas. El acompañamiento de unas buenas prácticas en el proceso de construcción del sendero aminorando el asentamiento diferencial, actual problemática técnica de los senderos peatonales.

Ensayos Preliminares

Elaboración de probetas en frío.

Se realizaron ensayos de elaboración del adoquín de manera artesanal, con emulsión asfáltica en frío. Para ello se mezclaron los insumos (Fresado asfáltico, grano de caucho reciclado, agua y emulsión) en proporciones iguales 1:1:1:1.

Imagen 24. Mezcla de insumos y elaboración de probetas en frío.



Fuente: elaboración propia.

Se elaboró una formaleta en madera a escala real, con medidas de 24 cm X 12 cm X 6 cm y otra con las mismas dimensiones de ancho y largo, y con un menor espesor de 4cm para analizar el comportamiento de cada uno de los adoquines.

Se vertió la mezcla en las formaletas y se fue haciendo compresión (apisonado de forma manual) con el palustre. Por último, se dejó secar a condiciones ambientales para su fraguado y posterior desmolde con supervisión de aristas del adoquín.

Imagen 25. Llenado de formaleta.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la prueba en frío, no fueron los esperados, debido a que los tiempos de fraguado fueron bastante largos, con un promedio aproximado de 40 días en secar y no completamente de forma homogénea, razón por la cual la adhesión entre agregados tampoco sea la adecuada y se desintegre fácilmente.

Por la viscosidad de la emulsión, el adoquín se deforma con facilidad dejando un ahuellamiento muy marcado, logrando desfigurar la forma que se pretendía del elemento.

Los resultados de estos ensayos llevaron a la investigación y búsqueda de métodos de elaboración de mezclas que encaminaran mejor la propuesta y minimizaran la incertidumbre del resultado.

Dosificación de la Mezcla

La metodología propuesta se basa en el método Marshall, cuyo propósito es el de determinar la dosificación óptima de asfalto de acuerdo con una combinación específica de agregados, manteniendo como referencia la curva granulométrica de los materiales, en nuestro caso del asfalto reciclado y del grano de caucho reciclado.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Equipos y Herramientas

Balanza de precisión	Maquina Marshall
Tamices NTC-78	Cubeta de inmersión
Horno	Termómetro
Bandejas, brochas, espátulas,	Formaleta Metálicas
Centrifuga de asfalto	Prensa
Briquetas	
Materiales	
Asfalto reciclado	
Grano caucho reciclado ()	
Agregado fino (Arena pasa tamiz N°200)	
Asfalto liquido	
Grasa (desmoldante)	

Ejecución de los Ensayos**Instalaciones.**

Se utilizaron las instalaciones de los laboratorios de suelos y materiales de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad La Gran Colombia.

Materiales.

Las materias primas utilizadas fueron:

- Asfalto reciclado: 4 cuñetes recogidos de botadero - vía Siberia/Cota.
- Grano caucho reciclado: Se compró 1 bulto de 50 kilos, tamaño 0,5 micra granular ya procesado
- Arena de peña: 1 bulto para tamizar
- Asfalto liquido: ½ Galón

Procedimiento.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Granulometría de los agregados.

Se determinó la granulometría, tanto del asfalto reciclado, como del grano caucho reciclado, clasificándolos según el tamaño de los diversos tamices. Para ello se calentó a 60°C el asfalto reciclado de modo que se pudiera segregar con la mano para posterior tamizaje.

Imagen 26. Proceso de tamizaje.

Segregación de asfalto reciclado (calor y forma manual)		Tamizaje de 1200 gr asfalto reciclado y 1200 Tamices (200, 100, 80, 40, 10, 4)																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">TAMIZ</th> <th colspan="2">% RETENIDO</th> </tr> <tr> <th>FRESADO</th> <th>GCR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>9,309</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,753</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° 04</td> <td>21,8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° 10</td> <td>20,362</td> <td>6,76</td> </tr> <tr> <td>N° 40</td> <td>18,343</td> <td>87</td> </tr> <tr> <td>N° 80</td> <td>10,619</td> <td>5,86</td> </tr> <tr> <td>N° 100</td> <td>3,832</td> <td>0,22</td> </tr> <tr> <td>N° 200</td> <td>5,645</td> <td>0,14</td> </tr> </tbody> </table>	TAMIZ	% RETENIDO		FRESADO	GCR	1/2"	9,309		3/8"	9,753		N° 04	21,8		N° 10	20,362	6,76	N° 40	18,343	87	N° 80	10,619	5,86	N° 100	3,832	0,22	N° 200	5,645	0,14			
TAMIZ		% RETENIDO																														
	FRESADO	GCR																														
1/2"	9,309																															
3/8"	9,753																															
N° 04	21,8																															
N° 10	20,362	6,76																														
N° 40	18,343	87																														
N° 80	10,619	5,86																														
N° 100	3,832	0,22																														
N° 200	5,645	0,14																														







Fuente: elaboración propia.

Concentración de asfalto en fresado.

El asfalto reciclado, por ser un material proveniente de levantamientos de capas asfálticas deterioradas o mantenimientos viales contiene un porcentaje de asfalto, el cual debe ser identificado, aunque se encuentra fatigado, es necesario determinarlo para poder cuantificarlo en el momento de plantear la mezcla idónea.

Para esto se tomó una muestra del asfalto (1200Gr) precalentado a 130°C, este se mezcló con gasolina y se colocó en la maquina centrifuga la cual extrajo el asfalto de los agregados

Imagen 27. Centrifugado de asfalto.




1. Calentamiento fresado	2. Peso fresado antes centrifugado	3. Peso filtro antes centrifugado
		
4. Mezcla con gasolina	5. Extractor	6. Proceso repetitivo hasta destilación clara
		

Fuente: elaboración propia.

Por diferencia de pesos se pudo cuantificar la cantidad de asfalto de la mezcla. El agregado que quedo del centrifugado se lavó con agua y jabón y junto con el filtro se llevó al horno por 24 horas, para finalmente pesarlos.

Se obtuvo como resultado que la mezcla de asfalto reciclado contenía un 4,3 % de asfalto.

Imagen 28. Porcentaje de asfalto.

Separación de asfalto de material granular	Lavado y secado de material granular
	
Pesado de filtro y material granulado seco	% asfalto por diferencia de pesos
	

Fuente: elaboración propia.

Análisis y Resultados

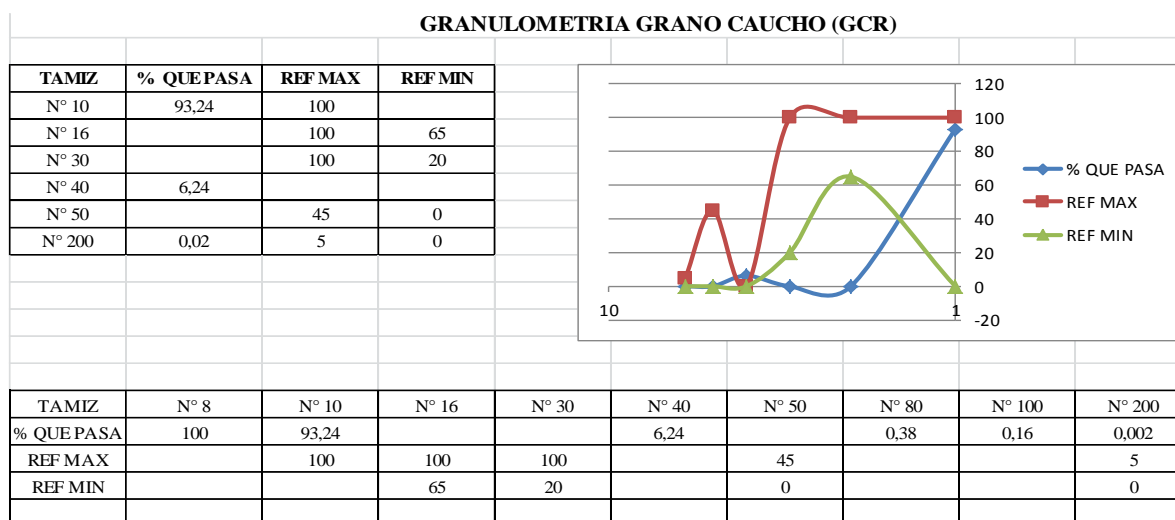
Resultados de granulometrías.

De acuerdo, a las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías, INVIAS, 2013), los valores predeterminados como referencias máximas y mínimas que deben cumplir el grano caucho reciclado y el asfalto reciclado, para satisfacer las necesidades mecánicas, químicas y físicas de las muestras, según su granulometría, respectivamente se encuentran en el Art. 413 y en el Art. 451. Por tal razón, y según los resultados obtenidos se busca que los materiales utilizados en el ensayo se encuentren no muy desfasados de estos márgenes. Como se observa en las tablas siguientes, aunque hay puntos

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

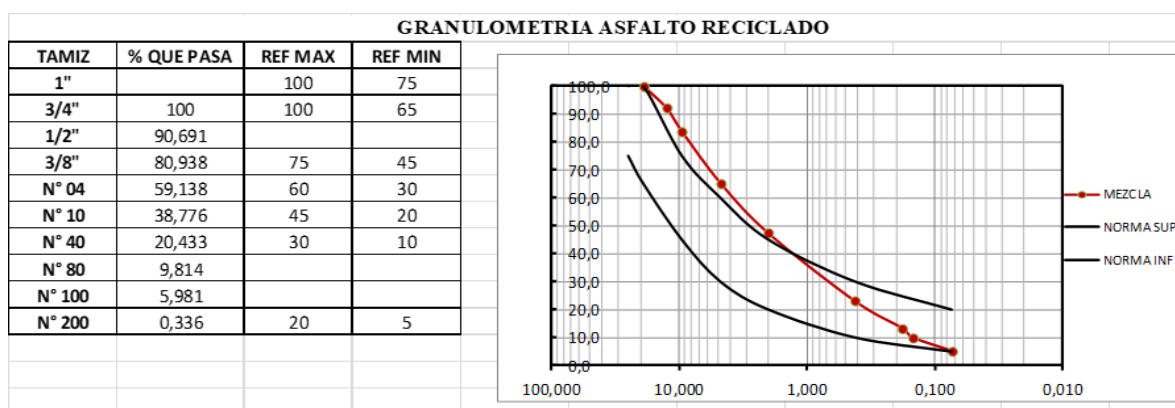
donde se desproporciona del rango debido a que los siguientes tamices no tienen paso granulométrico; en otros se mantiene acorde a lo establecido. A través de pruebas de ensayo y corroboración se varió el porcentaje de cada elemento en búsqueda de plantear la mezcla que mejor se ajuste a los rangos preestablecidos. Los resultados que se obtuvieron de la granulometría de cada uno de los materiales fueron:

Tabla 9. Granulometría grano caucho reciclado.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Granulometría asfalto reciclado.



Fuente: elaboración propia.

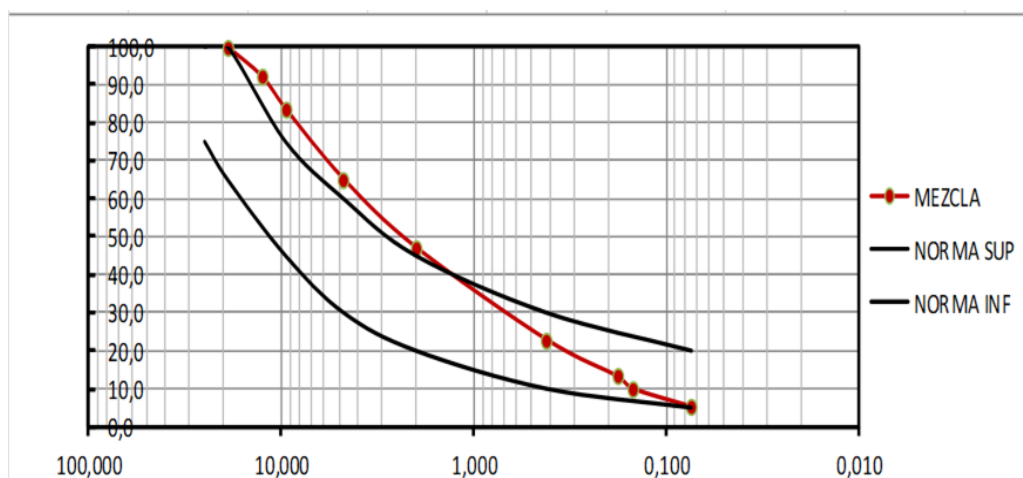
Las mezclas que se ajustaron de mejor forma a las franjas granulométricas guías fueron:

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO "CGR"

Tabla 11. Cálculos de ajuste de mezcla no. 1.

MEZCLA BRIQUETA 1				
	%	PESO		PESO TOTAL
BRIQUETA		1200		MATERIAL
FRESADO	0,85	1020		3060
GRANO	0,1	120		360
FINOS	0,05	60		180
	1	1200		

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 4. Ajuste de mezcla no. 1.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Tabla de cálculos de ajuste de mezcla no. 1.

TAMIZ	% RETENIDO		% ENSAYO		% ENSAYO/100		1200	1200	PESO PROBETA
	FRESADO	GCR	50 F	50 G					
			50%	50%					
1/2"	9,309		4,6545		0,046545		55,854		
3/8"	9,753		4,8765		0,048765		58,518		
N° 04	21,8		10,9		0,109		130,8		
N° 10	20,362	6,76	10,181	3,38	0,10181	0,0338	122,172	40,56	
N° 40	18,343	87	9,1715	43,5	0,091715	0,435	110,058	522	
N° 80	10,619	5,86	5,3095	2,93	0,053095	0,0293	63,714	35,16	
N° 100	3,832	0,22	1,916	0,11	0,01916	0,0011	22,992	1,32	
N° 200	5,645	0,14	2,8225	0,07	0,028225	0,0007	33,87	0,84	
			49,8315	49,99	0,498315	0,4999	597,978	599,88	1197,858

Fuente: elaboración propia.

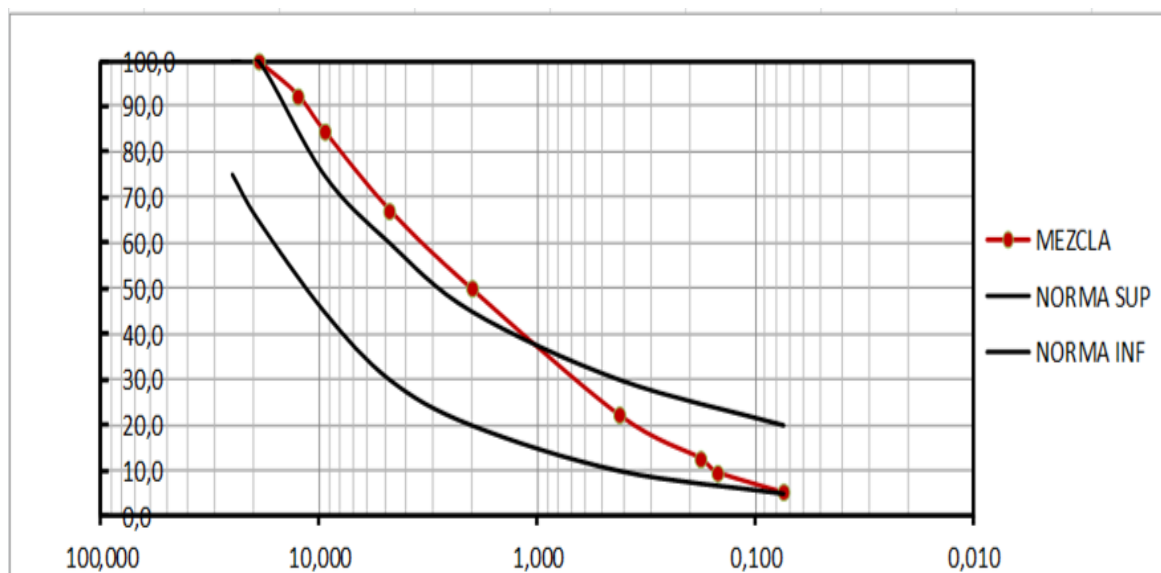
ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO "CGR"

Tabla 13. Cálculos de ajuste de mezcla no. 2.

MEZCLA BRIQUETA 2				
	%	PESO		PESO TOTAL MATERIAL
BRIQUETA		1200		2880
FRESADO	0,8	960		540
GRANO	0,15	180		180
FINOS	0,05	60		
	1	1200		

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 5. Ajuste de mezcla no. 2.

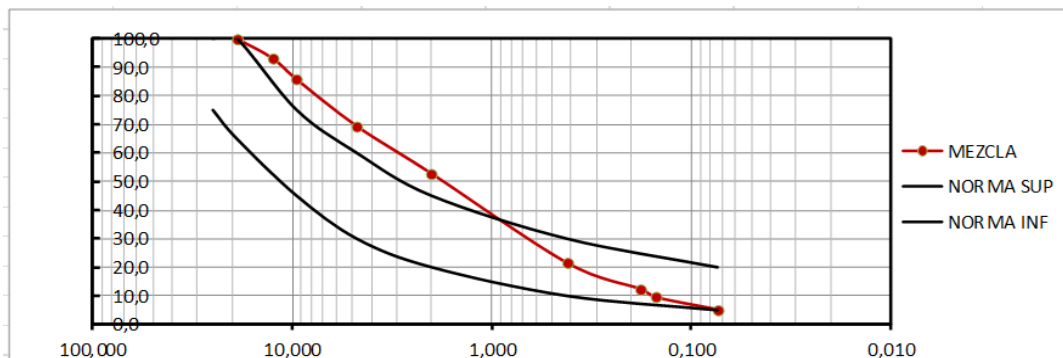


Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Cálculos de ajuste de mezcla no. 3.

MEZCLA BRIQUETA 3					
	%	PESO	PESO TOTAL MATERIAL	TOTAL	
BRIQUETA		1200		3060	
FRESADO	0,75	900	2700	360	180
GRANO	0,2	240	720		
FINOS	0,05	60	180		
ASFALTO					
	1	1200			

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 6. Ajuste de mezcla no. 3.

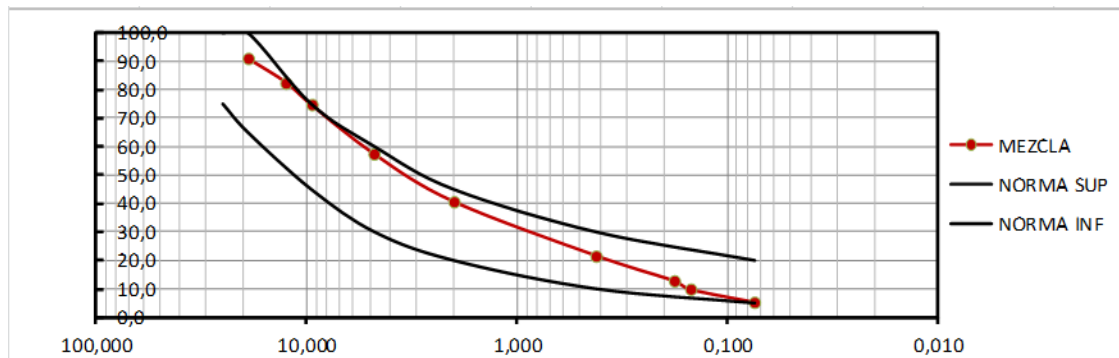
Fuente: elaboración propia.

El resultado de estas primeras briquetas evidenció la falta de adhesión entre las partículas, se desconfinaba con solamente manipular lo mampuestos, lo que llevo a elevar los niveles de asfalto a un 5%. Con este planteamiento la briketa quedaba de la siguiente manera:

Tabla 15. Cálculos de ajuste de mezcla no. 4.

MEZCLA BRIQUETA No 5			
	%	PESO	PESO TOTAL
BRIQUETA		1150	
FRESADO	85	977,5	2932,5
GRANO	5	57,50	172,5
FINOS	5	57,50	172,5
ASFALTO	5	57,50	
	100		

Fuente: elaboración propia

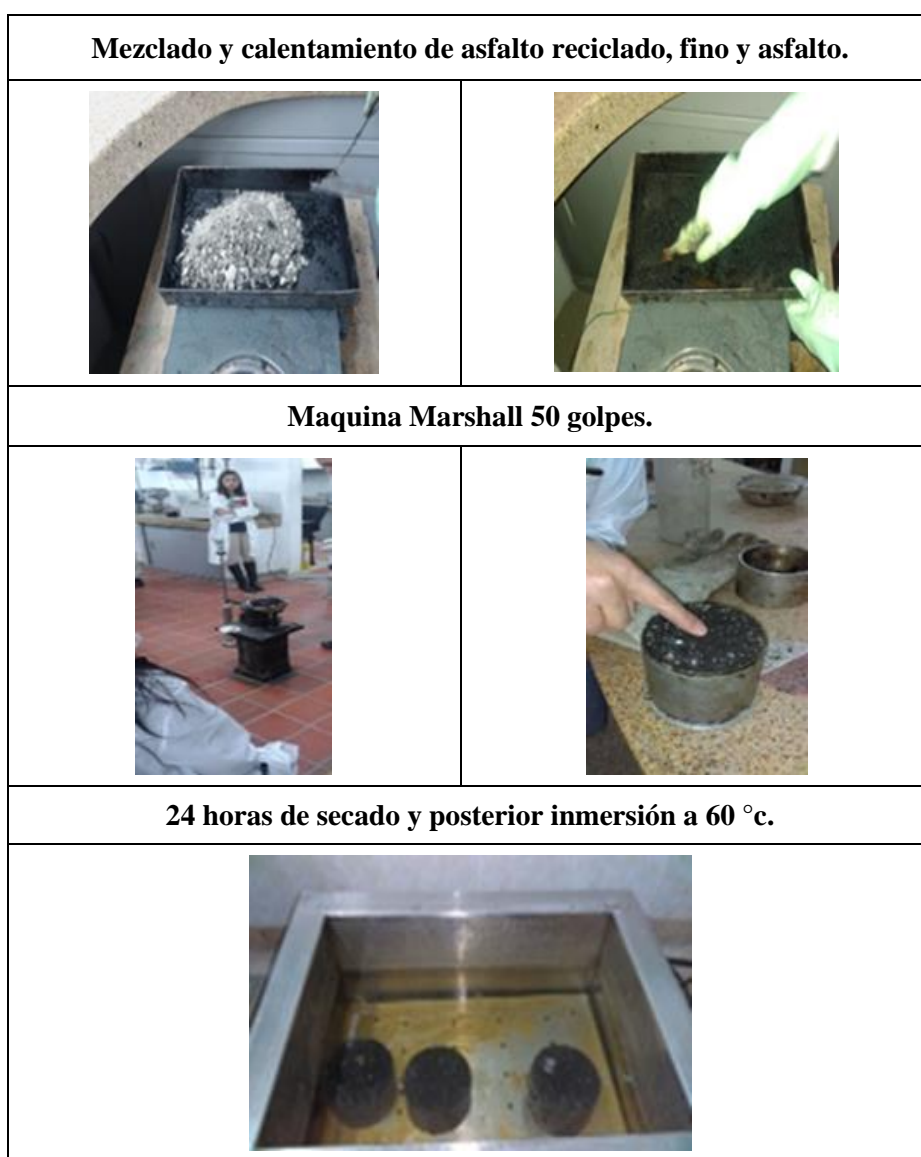
Gráfica 7. Ajuste de mezcla no. 4.

Fuente: elaboración propia

Elaboración briquetas.

Se cuantificaron los pesos de cada material descritos en la tabla No 9. Se mezcló el asfalto junto con el agregado fino y se llevó al horno hasta alcanzar 130°C. Por otra parte, se mezcló con el asfalto caliente. Luego en una bandeja se llevó a cocción y se mezclaron todos los elementos, una vez homogenizados se colocó en la briqueta la cual fue compactada en la maquina Marshall, con 50 golpes por cada cara de la briqueta. Se dejó 24 horas y se desmoldo.

Imagen 29. Proceso de elaboración de briquetas.



Fuente: elaboración propia

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Luego, se sometió a baño maría en cubetas de inmersión, allí se llevaron a una temperatura de 60 °C, a fin de tenerlas en las condiciones más adversas para llevarlas a la prueba de estabilidad y flujo. Finalmente se toman las medidas a las briquetas y los pesos. Se colocan en la máquina que determinara la falla de las probetas.

Imagen 30. Prueba de estabilidad y flujo.

Nota: Se coloca la probeta entre las dos (2) mordazas de la prensa hasta que falle por compresión y se mide la deformación. Los resultados arrojan mezcla óptima 5% Asfalto, 5% GCR, 5% Fino, y 85% Fresado. Resistencia 6,96 KN. Con estos porcentajes se fabrican los A.A.R. Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Resultados de briquetas

RESULTADOS DE BRIQUETAS PRINCIPALES			
BRIQUETA No	1	2	3
ASFALTO RECICLADO%	84,33	80	85
GCR%	9,33	10	5
AGREGADO FINO %	4,33	5	5
ASFALTO %	2	5	5
ASFALTO RECICLADO (Gr)	1011,96	920	977,5
GCR (Gr)	111,96	115	57,5
AGREGADO FINO (Gr)	51,96	57,5	57,5
ASFALTO (Gr)	24	57,5	57,5
DIAMETRO ANTES FALLAR (Cm)	10,05	10,3	9,9
ALTURA ANTES FALLAR (Cm)	8,50	8,6	7,4
PESO ANTES DE INMERSION (Gr)	1200	1150	1150
PESO 24 HORAS DESPUES Gr	1147,6	1120	1113,9
RESISTENCIA KN	3,8	3,47	6,98
DEFORMACION mm	10,36	10,5	5,8

Fuente: elaboración propia.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Es posible establecer la densidad de la probeta idónea, con la siguiente ecuación:

- $D = m / v$, donde m es la masa y v el volumen.

Se calcula el volumen de la probeta:

- $V = \Pi \times (4,95)^3 \times 7,4$; $V = 569,62 \text{ Cm}^3$

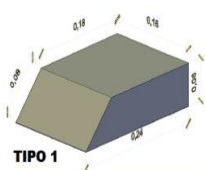
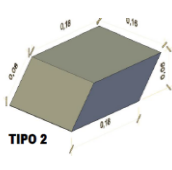
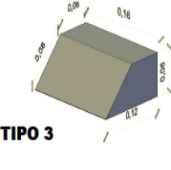
Ahora se puede determinar la densidad de la probeta guía:

- $\text{Densidad} = 1113,9 \text{ Gramos} / 569,62 \text{ Cm}^3$; $\text{Densidad} = 1,95 \text{ Gr} / \text{Cm}^3$ determinación de componentes por tipo de adoquín.

Se puede hallar la cantidad de mezcla de cada formaleta a fundir a partir de la densidad de la probeta idónea. Para ello se calculan los volúmenes de las formaletas.

- $\text{Peso de cada formaleta} = \text{Densidad briqueta idónea} \times \text{volumen}$

Tabla 17. Peso por tipo de adoquín

FORMALETA	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
GRAFICO			
VOLUMEN (Cm ³)	2016	2304	864
DENSIDAD PROBETA GUIA (Gr/Cm ³)	1,95		
PESO DE CADA FORMALETA Gr	3931,2	4492,8	1684,8
5% DE ASFALTO Gr	196,56	224,64	84,24
5% DE GCR Gr	196,56	224,64	84,24
5% DE AGRAGADO FINO Gr	196,56	224,64	84,24
85% DE ASFALTO RECICLADO Gr	3341,52	3818,88	1432,08

Fuente: elaboración propia.

El proceso de fabricación de los adoquines es el mismo realizado para la producción de probetas,

Imagen 31. Adoquín de caucho.

Fuente: elaboración propia.

Costos Directos

El precio que se estima para AAR S.A.S es la resultante de los costos de los materiales acorde a la inclusión de estos por elemento, teniendo presente que el valor de kilogramo de GCR esta aprox. \$300 y viaje de 6m3 de asfalto fresado en \$210.000, a estos costos se le adiciona los gastos de producción, mano de obra y administrativos.

A.P.U producción de A.A.R.

Tabla 18. Costos de materiales requeridos en el proceso de fabricación.

Producto	Unidad	Insumos requeridos			
		Cantidad	Precio	Precio unitario	Precio unitario en gr
Fresado Asfaltico	Kg	9.000	210.000	23	0,023
GCR	Kg	50	15.000	300	0,300
Asfalto	gr	3.750,00	8.750	2,3	2,900
Agregado Fino	Kg	50	14.700	294	0,294

Fuente: elaboración propia.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Datos:

- Fresado asfáltico viaje de 9 toneladas a \$210.000 se convirtió a kg
- Asfalto galón de 3,75 kg se convirtió a gramos para cálculos

*Se estima que un operario fabrica 320 adoquines en turno de 8 horas

Precio de adoquines.

Tabla 19. Costos de materiales para el proceso de adoquín no. 1.

Insumos de adoquín tipo 1 (90 grados)						
Producto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	Mano de obra/unid	Incremento de venta 100%
Fresado Asfáltico	Gr	3.358,70	0,023	78		
GCR	Gr	197,5	0,3	59	90	1479,87
Asfalto	Gr	197,5	2,3	454		
Agregado Fino	Gr	197,5	0,294	58		
Total		3.951,200		649	739,934	
Precio Incremento Del 100%						1479,87

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Costos de materiales para el proceso de adoquín no. 2.

Insumos de adoquín tipo 2 (adoquín medianero)						
Producto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	Mano de obra/unid	Incremento de venta 100%
Fresado Asfáltico	Gr	3.838,40	0,023	90		
GCR	Gr	225,7	0,3	68	90	1665,48
Asfalto	Gr	225,7	2,3	519		
Agregado Fino	Gr	225,7	0,294	66		
Total		4.515,50		743	832,738	
Precio De Venta						1665,48

Fuente: elaboración propia

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Rendimiento de producción 650 medios en turnos de 8 horas.

Tabla 21. Costos de materiales para el proceso de adoquín no. 3.

Insumos de adoquín tipo 3 (medio adoquín)						
Producto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	Mano de obra/unid	Incremento de venta 100%
Fresado Asfáltico	Gr	1.439,5	0,023	34		
GCR	Gr	84,670	0,300	25	45,00	
Asfalto	Gr	84,670	2,300	195		647,25
Agregado Fino	Gr	84,670	0,294	25		
Total		1.693,480		279	323,623	
Precio Incremento Del 100%						647,25

Nota: Estimado de costos operativos, administrativos y financieros. Fuente: elaboración propia.

Tabla 22. Precio de instalación de AAR, de acuerdo a especificaciones técnicas.

Estimado de precio (M²)				
Proceso	Especificación	Unidad	Valor	Total
Mejoramiento de sub-rasante	15 cm de espesor en recebo B600	M ³	\$ 33.000	\$ 33.000
Geotextil	TI400 rollo 120 M y ancho 3,50	M ²	\$ 1.546	\$ 34.546
Subbase	10 cm de espesor en recebo B200	M ³	\$ 45.000	\$ 79.546
Base	10 cm de espesor en recebo B400	M ³	\$ 45.000	\$ 124.546
Emulsión asfáltica	De rompimiento lento		\$ 7.500	\$ 132.046
Bordillo	10 cm de espesor y 6,5 cm profundidad concreto de 3000 PSI	ML	\$ 32.967	\$ 165.013
Cinta	10 cm de espesor y 6,5 cm profundidad concreto de 2000 PSI	ML	\$ 49.097	\$ 214.110
Adoquines	24 adoquines según tipología	Unidad	\$ 29.700	\$ 243.810
Transporte de adoquines	Transporte		\$ 9.500	\$ 253.310
Equipo	Compactadora	Día	\$ 42.000	\$ 295.310
Total (aproximado)			\$ 295.310	\$ 1.575.237

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Los resultados de laboratorio han evidenciado una tolerancia de hasta 10% en la inclusión de grano caucho reciclado GCR, dentro de la composición del adoquín, más al comparar su resistencia a la compresión, por medio de la prueba de estabilidad y flujo, permitió estimar que la inclusión del 5% de GCR, es la mejor, permitiendo un buen comportamiento elástico con una resistencia a la compresión de 709.82 kgf/cm², de manera que mitiga el agrietamiento del elemento al ser sometido a cargas puntuales y dinámicas, mejorando de forma directa las propiedades reológicas (no fisura a baja temperaturas, ni se deforma a altas) y resistencia a la humedad.

Su forma de paralelepípedo oblicuo permite transmitir las cargas adecuadamente, al verse sometido a una fuerza en diagonal, permitiendo una mejor distribución de carga en el elemento dentro del sistema, disminuyendo su resistencia al desconfinamiento, para efectos de elaboración y manipulación no es la adecuada, ya que en la zona pendiente presenta fragilidad a la fractura. El adoquín Tipo 2, presenta un peso promedio de 3.6 Kg, el cual es superior en comparación al adoquín en arcilla (1.4 a 2.6 Kg) y en concreto (2.4 a 3.5 Kg), debido a que AAR tiene mayor volumen acorde a sus dimensiones en comparación con los tradicionales.

Su precio a la venta es de Tipo 1 (\$ 1479.87), Tipo 2 (\$ 1665.48) y Tipo 3 (\$647.25), se encuentran por encima de los adoquines en arcilla (\$300 -\$780) y concreto (\$700 -\$1300), más al realizar la comparación por rendimiento de metro cuadrado el material estimado alcanza un precio para adoquín en concreto de \$65.000, en arcilla de \$26.520 y en AAR S.A.S. de \$40.000, demostrando que los adoquines en asfalto reciclado y GCR son competitivos en el mercado.

Bibliografía.

- Alvarez Pabón, J. (s.f.). *Estabilización de subrasantes*. Obtenido de http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/Estab.Doc.Colombiano,varios%20insumos,Cal.2010-F_Upload.pdf
- Aristizábal, P., & Redacción Bogotá. (23 de Dic de 2016). Más de 11.000 llantas usadas fueron retiradas de calles y humedales de Bogotá. *El Espectador*, pág. En línea. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/mas-de-11000-llantas-usadas-fueron-retiradas-de-calles-articulo-671827>
- Cueva del Ingeniero Civil. (2010). *Metodo Marshall de diseño de mezclas*. Recuperado el 10 de 2015, de <http://www.cuevadelcivil.com/2010/04/metodo-marshall-de-diseno-de-mezclas.html>
- EcuRed. (s.f.). *Adoquín*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Adoquín>
- Fermin, K. (2016). *Tecnologías verdes para la ingeniería vial: usos inteligentes del material fresado*. Obtenido de http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=31
- Gonzalez Salcedo, L. (2008). *Conceptos generales sobre los agregados*. Obtenido de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/materiales/pdf/cap6/amplia/conceptos%20generales%20agregados.pdf>
- Instituto colombiano de normas técnicas, ICONTEC. (2004). *NTC 3829. Adoquín de arcilla para tránsito peatonal y vehicular liviano*. Bogotá: ICONTEC.
- Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2005). *Mejoras mecánicas de mezclas asfálticas en desechos de llantas*. Bogotá, Colombia: IDU. Obtenido de

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO "CGR"

https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjPjfn_s-TYAhXDtlMKHfCBC9QQFgguMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.idu.gov.co%2Fweb%2Fcontent%2F7461%2Fmejoras_mecanicas_mezclas_asfalticas_desechos_llantas_segunda.pdf&usg=

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2007). *Guía practica de la movilidad peatonal: una cartilla para todos los peatones*. Bogota: Alcaldía Mayor de Bogotá. Obtenido de <http://www.pactodeproductividad.com/pdf/guiageneralsobreaccesibilidad.pdf>

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (s.f.). *Fresado de pavimentos asfálticos*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/web/content/7629/540-11.pdf>

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (s.f.). *Sección 400-11. Capas granulares de base y subbase*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/web/content/7610/400-11.pdf>

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (s.f.). *Sección 560-11. Mezclas asfálticas en caliente con asfaltos modificados con caucho por vía*. Obtenido de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj0keC4luTYAhVN21MKHVgKCuUQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.gerconscolombia.com%2Findex.php%2Fcompania%2Fnormatividad.html%3Fdownload%3D1%3Areciclaje-de-llantas&usg=AO>

Instituto Nacional de Vías, INVIAS. (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras*. Recuperado el 10 de 2015, de <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

Interlocking Concrete Pavement Institute "icpi". (07 de 2006). *Bordillo*. Obtenido de http://www.icpi.org/sites/default/files/7th_edition-Section_6-SPANISH.pdf

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Ladino, B., & Rubiano, A. (Agosto de 2015). Anden. Bogotá D. C.

Landaeta, H. (2017). *Construcción de pavimentos asfálticos. Módulo 15*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/HenryLandaeta/construccin-de-pavimentos-asflticos>

Maccaferri. (2015). *Brochure – BR – Refuerzo y estabilización de suelos – SP – Feb21*. Obtenido de <https://www.maccaferri.com/br/es/download/brochure-br-refuerzo-y-estabilizacion-de-suelos-sp-feb21/>

Mantenimiento Autopista sur. (2011). *Colocación base granular*. Obtenido de <http://mantenimientoautopistasur.blogspot.com.co/2011/07/colocacion-base-granular.html>

Metalobra. (2016). *Molde bloque símil piedra*. Obtenido de <http://www.metalobra.com/inicio/portfolios/molde-bloque-simil-piedra/>

Presidencia de la República de Colombia. (16 de junio de 2003). *Decreto 1660. Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y en especial de las personas con discapacidad*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8799>

Presidencia de la República de Colombia. (17 de mayo de 2005). *Decreto 1538. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 361 de 1997*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16540>

Reyes Ortiz, O. J. (jul/dic de 2009). Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. *Ingeniería y Desarrollo*(26), 139-155. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612009000200010&lng=en&tlng=es.

ADOQUINES EN ASFALTO RECICLADO Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO “CGR”

Saucedo, M. A. (2010). *Caso No. 10: Simulación de estructuras (Parte II)*. Obtenido de <http://pisis-msaucedo.blogspot.com.co/2010/03/>

Secretaria Distrital de Ambiente. (s.f.). *Resumen ejecutivo. Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Santa Fe de Bogotá*. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>

Secretaría Distrital de Planeación. (2015). *Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.* Obtenido de http://www.sdp.gov.co/imagenes_portal/documentacion/Cartilla_Andenes_Publicacion.pdf

Tonda, M. (s.f.). *Asfaltos Modificados con Polímeros*. Colombia: <http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml#BIBLIO>.

Universidad de Los Andes. (2005). *Segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba*. Obtenido de https://www.idu.gov.co/web/content/7461/mejoras_mecanicas_mezclas_asfalticas_desechos_llantas_segunda.pdf