



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1704



USO DEL ADOQUÍN EN ASFALTO Y GRANULADO DE LLANTAS RECICLADAS - GRC EN EL PARCHEO DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE PITALITO - HUILA

YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ

WILSON ARIAS ROJAS PhD

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN
ARQUITECTURA E INGENIERÍA
NEIVA 2021



TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
Lista De Tablas.....	6
INTRODUCCIÓN	17
ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	18
Inicio de Pavimento Articulado.....	36
Partes de un Pavimento Articulado	40
Capa de Conformación	41
Arena (17 Documento Diseño de pavimento articulado)	41
Partes del pavimento en adoquín	43
Aplicaciones del adoquín	46
Granulo de Caucho de Llantas Usadas.....	47
Proceso de Producción del Polvo o Granulado de Caucho	49
Proceso Constructivo:	54
Diseño de Mezclas Asfálticas Método Marshall	58
Efecto del asfalto en la estabilidad (cantidad de asfalto).....	60
Características del asfalto.....	60
Efecto del Agregado en la Estabilidad:.....	60
Tipo de Agregado.....	61
La Gradación:	61
Llenante Mineral (Filler).....	61
Porcentaje de Vacíos.....	61
Efecto de la Densidad de la Mezcla en la Estabilidad.....	62
Durabilidad	62
Cantidad de Asfalto en la Mezcla	63



Métodos de Diseño	63
Metodología El método original de Marshall.....	65
Planteamiento del Problema	69
OBJETIVOS	70
Objetivo General	70
Objetivos Específicos	70
HIPÓTESIS	72
ALCANCES Y LIMITACIONES	73
Enfoque del Estudio Experimental.	74
Procedimiento del Estudio Experimental.....	74
Plan de Trabajo	75
Presupuesto	76
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	79
Diseño de la Mezcla en Laboratorio.....	80
Fabricación de la mezcla asfáltica.....	81
Caracterización geotécnica del tramo de prueba.....	87
Diseño del Tramo de Parcheo	88
<i>Construcción de la Losa</i>	89
Proceso Constructivo.....	91
Desempeño del Tramo de Prueba	94
Lectura de vehículos que transitan por el lugar	95
Análisis de costos y presupuestos	99
Costos de producción adoquín tipo 1	99
Costos de instalación de Pavimento Articulado	100
Procedimiento formal para la rehabilitación de vías con adoquín en asfalto	103
Consideraciones de la estructura y materiales del pavimento.....	104
Descripción de los elementos principales de la estructura.....	104



Espesores para bases granulares.....	105
Capa de Rodadura.....	105
Cama de arena de asiento	106
Espesor cama de arena de asiento.....	106
Granulometría para la cama de arena de asiento	106
Procedimiento de Instalación	107
Construcción de la Base y Subbase	108
Confinamiento.....	108
Construcción de la Cama de Arena de Asiento	109
Uniformidad de la Superficie	110
Proceso de instalación de los adoquines	111
Instalación de los Adoquines.....	112
Compactación Inicial.....	113
Instalación de Arena de Sello o Sellado de Juntas	113
Compactación Final y Limpieza	114
Mantenimiento preventivo para el buen funcionamiento	114
Remoción de los Adoquines.....	115
CONCLUSIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118



Lista de Figuras

Figura 1	29
Figura 2	30
Figura 3	60
Figura 4	61
Figura 5	79
Figura 6	98
Figura 7	105
Figura 8	105
Figura 9	107
Figura 10	107
Figura 11	108
Figura 12	109
Figura 13	110
Figura 14	111
Figura 15	112
Figura 16	113
Figura 17	114
Figura 18	115
Figura 19	118
Figura 20	135



Lista De Tablas

Tabla 1	30
Tabla 2	36
Tabla 3	41
Tabla 4	45
Tabla 5	48
Tabla 6	51
Tabla 7	52
Tabla 8	64
Tabla 9	65
Tabla 10	68
Tabla 11	80
Tabla 12	82
Tabla 13	93
Tabla 14	95
Tabla 15	100
Tabla 16	110
Tabla 17	112
Tabla 18	116
Tabla 19	117
Tabla 20	119
Tabla 21	120
Tabla 22	122
Tabla 23	127



GLOSARIO

ADOQUÍN:	Es una pieza prefabricada de diferentes formas e incluso materiales (concreto, arcilla, asfalto) utilizados en la construcción de pavimentos estructurados. (NTC 2017).
ASFALTO:	Mineral negro de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo también denominado betún o chapopote, es la mezcla de brea, que es un material viscoso, pegajoso y de color plomo con arena o gravilla, para pavimentar caminos y como revestimiento impermeabilizante de muros y tejados.
AGREGADO;	Material granular duro de composición mineralógica como la grava, arena, roca etc. usado para mezclar en diferentes tamaños.
AGREGADO GRUESO:	Porción del agregado retenido en el tamiz del 4,7 mm (No. 4)
AGREGADO FINO:	Porción del agregado comprendido entre los tamices 4.5 mm y 75 um.
ALCANTARILLA:	Estructura para evacuar agua y se encuentra por debajo de la subrasante de obras viales.
BACHE:	Un bache es un agujero o desnivel en la superficie de un camino o carretera, generalmente producido por el uso excesivo de la vía.



- BASE:** Es la capa de material que se construye sobre la base. Los materiales con los que se construye deben ser de mejor calidad que los de la subbase y su función es la de tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos.
- BERMA:** Área de la carretera que sirve de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento vehicular.
- BALASTRO:** Una capa superficial de material selecto, granular, agregado triturado y es instalado en la subrasante con el objeto de servir como superficie de rodadura.
- CAPA DE RODADURA:** En el caso de los pavimentos flexibles, está constituida por un material pétreo, al que se adiciona un producto asfáltico que tiene por objeto servir de aglutinante. Esta capa transmite las cargas inducidas por el tráfico hacia la capa de base en la que se apoya, además que provee una superficie adecuada para el rodamiento del tráfico.
- CALZADA:** Parte de la carretera destinada a la circulación vehicular con medidas para acomodar carriles para el movimiento de este.
- OCBR** Es común usar la prueba de CBR (California Bearing Ratio)
- CARRETERA, CALLE**
- O CAMINO:** Un calificativo que designa una vía pública a fines de tránsito de vehículos e incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de la vía.



CARRETERAS O VÍAS

PRIMARIAS:

Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto

CARRETERAS O VÍAS

SECUNDARIAS:

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como secundarias pueden funcionar pavimentadas o en sentido afirmativo. 2.12 Carreteras o Vías Terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como terciarias funcionan en general en afirmado. 2.13 Carril: Es la franja longitudinal de una calzada, con ancho suficiente para la circulación segura y confortable de una sola fila de vehículos terrestres automotores.

2.14 Ciclovía: Vía o sección de calzada destinada ocasionalmente para el tránsito d

CICLORRUTA:

Es la calzada destinada de manera permanente a la circulación de bicicletas, ubicada en el andén, el separador o segregada de la calzada vehicular o en otros lugares autorizados, debidamente señalizada y delimitada. 2.16 Concreto Asfáltico: Es el material resultante de la mezcla de cemento asfáltico convencional y/o modificado y agregados pétreos. 2.17 Concreto Hidráulico: Es el material resultante de la mezcla de cemento portland, agua y agregados pétreos. 2.18 Concreto Hidráulico Reforzado: Es el material resultante de la mezcla de cemento portland, agua, agregados pétreos y/o aditivos y acero de refuerzo.



SEÑALIZACIÓN:

Conjunto de señales destinadas a regular el tránsito. Dichas señales pueden ser señales verticales y señalización horizontal o demarcaciones. 2.90 Señalización Vertical:

Dispositivos físicos que indican la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías; se instalan para transmitir órdenes o instrucciones mediante palabras o símbolos. 2.91 Separador: Franja de una vía dispuesta en forma longitudinal y paralela al eje de la misma, que separa y canaliza flujos de circulación. Pueden ser centrales y laterales o intermedios. 2.92 Subsistema Vial: Es uno de los subsistemas que componen el sistema de movilidad y que está a su vez conformado por los siguientes componentes: Malla vial arterial, malla vial intermedia, malla vial local, alamedas y pasos peatonales, red de ciclorrutas y corredores de movilidad local, malla vial rural. 2.93 Taller Férreo: Edificio o edificios especializados para la atención

DAÑOS:

Desperfectos ocurridos en la carretera debido a la usabilidad y clima.

DEFLEXIÓN:

El desplazamiento vertical proveniente de la aplicación de cargas a la rueda de vehículos.

FILLER:

(Término en inglés), son sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en él, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia. Usualmente son sustancias minerales; materiales orgánicos tales como madera o corcho, raramente se utilizan. También se conocen como relleno.

GRC:

Grano de caucho reciclado. Se obtiene a partir de la trituration del caucho obtenido de las llantas usadas desechadas de vehículos de transporte. Está compuesto por caucho



vulcanizado proveniente de la trituración mecánica y separación de materiales de las llantas usadas, no es tóxico.

PSI:

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/c m^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi), por sus siglas en inglés.

SUBBASE:

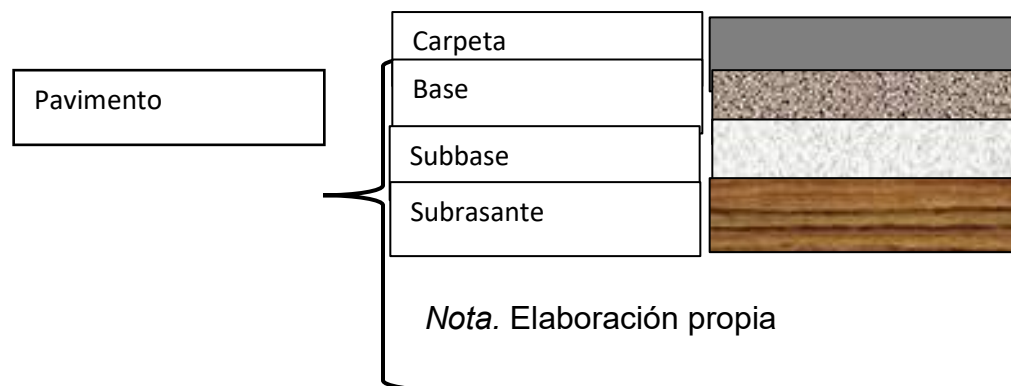
Es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base.

SUBRASANTE:

Generalmente es el terreno natural en la cual se apoya toda la estructura del pavimento, es decir que no forma parte de la estructura en sí.

PAVIMENTO;

Son estructuras construidas por capas superpuestas horizontales están conformadas por materiales constructivos compactados y resisten los esfuerzos de las cargas diarias de tránsito durante su vida útil, y el clima, en la cual debe ser resistente a las cargas impuestas, contar con una textura que brinde seguridad, durable, capacidad de drenaje, económica.





PAVIMENTO

FLEXIBLE:

Está compuesto por una carpeta asfáltica donde utiliza una mezcla de agregado grueso, o fino y el material bituminoso.

PAVIMENTO

RÍGIDO:

Consiste en una losa de concreto simple, armado, apoyada sobre una base o subbase, se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero.

PAVIMENTO

ARTICULADO:

Conjunto de elementos prefabricados y son instalados sobre una superficie y con ello conformar un camino, una vía, en la cual brindan resistencia, durabilidad, y posibilitará el tránsito vehicular como peatonal.

GRANO DE CAUCHO

RECICLADO:

Corresponde a partículas de caucho obtenidas del reciclaje de llantas.

ASFALTO:

Material cementante que varía ampliamente en consistencia entre sólido y semisólido, obtenido a través del proceso de refinación del petróleo en el cual se eliminan volátiles y parte de sus aceites obteniéndose un material viscoso.

CEMENTO

ASFÁLTICO:

Son asfaltos obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar los residuos volátiles y parte de sus aceites



CEMENTO ASFALTICO

MODIFICADO: Es un ligante hidrocarbonado resultante de la mezcla de cemento asfáltico, grano de caucho reciclado y otros aditivos.

MANTENIMIENTO: Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente en bueno, regular o mal estado de mejores condiciones físicas y operativas.

TRÁNSITO: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras.

MÉTODO MARSHALL:

Es un ensayo que fue creado por el Ingeniero Bruce Mashall, ex Ingeniero de Bitúmenes del departamento de Carreteras , Nace de una investigación iniciada por el cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos en 1943, la finalidad del método Marshall era determinar el contenidos óptimos de asfalto para la combinación específica de agregados , cuenta con suficiente información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente estableciendo las densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

ACTUALIZACIÓN

SÍSMICA: Es el análisis total de la estructura desde las fundaciones, pasando por la subestructura y su conexión con la superestructura para que al realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica se dé la actualización y cumplimiento a lo establecido en la sección A. 3.5 CARGAS POR SISMO del Código Colombiano de diseño sísmico de puentes y el cumplimiento de las Normas Colombianas de diseño y Construcción Sismo – Resistente.



ANCHO DE VÍA:

Medida transversal de una zona de uso público, compuesta por andenes, calzadas, ciclo rutas y separadores, para el tránsito de peatones y vehículos. 2.6 Andén o Acera: Franjas de espacio público construido, paralelas a las calzadas vehiculares de las vías públicas, destinadas al tránsito de peatones y personas con movilidad reducida. 2.7 Calzada: Zona de la vía, destinada a la circulación de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no.

VÍAS:

Es la zona de la vía destinada a la circulación de vehículos, se define como franja de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales.

VÍAS FÉRREAS

Y/O CORREDORES

FÉRREOS:

Son las infraestructuras del transporte, cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos férreos exclusivamente (trenes, locomotoras, vagones) que circulan en carrileras y/o rieles especializados, en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad.

VÍAS FLUVIALES:

Se entiende como vía fluvial los ríos, caños, esteros o cuerpos de agua de origen fluvial que se utilizan como medio de transporte de pasajeros o carga.

VÍA PEATONAL:

Son áreas o zonas de la ciudad destinadas para el tránsito exclusivo de peatones donde está restringida la circulación de vehículos motorizados.

VÍAS RURALES:

Son las vías que permiten el acceso o entrada a fincas, haciendas o campos, las cuales se encuentran localizadas dentro del perímetro rural de la población.



VÍAS URBANAS:

Son las calles, carreras, transversales, avenidas, diagonales, glorietas, autopistas, troncales, variantes, las cuales se encuentran localizadas dentro de su perímetro urbano.

VÍAS VEREDALES:

Para el presente proceso se entiende por vías veredales las que permiten el acceso o entrada a veredas, las cuales se encuentran localizadas dentro del perímetro rural de la población.

ZONA VERDE:

Espacio de carácter permanente, abierto y empujado, de dominio o uso público, que hace parte del espacio público efectivo y destinado al uso recreativo.

RECUPERACIÓN

DE BANCA:

Identificados los agentes que contribuyen con la generación de eventos de inestabilidad de la banca, se acometen obras que propenden por la recuperación de las condiciones de estabilidad iniciales, con el fin de restablecer la transitabilidad y mitigar los efectos adversos que la materialización de la amenaza puede acarrear sobre esta estructura y/o los usuarios.

RED VIAL:

Es el conjunto de vías terrestres vehiculares urbanas y rurales.

SARDINEL:

Elemento que separa una calzada del andén o del separador de una vía.

SEDE FÉRREA:

Inmueble caracterizado por contener en un solo predio, edificios de servicio, mantenimiento y operación ferroviaria, dentro los que pueden estar, estación de pasajeros, talleres férreos, campamentos, bodegas entre otros.



SEÑALIZACIÓN: Conjunto de señales destinadas a regular el tránsito. Dichas señales pueden ser señales verticales y señalización horizontal o demarcaciones.

SEÑALIZACIÓN

VERTICAL: Dispositivos físicos que indican la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías; se instalan para transmitir órdenes o instrucciones mediante palabras o símbolos.

SEPARADOR: Franja de una vía dispuesta en forma longitudinal y paralela al eje de esta, que separa y canaliza flujos de circulación. Pueden ser centrales y laterales o intermedios.

SUBSISTEMA VIAL: Es uno de los subsistemas que componen el sistema de movilidad y que está a su vez conformado por los siguientes componentes: Malla vial arterial, malla vial intermedia, malla vial local, alamedas y pasos peatonales, red de ciclorrutas y corredores de movilidad local, malla vial rural.

TALLER FÉRREO: Edificio o edificios especializados para la atención y mantenimiento de los diferentes componentes de un sistema ferroviario, dentro de los que están el material rodante y los diferentes equipos eléctricos y electromecánicos.

TRÁNSITO

VEHICULAR: Es el volumen de vehículos que circulan por un punto específico de infraestructura de transporte periódicamente o en un periodo de tiempo determinado.

VEHÍCULO: Es todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta al público.

TRABAZÓN: Se define como la capacidad de resistir desplazamientos relativos entre elementos adyacentes. Estos sistemas de trabazón son la base de la capacidad estructural de la superficie de rodado.

INTRODUCCIÓN

Una de las mayores necesidades del ser humano ha sido establecimiento de la conexión permanente con otros lugares; por ello, ha logrado evolucionar constantemente en la construcción de infraestructura vial a partir del uso de diversos materiales y técnicas; de igual manera, ha desarrollado métodos y técnicas para su mantenimiento y reparación, procurando conservar su vida útil, ya que al contar con mejores vías de comunicación, las regiones y localidades tienen mayores posibilidades de integrarse a los mercados favoreciendo sus ventajas comparativas, aumentando su productividad y su capacidad de desarrollo.

Generalmente, las vías urbanas han sido construidas como losas rígidas de concreto hidráulico; en algunos casos a través de mezclas asfálticas como pavimentos flexibles y en menor proporción pavimentos estructurados, métodos con los cuales se ha obtenido eficiencia en la distribución de cargas. Sin embargo, todos estos sistemas se ven expuestos constantemente al deterioro.

Con el transcurrir del tiempo, los pavimentos van presentando diversos daños estructurales originados por las cargas vehiculares, la carencia de sistemas de drenajes, los efectos ambientales negativos, deficientes procesos constructivos, que aunados a la falta de mantenimientos rutinarios y periódicos ocasionan daños como fisuras, piel de cocodrilo, de flexiones, ahuellamiento, pérdida de agregado y baches, etc., que terminan generando la pérdida total de la estructura.

El Municipio de Pitalito, no es ajeno a este tipo de situaciones y cada día se observa un mayor deterioro de las vías urbanas y a pesar de que las administraciones destinan cuantiosos recursos para su mantenimiento, el resultado es una ciudad con vías en mal estado.

El método tradicional y más utilizado para la intervención vial es a través de procesos de parcheo, mediante el uso de mezcla asfáltica en caliente o por la técnica de mezcla en frío inyectada a presión neumática, que generalmente no han sido la solución más efectiva para la conservación de la malla vial, pues se han convertido en una solución temporal que luego genera mayor demanda de recursos y esfuerzos administrativos para su reparación.

Por ello, se pretende explorar otra alternativa, basada en el uso de adoquín elaborado en asfalto y granulado de caucho reciclado, analizando sus características físicas y mecánicas para tener un referente de efectividad frente a los métodos convencionales.



ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Con el desarrollo de la infraestructura vial se crean nuevas necesidades relacionadas con labores de rehabilitación y mantenimiento para asegurar que su vida útil sea prolongada. A partir de ello, han surgido diversas soluciones y materiales que son objeto de estudio de muchos investigadores que tratan de encontrar alternativas eficientes para dar soluciones a esta necesidad considerada una de las más importantes en las ciudades.

Generalmente las vías urbanas son construidas en estructuras de pavimento, con el fin de garantizar la movilidad en óptimas condiciones, la estética de la ciudad y una mejor calidad de vida para quienes residen en ella.

Según el Ing. Jhon Jairo Macondino R. (Macondino, 2020), un pavimento es una estructura constituida por una serie de capas superpuestas, que se diseñan y construyen teniendo en cuenta diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas para materiales apropiados, que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente la rigidez y durabilidad necesaria para el tránsito de vehículos. Estos se clasifican en:

- Pavimento flexible convencional: son estructuras formadas por tres estratos o capas (pavimento, base y subbase) que se extienden y compactan sobre la subrasante existente y que a su vez pueden tener subcapas.
- Pavimentos semi rígidos: Mantiene básicamente la misma estructura que un pavimento flexible, con la condición de que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con el uso de un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos.
- Pavimentos rígidos: Las estructuras de los pavimentos rígidos suelen estar conformados por dos capas, una superior de concreto y una inferior de base, aunque en determinadas circunstancias y dependiendo de la capacidad de soporte de la subrasante existente puede haber una tercera capa de subbase.
- Pavimentos articulados: Están compuestos por una capa de rodadura que está construida con bloques de concreto prefabricado, arcillas, asfalto y agregados llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí.



Todos los tipos de pavimentos se ven afectados por deterioros que requieren de la realización de obras de mantenimiento preventivos y/o curativos para preservarlos en buen estado cumpliendo la función para la cual fueron construidos.

En la última década, tanto en Colombia como en otros países sudamericanos como Perú, Ecuador, Bolivia y Argentina, se han tenido estudios e investigaciones acerca de métodos para el mantenimiento de vías, permitiendo el aprovechamiento de recursos naturales y materiales a menores costos, logrando así un equilibrio ambiental, económico y técnico, aplicando soluciones de forma sostenible (W. Chavarro. & C, 2015).

En Colombia el INVIAS como principal institución de Colombia ofrece un servicio de alta calidad con el índice de condición del pavimento PCI a la comunidad con el fin de inspeccionar, mitigar y reportar las posibles afectaciones al pavimento flexible, teniendo como principales daños presentes en una estructura: fisuras, deformaciones, pérdida de capas estructurales, daños superficiales, entre otros. (INVIAS, 2006).

Figura 1

Clasificación de los Pavimentos

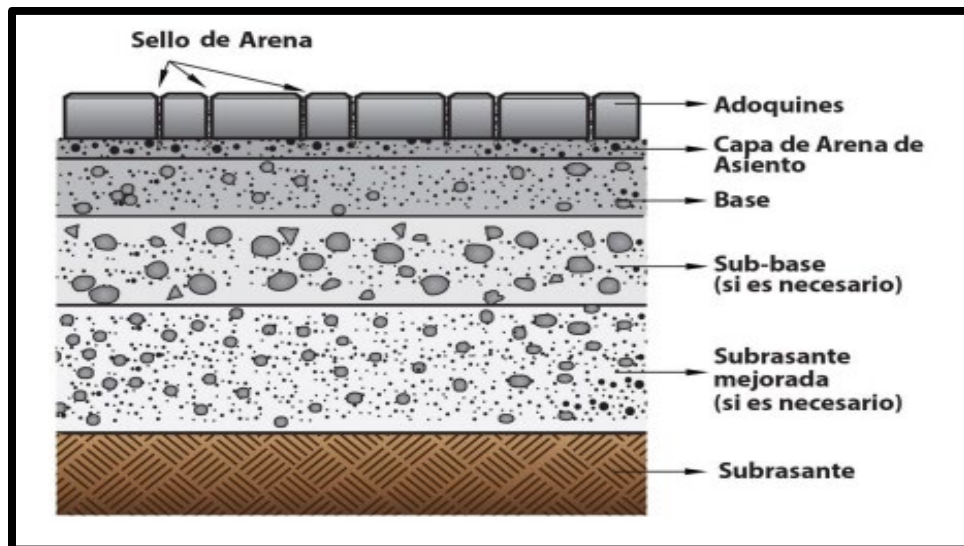


Nota. Tipos de pavimentos, por Instituto colombiano de productores de cemento, 2010, Worldcat (<http://worldcat.org/identities/lccn-n88679865/>).



Figura 2

Composición del Pavimento



Nota. Composición del pavimento, por Instituto colombiano de productores de cemento, 2010, Worldcat (<http://worldcat.org/identities/lccn-n88679865/>).

Tabla 1 *Fallas y Causas en Pavimentos Flexibles*



PAVIMENTOS FLEXIBLES

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1704

Vigencia por seis años

FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
<u>Fisuras y grietas por fatiga.</u> Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de hormigón.	La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a: - Espesor de estructura insuficiente. - Deformaciones de la subrasante. - Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento). - Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares. - Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas - Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo). - Reparaciones mal ejecutadas, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño. -



Continuidad Tabla.1

PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
<u>Fisuras y grietas en bloque.</u> En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, se pueden encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo debido al tránsito.	Es causada principalmente por la contracción del pavimento asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo que se produce en ciclos de esfuerzo – deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona. - Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base. - Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración. - Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitudes. - Baja capacidad de soporte de la subrasante.
<u>Grietas de borde.</u> Son grietas con tendencia longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel de la berma y la calzada. Generalmente se ubican dentro de una franja paralela al borde, con ancho hasta 0,60 m²	La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0.30 m a 0,60 m del borde de la calzada.
	Las causas más a ambos tipos de fisuras son:



PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
<u>Fisuras y grietas longitudinales y transversales.</u> Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicios de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.	- Rigidez de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de relleno o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°). - Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes. Otra causa para la conformación de fisuras longitudinales es: - Fatiga de la estructura, usualmente se presentan en las huellas de tránsito. Otras causas para la conformación de fisuras transversales son: - Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante. - Riego de liga insuficiente o ausencia total. - Espesor insuficiente de la capa de rodadura.
<u>Fisuras y grietas Reflejadas.</u> Este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido; estas fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas en dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la	Son generadas por los movimientos de las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar fisuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.



PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
superficie presentando un patrón irregular.	
DETERIORO SUPERFICIAL	
<u>Parches deteriorados.</u> Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel del pavimento asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (agua, gas, etc.)	Procesos constructivos deficientes. - Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron. - Deficiencias en las juntas - Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitudes y características de la subrasante. - Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada)
<u>Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales.</u> Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm.	Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitudes y características de la subrasante. - Drenaje inadecuado o insuficiente - Defecto de construcción - Derrame de solventes (bencina, aceite, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.
<u>Ahuellamiento.</u> Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Un Ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el	Ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas. La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y



PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
hidroplano por almacenamiento de agua.	también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados
<u>Deformación transversal</u> . Las fisuras de desplazamiento se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse a la presencia de polvo, aceite, agua o cualquier otro material no adhesivo entre estas dos carpetas. Generalmente la falta de adherencia se produce cuando no se ha colocado un riego de liga. Algunas veces la mala compactación ocasiona la rotura de la adherencia entre las dos carpetas.	- Estructura insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante - Drenaje inadecuado o insuficiente. - Defecto de construcción. - Derrame de solventes (bencina, Diesel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.
<u>Exudaciones</u> . Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.	La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de mezcla sea bajo, sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes
<u>Desgaste</u> . Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por la acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida del ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.	El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto. - Falta de adherencia del asfalto con los agregados. - Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.



PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
	- Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.
<u>Pérdida de áridos.</u> Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.	- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales. - Problemas de adherencia entre agregado y asfalto. - Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes. - Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico. - Endurecimiento significativo del asfalto. - Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica. - Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.
<u>Ondulaciones.</u> Es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores a 1,0 m.	La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos pueden presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos. Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso afecta toda la zona de la estructura del pavimento. Además, también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica. Bajo este contexto, las causas más probables son:



PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
	- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica. - Exceso de compactación de la carpeta asfáltica. - Exceso o mala calidad del asfalto. - Insuficiencia de triturados (caras fracturadas). - Falta de curado de las mezclas en la vía. - Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento. - Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.
OTROS DETERIOROS	
<u>Descenso de la berma.</u> Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.	Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes aledaños.
<u>Surgencia de finos y agua.</u> Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito.	Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura, filtración de aguas.
<u>Separación entre berma y pavimento.</u> Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y la berma. Este daño permite	Generalmente está relacionada con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños o con



PAVIMENTOS FLEXIBLES	
FALLAS	CAUSAS
Fisuras y grietas	
la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.	la ausencia de liga entre la calzada y la berma cuando se construyen por separado.

Fuente: Jaimes, Luis A. y Torres, Karina P. (2018)

Tabla 2

Fallas y Causas en Pavimentos Rígidos

PAVIMENTOS RÍGIDOS	
FALLAS	CAUSAS
JUNTAS	Las causas más frecuentes son:
<u>Deficiencias del sellado.</u> Se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento o despostillamiento de juntas.	- Endurecimiento por oxidación del material de sello. - Pérdida de adherencia con los bordes de las losas. - Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas. - Escasez o ausencia del material de sello. - Material de sello inadecuado.
<u>Juntas saltan.</u> Rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.50 metros de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además, no se extiende verticalmente a través de la losa, sino que intersecan la junta en ángulo.	Se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente; excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del hormigón en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva distribución durante la ejecución de la junta; deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; acumulación de agua a nivel de las juntas.



PAVIMENTOS RÍGIDOS	
FALLAS	CAUSAS
<u>Separación de la junta longitudinal.</u> Corresponde a una abertura de la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos.	- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclaje entre carriles adyacentes. - Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante. - Ausencia de bermas.
GRIETAS	Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga del hormigón) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.
<u>Grietas de esquina.</u> Es una fisura que intercepta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.	
<u>Grietas Longitudinales.</u> fractura miento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.	Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.
<u>Grietas transversales.</u> Fractura miento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos.	Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas. La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas,



PAVIMENTOS RÍGIDOS	
FALLAS	CAUSAS
	respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.
DETERIORO SUPERFICIAL	Las fisuras capilares generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del hormigón fresco colocado, produciendo la exudación.
<u>Fisura por retracción (tipo malla).</u> Es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de hormigón. Las fisuras capilares se refieren a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a interceptarse en ángulos de 120°.	del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del hormigón resulte muy débil frente a la retracción. Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascara miento de la superficie, posibilitando un desconchado que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascara miento en pavimentos de hormigón armado, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.
<u>Desintegración.</u> Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena cemento del hormigón, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades.	Son causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre hormigones de pobre calidad, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).
<u>Baches</u> Descomposición o desintegración la losa de hormigón y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.	Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de



PAVIMENTOS RÍGIDOS	
FALLAS	CAUSAS
	severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.
OTROS DETERIOROS	Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de hormigón, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.
<u>Levantamiento localizado.</u> Sobreelevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal.	
<u>Escalonamiento de juntas y grietas.</u> Es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con fisuras.	
<u>Descenso de la berma.</u> Diferencia de nivel entre la superficie de la losa respecto a la superficie de la berma, ocurre cuando alguna de las bermas sufre asentamientos.	



PAVIMENTOS RÍGIDOS

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1704

Vigencia por seis años

FALLAS	CAUSAS
<u>Separación entre berma y pavimento.</u> Incremento en la abertura de la junta longitudinal entre la berma y el pavimento.	Las causas más probables de la separación entre berma y pavimento son: - Compactación insuficiente en la cara lateral del pavimento. - Esguerramiento de agua sobre la berma cuando existe un desnivel entre ella y el pavimento.
<u>Parches deteriorados.</u> Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, también un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo. Los parchados disminuyen el servicio de la pista, al tiempo que pueden constituir indicadores, tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En muchos casos, los parchados, por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas.	En el caso de parches asfálticos, capacidad estructural insuficiente del parche o mala construcción del mismo. - En reemplazo por nuevas losas de hormigón de espesor similar al del pavimento existente, insuficiente traspaso de cargas en las juntas de contracción o mala construcción. - En parches con hormigón de pequeñas dimensiones, inferiores a una losa, retracción de fraguado del hormigón del parche que lo despega del hormigón antiguo.
<u>Surgencia de finos.</u> Es la expulsión de finos a través de las juntas o fisuras, esta expulsión (en presencia de agua) se presenta por la deflexión que sufre la losa ante el paso de cargas. Al expulsar agua está arrastra partículas de grava,	- Presencia de agua superficial que penetra entre la base y la losa de hormigón. - Material en la base.



PAVIMENTOS RÍGIDOS	
FALLAS	CAUSAS
arena, arcillas o limos generando la pérdida del soporte de las losas de concreto. El bombeo se puede evidenciar por el material que aparece tanto en juntas y fisuras de la losa como en la superficie del pavimento.	- Tráfico de vehículos pesados frecuente. Transmisión inadecuada de cargas entre losas.
<u>Fragmentación múltiple</u> . Fractura de la losa de hormigón conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos	Son originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa.

Fuente: Jaimes, Luis A. y Torres, Karina P. (2018)

Tabla 3 *Fallas y Causas Pavimentos Articulados*

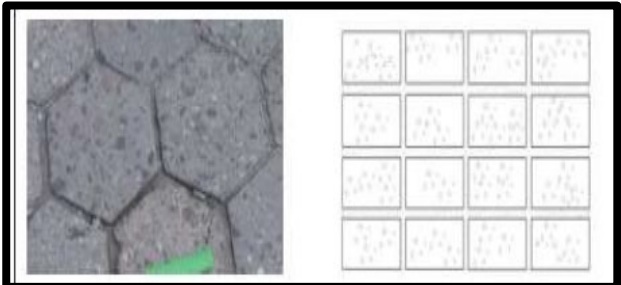
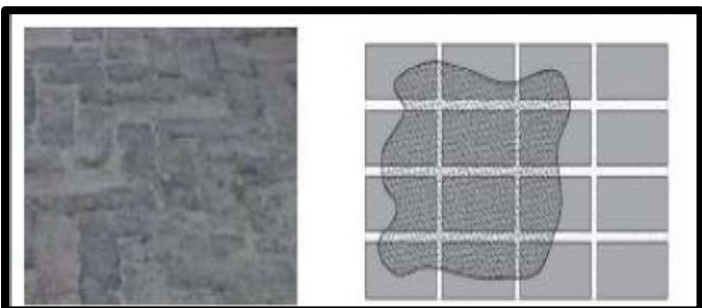
PAVIMENTOS ARTICULADO

El Pavimento Articulado es uno de los pavimentos más antiguos para el rodamiento de vehículos, está formado por elementos prefabricados en unas dimensiones específicas, son rígidos y se instalan sobre una capa de arena, debido a la conformación de caras laterales determina una transferencia de cargas desde el elemento que recibe hacia varios de sus adyacentes

PAVIMENTO ARTICULADO	
FALLAS	CAUSAS ¹
Desgaste Superficial	
Es la pérdida de finos en la superficie del adoquín, creando una superficie rugosa	- Baja calidad de materiales

¹ (<https://civilgeeks.com>)

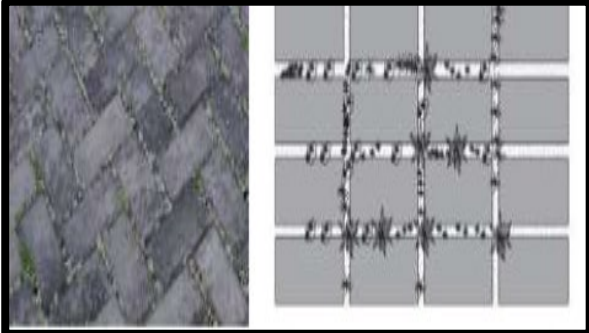


PAVIMENTO ARTICULADO	
FALLAS	CAUSAS ¹
en la cual evidencia el material grueso	- Ausencia de control en la fabricación de los adoquines - Exposición constante a flujos de agua 
Pedida de Arena en las Juntas; Se evidencia la aparición de arena sobre el adoquín y a los lados	- Arrastre de material fino, - Juntas abiertas - Desplazamiento de Juntas 
Desplazamiento de Juntas Los adoquines se separan de su alineamiento inicial ,	- Zonas de frenado , - Sitio de alta pendiente - No hay una distancia adecuada entre los adoquines



PAVIMENTO ARTICULADO	
FALLAS	CAUSAS ¹
	
Fracturamiento que puede sufrir el confinamiento interno Es la destrucción total del confinamiento evidenciando daños dentro de la zona trabajada. Presentan grietas, pero el material se mantiene.	- Fátiga provocada por el tránsito - Baja calidad de materiales - Ausencia de control del adoquín - El impacto de tránsito y los confinamientos son superiores a la rasante de la carretera. - Invasión de vegetal
Juntas Abiertas; consiste en la separación de juntas superior a 3mm perdiendo la arena de sello. Y permitiendo la incrustación de <u>otros materiales que perjudican la vida útil del adoquín.</u>	- Falta de sellos de juntas - Error constructivo - Confinamiento inadecuado 



PAVIMENTO ARTICULADO	
FALLAS	CAUSAS ¹
Vegetación en la calzada Crecimiento de vegetación en las juntas del pavimento articulado	- Ausencia de control y mantenimiento vial - Falta de limpieza y desmonte de hierbas. 

Nota (<https://civilgeeks.com>)

Inicio de Pavimento Articulado

La gran necesidad por el hombre de contar con vías que permitieran el desplazamiento seguro buscó una superficie de rodadura y realizaron vías con piedras en estado natural, donde fueron talladas hasta alcanzar la forma de bloques y ajustarlo en la calzada.

Podemos decir que el pavimento de piedra fue construido a inicios del siglo XX prestando un buen servicio y un comportamiento duradero, fue pasando el tiempo y

crearon los adoquines de arcilla cocida, bloque en madera y desarrollaron técnicas de pavimentación en concreto y con asfalto, fueron construyendo más vías en adoquines en arcilla de acuerdo a su buen comportamiento, luego la arcilla cocida también fue un gran aporte para la construcción de viviendas, y fueron utilizados los adoquines con grandes ventajas sobre la arcilla, luego Alemania desarrolló una máquina Vibro compresoras para fabricar piezas en concreto y se inició la industrialización de adoquines que le permitieron acelerar el proceso constructivo en Europa y luego al resto del mundo, donde se afianzaron en sus grandes bondades como la versatilidad, durabilidad y bondades en este tipo de pavimentos.



Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada en bloques de concreto u otros materiales prefabricados llamados adoquines, de espesor uniforme elaborados entre sí. Ésta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual a su vez se apoya sobre la capa de base granular, o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de las magnitudes frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento.

Según artículo publicado por Carlos Hernando Higuera Sandoval y Oscar Fabián Pacheco Merchán, en la Revista de Ingeniería de la Universidad de Medellín, (Higuera Sandoval, 2010) donde se presentan los resultados de la investigación sobre patologías de los pavimentos articulados construidos en adoquines en concreto o ladrillo, se identifican los siguientes deterioros:

Tabla 4

Clasificación general de los deterioros en pavimentos articulados

Clase	Tipo de deterioro
Deformaciones	Abultamiento
	Ahuellamiento
	Depresiones
Desprendimientos	Desgaste superficial
	Pérdida de arena
Desplazamientos	Desplazamiento del borde
	Desplazamiento de juntas
Fracturamiento	Fracturamiento
	fractura miento de confinamientos externos
	fractura miento de confinamientos internos
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos
	Juntas abiertas
	Vegetación en la calzada

Fuente: Revista de ingeniería Universidad de Medellín (2010)



En investigación realizada por Víctor Fabián Armijos Cuenca, titulada “Estudio del diseño estructural de pavimentos articulados en base a bloques de asfalto” para obtener el título de Magíster en Ciencias de la Ingeniería en la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2011; (FABIÁN, 2011) Se determinó un diseño de mezcla con emulsión asfáltica AE tipo CSS-1h y cenizas volantes FBC 10% en relación al peso, como alternativa de mezcla para la fabricación de bloques de asfalto, en base a resultados obtenidos de resistencia a tracción indirecta, resistencia retenida, módulo, estabilidad, y fluencia; y comparando estos resultados con una mezcla comúnmente usada de asfalto en caliente HMA. Se obtuvo una resistencia inicial ITS aproximada de 340 kPa con un factor promedio de 0.70 de resistencia retenida TSR (%).

Este factor indicó la influencia que tiene este tipo de mezcla respecto a la presencia de agua, debido principalmente a la presencia del filler (relleno) en la mezcla, que actúa como cementante dentro de la misma y por la necesidad de agua que está requiere durante su fabricación y quiebre.

Mediante el análisis estructural de pavimento articulado con bloques asfálticos se propuso dos alternativas de diseño:

- a) La construcción de un pavimento articulado compuesto por un suelo de subrasante con CBR no menor a 11%, una capa de subbase con 15 cm de espesor y con CBR 40% mínimo; una capa de base de 15 cm de espesor con un CBR 80% mínimo y finalmente una capa de bloques asfálticos de 5 cm de espesor con una sección de 15 x 25 cm y apoyados sobre un colchón de arena de 1 cm de espesor;
- b) La construcción de un pavimento articulado compuesto por un suelo de subrasante con CBR no menor a 11%, una capa de base con 30 cm de espesor y con CBR 80% mínimo; y finalmente una capa de bloques asfálticos de 5 cm de espesor con una sección de 15 x 25 cm y apoyados sobre un colchón de arena de 1 cm de espesor aproximado.

Se determinó que existe un incremento de la resistencia a tracción indirecta ITS y del módulo de rigidez, respecto al tiempo de fabricación, sobre mezclas de emulsión asfáltica; debido principalmente a la existencia de ceniza FBC como material cementante dentro de la misma, la cual, por la presencia de humedad debido a la emulsión y clima, tiene un proceso de curado e hidratación durante el tiempo, logrando incrementar el valor de su propiedad mecánica inicial.

Ensayos realizados sobre un mismo tipo de mezcla, condiciones de curado y procesos de ensayo, en probetas de 100 mm y 150 mm; presentan resultados con cierta variación como: 13% en ensayo de ITS y 7% en ensayos de módulo.

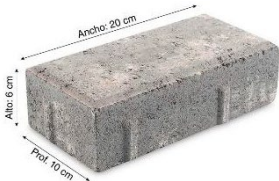


Bloques asfálticos de 25x15x5 cm, fabricados con mezcla de asfalto en caliente y emulsión asfáltica, presentan similares propiedades de resistencia a la compresión. Respecto de la resistencia a la flexión, los bloques fabricados con emulsión asfáltica presentan menores valores de resistencia frente a bloques fabricados con mezclas convencionales de asfalto en caliente debido a que este tipo de mezcla con presencia de materiales cementantes como la ceniza FBC, crea un tipo de mezcla más rígido y más frágil. Respecto a la resistencia al desgaste superficial, existe un mayor valor de desgaste en bloques de emulsión asfáltica frente a bloques de asfalto en caliente, debido a la presencia de mayor cantidad de finos dentro de la misma, lo que provoca una menor adherencia entre material aglomerante y agregados.

Ladino Oyola Yudy Viviana y Rubiano Quiroga, Angela Marcela realizaron un análisis comparativo entre los tipos de adoquín, en trabajo de grado denominado “Adoquines en asfalto reciclado y grano de caucho reciclado” realizado para obtener el título de Tecnólogo en construcciones arquitectónicas en la Universidad La Gran Colombia, (OYOLA, 2017) desarrollando el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 5

Características Generales del Adoquín

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ADOQUIN			
Indicador	Adoquín concreto	Adoquín en arcillas	Adoquín en asfalto caucho reciclado AAR
Colores		Tonalidad es varían según lote	Negro y variación en la tonalidad de gris oscuro, debido a la inclusión de asfalto en el elemento. 
Tipo según tránsito	Peatonal tránsito liviano estándar: Adoquín 6cm.	Colonia, Royal.	Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ADOQUIN			
	Tránsito pesado y estándar y premium: Adoquín 8 cm		
Formas geométricas			Paralelepípedo oblicuo
Textura	Lisa, labrada, Rayada, Erosionada.	Rústica	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
Patrón de colocación	Espina de pescado Hiladas Hileras	Hileras Hiladas Espina de pescado Parqué	Los adoquines se deben colocar en dirección de la transitabilidad para efectos de minimizar la resistencia al desplazamiento

Nota. Elaboración Propia

Partes de un Pavimento Articulado

- Capa de rodadura de adoquines en Asfalto y granulo de caucho de llantas recicladas; La capa de rodadura es la encargada de soportar todas las cargas y resistir el desgaste producido por la abrasión del tráfico al desplazarse y el clima, está conformada por un conjunto de adoquines separados por juntas selladas por arena apoyada por una capa arena , debido al entramamiento se establece como una superficie en la que los adoquines deben actuar de forma mancomunada en un sistema que se asemeja al de un material homogéneo y flexible que combina la durabilidad del concreto con la flexibilidad características de los pavimentos.
- Adoquines en Asfalto y granulo de caucho de llantas usadas; Son elementos macizos, prefabricados de espesor uniforme e iguales entre sí con forma de



- prisma recto tal que al colocarlos sobre una superficie, encajen unos con otros de manera que solamente queden juntas entre ellos.
- Sello de Arena: Está constituido por arena fina que se coloca para llenar las juntas entre adoquines, sirve como sello de estas y garantiza el buen comportamiento a flexión y la capacidad portante de la superficie del pavimento.
- Capa de arena: Capa de arena gruesa y limpia de poco espesor sobre la cual se colocan los adoquines, está compuesta por partículas resistentes a la degradación con una granulometría uniforme que facilita su colocación, la infiltración y el flujo libre de agua.
- Base: Es la principal capa estructura del pavimento, colocada directamente bajo la capa de arena, esta capa es la que proporciona mayor capacidad estructural y suministra un apoyo i uniforme, estable y permanente al pavimento. para los tráficos medio y alto, es recomendable emplear una base negra (Granular con un ligante asfáltico) o una base granular con ligante hidráulico. Es importante anotar en este punto lo anterior es una de las principales diferencias entre el diseño para tráfico bajo, medio y alto, pues en el primero es común una base no tratada.
- Subbase: Capa estructural localizada directamente bajo la base, Consta de un material granular no tratado o estabilizado según los parámetros de diseño. Para vías de bajo tráfico se puede reemplazar por un tratamiento de la subrasante.

Capa de Conformación

- Capa de transición entre la subrasante y el resto de estructura del pavimento, que funcionan como capa estructural pues mejora las características del suelo de subrasante y como plataforma de trabajo para proteger la subrasante durante la etapa de construcción, especialmente sobre subrasantes de baja capacidad de soporte. Puede ser material de la subrasante que ha sido modificado o un material diferente.

Arena (17 Documento Diseño de pavimento articulado)



Tabla 6

Lista de Chequeo Previa a la Instalación de Adoquines

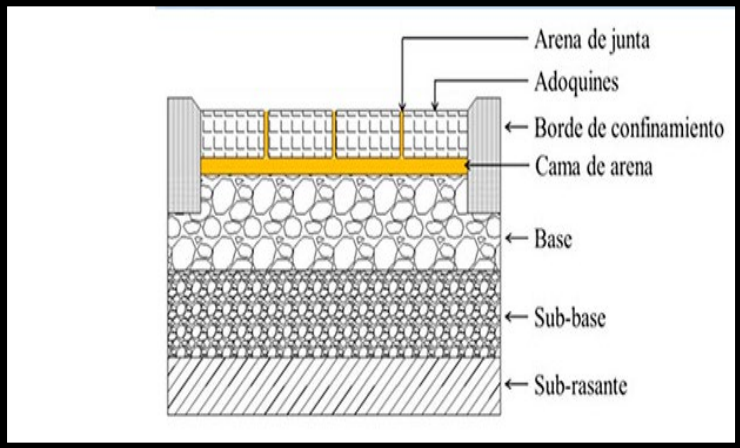
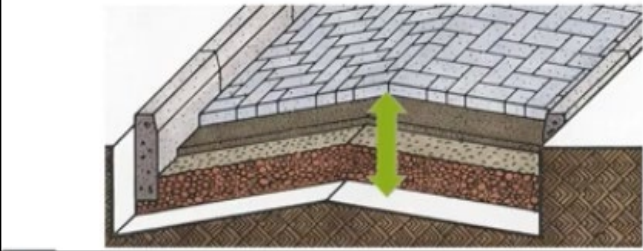
Actividad	Cumple	No Cumple
Diseño de espesores de bases, subbases y superficie de las mismas	X	
Definición de % de compactación y responsable de la calidad del material base y subbase	x	
Definición de elementos, cunetas, sumideros etc.	x	
Definición de Patrón de colocación	x	
Colocación de hilos	x	
Adoquines de acuerdo con el proyecto a construir	x	

Nota. Elaboración Propia. 2021



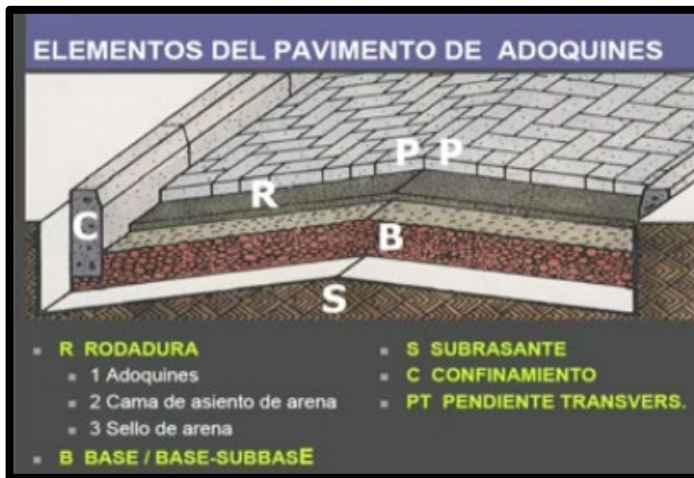
Tabla 7

Partes del pavimento en adoquín

PARTES PAVIMENTO ARTICULADO	
	1. Subrasante 2. Subbase 3. Base 4. Cama de arena 5. Borde de confinamiento 6. Adoquines 7. Arena de Junta
<i>Nota.</i> webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón	
DEFINICION DE PAVIMENTO • Estructura de capas de diferentes materiales colocadas sobre la subrasante (suelo compactado), para permitir la circulación de personas, animales y vehículos, en todo clima, de manera segura, cómoda y económica. 	Estructura de capas de diferentes materiales colocados sobre el suelo compactado, con el fin de permitir la circulación de las personas, vehículos, de una forma cómoda, segura y económica.
<i>Nota.</i> webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón	



PARTES PAVIMENTO ARTICULADO



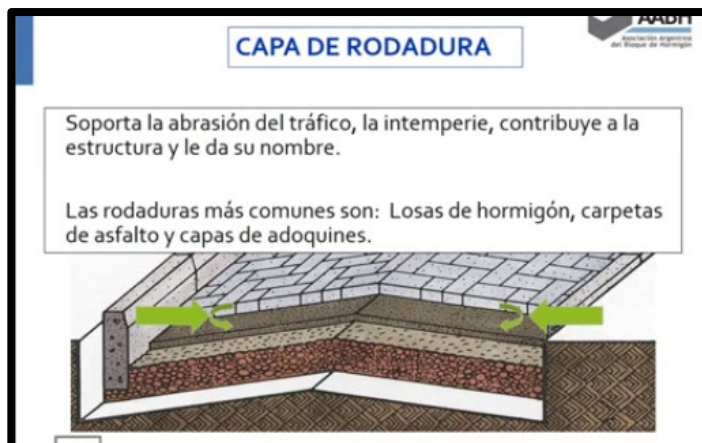
Nota. webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón

R: Rodadura está compuesta por, adoquines bien contruidos, la cama de asiento de arena, sello de arena.

B: Base /Base-subbase

S: Subrasante

PT: Pendiente Transversal



Nota. webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón

Soportada la abrasión del tráfico y contribuye a la estructura



PARTES PAVIMENTO ARTICULADO



Nota. webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón

Las capas del paquete estructural,

Son las capas instaladas debajo de la rodadura, y contribuye a la capacidad estructural, cuenta con suelos granulares, suelo-cemento y relleno compactos



Nota. webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón

Cordones Laterales de Confinamiento.

Soportar los empujes laterales por acciones del tráfico, circulación o frenadas, empujan el perímetro del pavimento articulado, el cordón no deja desplazar, trabados entre sí con la arena de 2 mm. Necesita siempre de un cordón de La carga vertical empuja el adoquín a los costados esfuerzos corte por la fricción de las piezas y la arena de sello, el espesor de los adoquines debe ser 60mm para tráfico peatonal y vehicular, 80 mm para el resto de aplicaciones, puertos y aeropuertos



PARTES PAVIMENTO ARTICULADO

	en las diferentes localidades.
--	--------------------------------

Nota. Las imágenes de la tabla 7: Partes del pavimento, por Instituto colombiano de productores de cemento, 2010, (webinar 1: Pavimento Urbano de Adoquines de Hormigón)

Aplicaciones del adoquín

Ítem	Actividad
1	Acceso a puentes
2	Aeropuertos
3	intersección de caminos
4	Cruces a nivel con vías férreas
5	Pavimento Articulado (Tráfico liviano, Pesado, y Semipesado)
6	Depósitos de mercaderías
7	Estaciones de servicio
8	Exposiciones y ferias
9	Intersecciones de calles
10	Muelles
11	Paradas de vehículos de transporte colectivo
12	Patios industriales
13	Pavimentaciones urbanas
14	Pisos rurales (tambos, corrales, bebederos, etc.
15	Playas de estacionamiento, de maniobras, ferroviarias, etc.
16	Rotondas
18	Senderos peatonales
19	Separadores de circulación
20	Zonas de extravíos en muelles y playas ferroviarias, etc.



Ítem	Actividad
21	Zonas sometidas a gran desgaste o ataque de líquidos corrosivos

Nota. Elaboración Propia

Granulo de Caucho de Llantas Usadas

Movilizarse ha sido una necesidad primordial en la humanidad y gracias al ingenio se ideó la rueda uno de los inventos con mayor impacto y relevancia en el desarrollo de la sociedad y el comercio. La evolución de la rueda abrió muchos mercados en la diversas máquinas y variedad en medios de transporte terrestre. A través del crecimiento impulsado en el aumento de la industria automotriz, se encuentra la problemática que trae el desecho inadecuado de las llantas usadas en nuestro país, contaminando gravemente el ambiente, teniendo en cuenta que una llanta usada está compuesta por sustancias que son peligrosas para salud y son arrojadas al aire libre sin control, arruinando los paisajes, y ocasionando daños en los ecosistemas, las llantas se acumulan agua, basura que se van convirtiendo en focos de infección, como criaderos de mosquitos y portadores de enfermedades como la malaria, dengue, paludismo, rededores y plagas.

La quema de llantas implica diversos impactos negativos para la salud pública por los compuestos químicos que afectan el medio ambiente, están compuestos por 38 compuestos dañinos emitidos al aire, a la mezcla de gases, metales, hidrocarburos dañinos, estos contaminantes producen cáncer, malformaciones congénitas, que generan problemas en los pulmones y otras alteraciones de salud.

Existen actualmente una amplia variedad de alternativas para disminuir estos impactos ambientales negativos mediante el aprovechamiento de los subproductos de las llantas en desuso, compuestas por:

- Acero (15 %)
- Fibras (5 %)
- Caucho (80 %)

A partir del proceso de trituración de llantas de caucho la recuperación de este último material parece constituir un mercado con amplias oportunidades de negocios, entre ellas, la producción de una mezcla asfáltica modificada con gránulo de caucho reciclado (GRC), con el fin de obtener materia prima para la elaboración de pavimento asfáltico, mediante el análisis del mercado con el propósito de establecer los clientes potenciales que este dicho material en Colombia



La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), crearon en 2009 un proyecto que unió a 52 empresas colombianas ensambladoras e importadoras de carros y los fabricantes e importadores de llantas de todo el país bajo un sistema de recolección selectiva de llantas usadas. El proyecto se llevó a cabo en Medellín, que consistía en recuperar en 20 estaciones de servicio seleccionadas, las llantas usadas y llevarlas a una planta de trituración donde se les realizó un proceso de reciclado que no contamina el medio ambiente.

Tras obtener excelentes resultados, de acuerdo con el Comité Posconsumo de Llantas Usadas de la ANDI, desde agosto de 2010 hasta marzo de 2011, se han recogido

27 500 neumáticos, es decir, 375 t, en las estaciones habilitadas para el programa (vida verde, s. f.)

El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Resolución No.1457/2010, de 29 de julio, para la cual consagra el derecho de gozar de un ambiente sano y el deber del estado de proteger la integridad del medio ambiente, en la cual cuenta con el objeto principal en; Establecer a los productores de llantas la obligación de la formulación, presentar, implementar, los sistemas de recolección selectiva y Gestión Ambiental de las llantas usadas con el propósito de prevenir y controlar la degradación ambiental.

Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones. Aplicable a todos los productores de más de 200 llantas al año y a los que importen 50 o más automotores al año llantas hasta rin 22,5 pulgadas (vida verde)

La entidad sin ánimo de lucro Corporación verde viene trabajando en un programa titulado Posconsumo de Llantas usadas en busca de prevenir impactos negativos al ambiente y a la salud, donde se ha extendido a más de 32 departamentos e instalados 177 puntos de acopio y se han recuperado en el año 2017 6.500 llantas.

El gobierno estaba tan comprometido con el medio ambiente que se requería en las licitaciones de mejoramiento vial vincular el 10% de GCR a la mezcla asfáltica y una de las plantas más importantes en nuestro país fue la Guajira, el Cerrejón e Indutrade Recycling en Albania –La Guajira– tuvo costos de construcción superiores a los COP 13.000 millones, cuenta con equipos de alta tecnología importados de Italia, con capacidad de procesar 2360 llantas al año usadas de equipos mineros, que podrán generar cerca de 2300 t de acero y 5000 t de polvo de caucho, y utilizar en las mezclas asfálticas.



Está es la capacidad de triturar desde las llantas gigantes de los equipos mineros, que tienen 4 m de diámetro y pesan 4 t, hasta las que ruedan con los automóviles y procesan hasta 16 t diarias del material, de acuerdo con lo expresado por Alejandro Aristizábal, representante de Indurare. Las otras tres plantas trituradoras de llantas funcionan en Madrid (Cundinamarca), Yumbo (Valle del Cauca) y Río Claro (Antioquia) (El Tiempo, 2016).

Proceso de Producción del Polvo o Granulado de Caucho

Los neumáticos se pueden clasificar en tres tipos según el desgaste que presenten:

- Reutilizables: presentan desgastes menores de 1,66 m.
- Reencauchadas: pueden ser reparados, ya que poseen una carcasa en óptimas condiciones.
- No reencauchados: rigurosamente dañados o deteriorados, están listos para que puedan ser reciclados, ya que cumplieron su vida útil.
- El reciclaje se realiza con la trituración de las llantas usadas y este material gracias a sus bondades en la pavimentación y re parcheo de la malla vial con asfalto de mejor calidad.

El asfalto modificado con caucho granulado que incluye grano de caucho reciclado mejora las propiedades de las vías, varios estudios han demostrado que estas alcanzan a durar hasta un 50 % más que las que se construyen con mezclas convencionales.

Esta aplicación es usada mediante dos tipos de procesos:

Proceso Seco: El caucho de llantas se utiliza como un agregado

Proceso Húmedo: Se usa como un modificador de mezcla, aumenta entre un 20 a 40% dependiendo de los demás materiales.

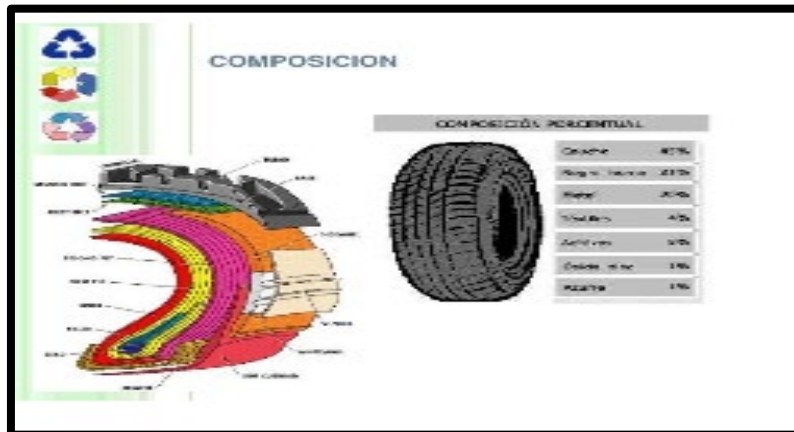
La relación costo-beneficio, se concluye que es mejor utilizar este tipo de mezcla, puesto que prolonga notablemente la vida útil de la vía., se ha aumentado la utilización de estos tipos de mezclas, como consecuencia de reducción de costos en el momento de construir infraestructuras.

En lo referente a la granulometría del caucho triturado que se requiere para esta aplicación, es menor a 0,8 mm (Murcia y Romero, 2016).



Figura 3

Granulometría del Caucho Triturado



Nota. (Civilgeeks.com)

Figura 4

Proceso de adición del caucho.



Fuente: www.rubberizedasphalt.org

El proceso de reciclaje de las llantas usadas y obtención del Grano del caucho Usado:



1. **Recolección y Clasificación de llantas:** Se clasifican de acuerdo con el tamaño y estado de la llanta.
2. **Limpieza:** Se lavan con el fin de quitar las impurezas.
3. **Secado y almacenamiento:** Se deben ubicar en un lugar especial y seco.
4. **Trituradora Primaria:** Mediante un equipo que cuenta con cuchillos realizan cortes con el fin de reducir el tamaño de la llanta.
5. **Trituradora Secundaria:** Los trozos de llantas de gran tamaño deben pasar por una segunda trituradora.
6. **Granulador primario:** esta máquina reduce el tamaño de los pedazos provenientes de la trituradora secundaria, la dimensión de los granos que se logra obtener es de 16 m.
7. **Separación de acero:** en esta etapa, se separa el 99 % del acero encontrado en las llantas por medio de un separador magnético que cuenta con una banda transportadora que se ocupa de conducir el metal hacia un cajón o contenedor punto de recolección.
8. **Granulado secundario:** hay dos molinos de refinación, en los que una vez se han molido los granos caen en una banda transportadora, la cual conduce el material a otra criba rotativa que tiene tres parrillas de tres diferentes tamaños de orificios que van de 0,5 mm a 3 m.
9. **Pulverizado:** en esta etapa, el caucho se encuentra ya libre de acero, material textil, nylon, por lo cual reduce su tamaño a 0,5 mm y es necesario que pase por un molino pulverizador de caucho que utiliza un proceso de embrague de discos rotatorios en sentidos adversos.
10. **Empacado y almacenamiento:** el gránulo de caucho se deposita en una tolva, que contiene el gránulo seco, luego depositado en sacos de 50 kg, ubicados en la zona de almacenamiento.
11. En una fábrica posicionada en Bogotá

El precio de venta del kilogramo de caucho molido el kilo está en 2.000 Pesos (Incluido el IVA).

El caucho cuenta con varios usos:

- Asfalto modificado
- Canchas Sintética
- Calzado



- Adoquines
- Obras de Ingeniería Civil (Sin modificar la Llanta)
- Artes (Mesas, Casas para habitar de animales, Cercos, GYM etc.)

De acuerdo un modelo que fue desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales en el año 2016 con el objetivo de comparar el funcionamiento del asfalto elaborado a partir de llantas desechadas se calcula que para la producción de un metro cúbico de mezcla asfáltica con GCR se requieren aproximadamente 3 llantas y media.

Para la producción de una tonelada de grano de caucho reciclado se necesitan 250 llantas. Si se utiliza y aprovecha más este material usado en la infraestructura de carreteras, se garantizan buenas vías y se da, al mismo tiempo, una solución al grave problema ambiental que enfrenta el país (Gómez, 2016).

Aplicaron el modelo para una vía de 160 m de longitud, que da acceso al Parque Tecnológico Ambiental de La Sabana Tecniamsa en Mosquera (Cundinamarca).

La vía de estudio se dividió en siete tramos, tres de ellos con asfalto convencional y los otros cuatro contruidos con una mezcla asfáltica con GRC (Motor, 2016). El análisis incluyó siete procesos de inspección, fotografías, inventario y calificación de la condición del pavimento durante tres meses —de abril a julio de 2015—. Por esta vía, circularon 11 780 vehículos de diferentes tamaños durante este periodo.

Los resultados demuestran que el asfalto GRC le ganó al convencional que presentó solo una falla por desprendimiento de agregados gruesos, mezcla de concreto, mientras en el convencional tres tramos mostraron este problema. Presenta un desempeño igual o similar en la pérdida de asfalto por abrasión casi en el mismo grado y de oxidación por el clima, un problema determinado por meteorización. Finalmente, el GRC resultó peor registrando algunos abultamientos y hundimientos en tres tramos mientras el convencional solo en uno. (Motor, 2016)²³

³ ONTARE- Facultad de Ingeniería-Universidad EAN Vol 5 Enero-Diciembre de 2017



El Granulo de Caucho Usado debe presentar características que presenta en la tabla No. 8 y la verificación de las características debe seguir la normatividad ASTM D-6114.

Tabla 8

Distribución de Tamaños del Grano de Cauchos Reciclados GCR

	TAMIZ (mm/U.S. Standard)					
Tipo de Gradación	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

Nota. Capítulo 4.1 Artículo 413 del 2013 Pavimentos asfálticos INVIAS

Tabla 9

Nota. Capítulo 4.1 Artículo 413 del 2013 Pavimentos asfálticos INVIAS



El cemento asfáltico no podrá mantener temperaturas mayores a 120 grados por más de cuatro días.

Tabla 413 - 3. Especificaciones físicas del cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado

PROPIEDADES	NORMA DE ENSAYO	TIPO DE ASFALTO-CAUCHO					
		TIPO I		TIPO II		TIPO III	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Viscosidad aparente a 175°C (Pa.s)	ASTM D-2196 Método A Modificado según ASTM D-6114	1.5	5.0	1.5	5.0	1.5	5.0
Penetración a 25 °C, 100g, 5s (1/10mm)	INV E-706	25	75	25	75	50	100
Penetración a 4 °C, 200g, 60s (1/10mm)	INV E-706	10	-	15	-	25	-
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	57	-	54	-	52	-
Resiliencia a 25 °C (%)	ASTM D-5329	25	-	20	-	10	-
Punto ignición mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709	230	-	230	-	230	-
Acondicionamiento en prueba de película delgada	INV E-720						
Penetración del residuo luego del acondicionamiento en prueba de película delgada, % de la penetración original	INV E-706	75	-	75	-	75	-

Proceso Constructivo:

Para construir una capa en adoquines en asfalto con granulo de caucho usado se lleva a cabo la siguiente manera;

1. Colocación y nivelación de la capa de arena

Es importante contar con buenos materiales donde nos garanticen calidad, se coloca la arena sobre la base con un espesor uniforme tal que, al ser compactada la capa de rodadura, tenga un espesor entre 30 a 40 mm, se debe extender coordinadamente con la colocación de los adoquines, de manera que no quede expuesta al término de la terminación de la jornada de trabajo.

2. Colocación de los adoquines

Los adoquines se colocan directamente sobre la capa de arena nivelada, al topo unos con otros, de manera que generen juntas que no exceda 3mm. La colocación debe seguir un patrón uniforme, el cual se controlará con hilos para asegurar su alineamiento transversal y longitudinal. Si los adoquines son rectangulares con relación largo /ancho de 2/1 el patrón de colocación será de espina de pescado, patrón que se sigue de manera continua, sin necesidad de alterar su rumbo al doblar esquinas o seguir trazados curvos. Si los adoquines se colocan en hileras, se debe cambiar de orientación para respetar la perpendicularidad a dirección preferencial de circulación.

Los Adoquines de otras formas se tratan de colocar en hileras perpendiculares a la dirección preferencial de circulación, pero sin cambiarles el sentido al doblar esquinas o seguir trazados curvos.

Cuando es un terreno con pendientes es preferible instalar de abajo hacia arriba.

3. Ajustes

Se debe ajustar las áreas donde haya quedado espacios y realizar las adecuaciones en las zonas de drenaje.

4. Compactación Inicial

Se procede a la compactación inicial de la capa de adoquines, mediante la pasada de un vibro compactador de placa cuanto por lo menos 2 veces en direcciones perpendiculares.

5. Sellados de Juntas y compactación final

Se aplica arena de sello sobre la superficie en una cantidad equivalente a una capa de 3 mm de espesor y se barre repetidamente y en distintas direcciones, con un escoba o cepillo de cerdas largas y duras. En el momento de su aplicación, la arena debe ser lo suficientemente seca para penetrar con facilidad por las juntas.

6. Confinamiento

Los pavimentos de adoquines deben tener una estructura de confinamiento que impida su desplazamiento lateral a causa del empuje del tránsito vehicular. Deben rodear el área pavimentada y penetrar por lo menos quince cm en la capa base que se encuentre bajo la capa de arena y su nivel superior cubrirá, como mínimo la mitad del espesor del adoquín después de compactado. La instalación no se debe realizar en momentos de lluvia.



7. Apertura al Tránsito

El tránsito automotor no se permitirá hasta que el pavimento haya recibido la compactación final y esté completamente confinado.

8. Normatividad

La normatividad que contempla los pavimentos de adoquines está en INVIAS, Capítulo V, Artículo 510 y el reglamento técnico para el sector vial urbano RSV-2000 publicado por el IDU, en el título A se establecen las pautas que son generales para cualquier proyecto que se vaya a llevar a cabo en la ciudad.

Tabla 10

Ventajas del Pavimento Articulado

VENTAJAS	CONCEPTO
1. Proceso Constructivo	Los adoquines son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra, por lo tanto, su calidad se controla en fábrica.
	En términos de la capa de rodadura de adoquines no intervienen procesos químicos ni periodos de espera
	La maquinaria es poca
	Las instalaciones son de tipo mecánica, ha sido fundamentalmente artesanal, se puede crear varios frentes de trabajo
2. Manejo del Pavimento Articulado	La capa de pavimento de adoquines es recuperable, pues como no van pegados unos con otros se pueden retirar y almacenar para utilizarlos luego, es útil cuando se presenta una falla en el pavimento o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que pasan por debajo de la vía
	El mantenimiento de los pavimentos es muy fácil, con solo retirar la vegetación que pueda aparecer en las juntas y si presenta hundimiento se puede retirar y



VENTAJAS	CONCEPTO
	realizar de manera más rápida la reparación.
3. Ventas debidas a su apariencia	Por estar conformado por adoquines induce un orden en la vía, y el dibujado de la junta presenta una apariencia diferente.
	Los adoquines se pueden fabricar de diferentes colores añadiendo colorantes a la mezcla y se pueden realizar demarcaciones y presentarse con diferentes dibujos decorativos.
4. Ventajas relativas a la seguridad	Presentan una alerta o aviso para disminución de velocidad o zonas permanentes de velocidad restringida. Por su rugosidad, tiene una distancia de frenado menor que otros tipos de pavimentos, lo que se traduce en seguridad tanto para los peatones como para el tránsito vehicular.
5. Ventaja relativas a la durabilidad	La calidad que se le exige a los adoquines en asfalto y granulo de caucho usado garantiza su durabilidad de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles, aceites y el clima. Un adoquín tiene una vida casi ilimitada, pueden sufrir un deterioro después de estar en servicio por más de 40 años .
6. Ventajas relativas al costo de construcción	La construcción de un pavimento articulado no requiere de mano de obra especializada Se requiere maquinaria de producción nacional



VENTAJAS	CONCEPTO
	Los materiales para la construcción se consiguen en cualquier lugar del país
	La competencia con otros tipos de pavimentos, desde el punto de vista costos
	El pavimento articulado en vías de tráfico liviano y medio puede tener un costo inicial o similar a un pavimento de asfalto
	En planes de acción comunal puede incorporar recursos comunitarios y mano de obra local.
Desventajas	Para velocidades mayores a 80 km /hora no es aconsejable usar adoquines por la vibración del vehículo.
	Se debe apartar del nivel freático del terreno
	No se debe someter a la pérdida de sello de las juntas

Nota. (www.civilgeeks.com)

Diseño de Mezclas Asfálticas Método Marshall

Las mezclas asfálticas están compuestas por un material pétreo y cemento asfáltico como ligante, estos se fabrican en una planta caliente a una temperatura 140 o 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura 110 a 130 °C, cuando el material pétreo caliente y seco se mezclan de acuerdo a una composición granulométrica y luego se le incorpora el cemento asfáltico en una cantidad previamente definida. Las mezclas terminadas se extienden en capas uniformes en el espesor y ancho requerido para luego ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C.

Un pavimento de concreto asfáltico debe cumplir los siguientes objetivos:

- Suficiente estabilidad en la mezcla como para cumplir con las exigencias del servicio y las demandas del tránsito sin distorsiones o desplazamientos y el clima.



- Un buen cálculo de asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable, que garantice el recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre sí, bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad como para permitir una eficiente operación constructiva en la elaboración de la mezcla y su compactación.
- Suficientes vacíos en la mezcla compactada, para proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional, afloramientos de asfalto y pérdidas de estabilidad.

Factores que deben planearse en las mezclas asfálticas para que sea estable, duradera, impermeable y antiderrapante, se deben controlar los siguientes factores:

- Granulometría del material pétreo: Las mezclas con un contenido de partículas pétreas de mayor tamaño tienen mayor estabilidad. El tamaño máximo de las partículas no debe ser mayor a $\frac{2}{3}$ del espesor de la carpeta.
- Contenido de asfalto: El contenido óptimo para la preparación de la mezcla debe ser el necesario para cubrir con una película de asfalto la superficie de las partículas pétreas, sin llenar completamente los vacíos, ya que éstos deben ser llenados con las partículas más finas.

Se debe contar con un porcentaje mínimo de vacíos para evitar ondulaciones y se endurezca el asfalto dando como resultado una mezcla quebradiza.

Influencia relativa del asfalto y del agregado mineral en las características del concreto asfáltico

En la construcción e instalación del revestimiento asfáltico existen varios factores que puede variar la calidad de asfalto de acuerdo a los siguientes aspectos:

- El asfalto se encuentra formado por partículas muy delgadas que se han formado mediante la aplicación del calor, se considera emplear la cantidad adecuada con un agregado adecuado.



- El agregado mineral ha sido cubierto con el asfalto obteniendo características diferentes, se debe preparar mezclas en laboratorios que cuenten con un personal profesional.

Efecto del asfalto en la estabilidad (cantidad de asfalto)

El asfalto actúa como un ligante o un lubricante donde su estabilidad aumenta cuando se incrementa el asfalto, esto varía de acuerdo al tipo de agregado.

Características del asfalto

- Consistencia: Es la dureza del material, depende de la temperatura.
- Viscosidad: Es un estado, a mayor temperatura, menor viscosidad y a menor temperatura mayor viscosidad.
- Durabilidad: Podemos decir que es la capacidad de mantener sus propiedades con el paso del tiempo.
- Elasticidad: Es la propiedad
- Consistencia: Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla (mayor temperatura, menor viscosidad).
- Durabilidad: Capacidad de mantener sus propiedades con el paso del tiempo.
- Elasticidad: Es una propiedad que cuenta el asfalto para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los modifica.
- Susceptibilidad Térmica: Variación de sus propiedades con la temperatura.
- Pureza: Definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.
- Seguridad: Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

Efecto del Agregado en la Estabilidad:

Tamaño máximo de los agregados: A medida que el tamaño del agregado aumenta la estabilidad. Por razones de trabajabilidad y apariencia superficial, el tamaño máximo más utilizado es el Diseño de Mezclas Asfálticas Método Marshall es de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Cuando el porcentaje de agregado grueso es menor de 25 %, el tamaño máximo tiene poca influencia en la estabilidad.



Tipo de Agregado

El tipo del agregado es muy importante, la grava con partículas sin trituración, redondas y portan menos estabilidad que un material triturado con partículas con superficie espesa y bordes duros.

El tipo de arena y su cantidad son los factores más importantes que afectan la estabilidad del concreto asfáltico. Cuando la gradación se mantiene constante, la calidad y cantidad de arena tiene una gran influencia en la estabilidad.

La Gradación:

El porcentaje de vacíos en la mezcla compactada debe ser lo suficientemente bajo para prevenir infiltraciones de agua, pero suficientemente alto, con el fin de proveer espacios para un aumento de su densidad y para la expansión ocasionada por las altas temperaturas del verano. Por ejemplo, para una mezcla en laboratorio compactada por el método Marshall con 75 golpes, se considera satisfactorio un porcentaje de vacíos entre 3 y 5%. Por esta razón se recomienda elegir agregados que permitan una amplia variación en el porcentaje de asfalto, con un pequeño cambio en el porcentaje de vacíos.

A mayor porcentaje de vacíos en el agregado (mayor espacio para el asfalto), aumentando el porcentaje de arena, o disminuyendo el porcentaje de llenante mineral (Filler).

Llenante Mineral (Filler)

Es un material arcilloso que pasa por el Tamiz No.200 y su finalidad en la mezcla es aumentar la estabilidad y minimizar el porcentaje de asfalto necesario para obtener un porcentaje de vacíos en la mezcla. La llenante mineral es un factor importante que afecta a la durabilidad, por esta razón se debe tener cuidado en la cantidad y calidad.

Porcentaje de Vacíos

Cuando hay menos vacíos en una mezcla asfáltica se disminuye la porosidad y en consecuencia la penetración del aire y del agua en el pavimento, cuando hay

disminución de porosidad significa una oxidación más lenta del asfalto, una mayor durabilidad y menor posibilidad del contacto las fases del agua el asfalto y el agregado,

La mezcla asfáltica debe contener un volumen mínimo de vacíos y evitar el afloramiento y pérdida de estabilidad.



Efecto de la Densidad de la Mezcla en la Estabilidad

Un estado más denso puede ocurrir durante la aplicación de la carga, o el porcentaje de asfalto correspondiente a la densidad máxima puede tener un gran efecto lubricante. Además, las temperaturas a las cuales se determinan la densidad y la estabilidad, generalmente, no son iguales.

Tabla 11

Efecto de la Densidad en la Prueba Marshall

No. de golpes	Gravedad específica	% de vacíos	% de vacíos en el agregado mineral	Estabilidad (Lb)	Índice de flujo 0,01*
25	2,382	5,1	17,1	1425	18
50	2,396	4,6	16,6	2300	14,5
75	2,437	2,9	15,2	2300	14
25	2,395	1,5	13,8	1550	20,5
50	2,422	0,4	12,8	1750	19,5
75	2,433	0	12,4	1500	22,5

Nota. The Asphalt Institute's Manual

Durabilidad

La durabilidad comprende todas las características que permiten una mayor vida de servicio del concreto asfáltico, como ser:

- Resistencia del asfalto a endurecerse durante la operación de mezcla.
- Resistencia al efecto abrasivo del tránsito.
- Resistencia a la acción destructiva de los agentes atmosféricos (aire, agua, cambios de temperatura).
- Flexibilidad suficiente para resistir roturas por la aplicación repetida de las cargas.



Cantidad de Asfalto en la Mezcla

Una de las principales funciones del asfalto es mantener a los agregados conectados bajo los efectos abrasivos del tránsito, se cumple siempre y cuando haya una cantidad considerada de asfalto para amarrar los agregados.

El Ensayo Abrasión mide la resistencia del asfalto contra el desgaste, se recomienda:

- a) Uso de asfaltos de baja susceptibilidad térmica.
- b) Uso de un asfalto tan blando, como la compatibilidad con la estabilidad lo permita.
- c) Uso de gruesas películas de asfalto.

Métodos de Diseño

El diseño de mezclas asfálticas en caliente se realiza mediante pruebas de estabilidad, utilizando uno de los siguientes métodos: - Método Marshall.

Se definen las características de la mezcla, como la estabilidad como la composición granulométrica y el tipo del agregado, es un índice de calidad del agregado, y debe contar con fluidez para queda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada. El valor del Flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura. Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transitan.

El contenido óptimo de asfalto se determina, de acuerdo con recomendación del Instituto del Asfalto (Manual MS - 2), a través de la media aritmética de los porcentajes que llevan a:

- La máxima estabilidad -
- La máxima densidad de la mezcla y –
- Al volumen de vacíos de aire especificado.
- Esta media debe ser verificada en relación al valor de la Fluencia y a los vacíos del agregado mineral (VAM), a fin de asegurar que la mezcla contenga un volumen de asfalto (Vb) suficiente, sin que el volumen de vacíos de aire (Vv) sea reducido



a un valor inaceptable. Si no se cumplen las especificaciones, la granulometría del agregado debe ser modificada.

El método Marshall usa muestras de prueba normalizadas (briquetas) de 2 y ½” de espesor por 4” de diámetro (64 x 102 mm). – Se selecciona el agregado que cumpla con las especificaciones requeridas.

El tipo y grado del asfalto, de acuerdo al tipo de agregado y las condiciones climáticas. Para determinar el contenido óptimo de asfalto se preparan y compactan una serie de muestras de prueba (briquetas), con distintos porcentajes de asfalto cuyo rango

de variación no debe ser mayor a 0,5%. Como mínimo se debe incluir dos porcentajes por encima y dos por debajo del óptimo de contenido de asfalto estimado.

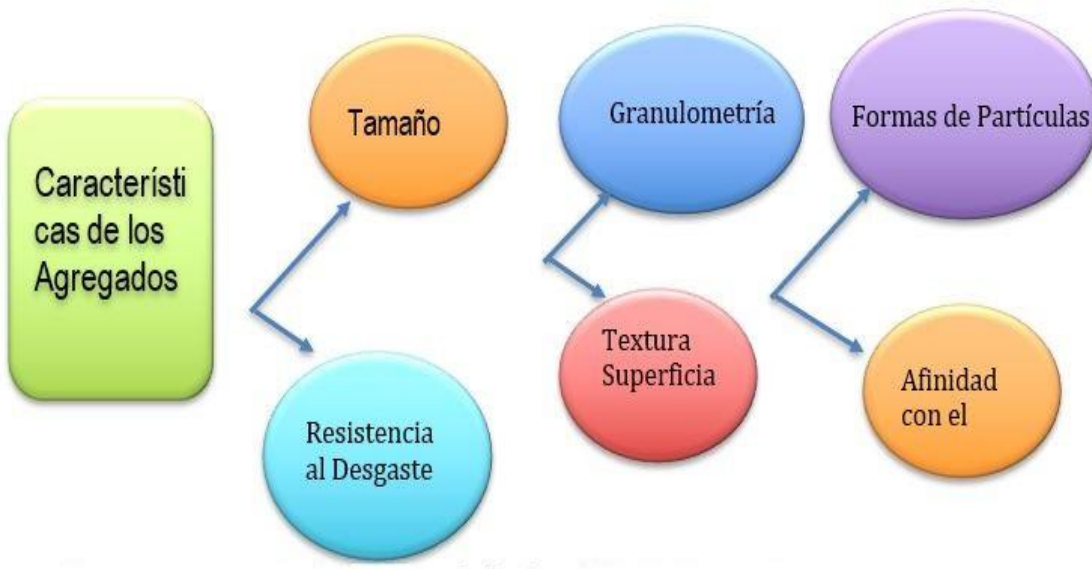
En la práctica se observa que el contenido óptimo de asfalto se encuentra alrededor del 6 %, con referencia al peso de los agregados pétreos. Mayores porcentajes deben conducir a una verificación cuidadosa del diseño de la mezcla.

Para verificar la idoneidad de los datos se deben hacer tres muestras (briquetas) por cada contenido de asfalto. Generalmente para un diseño, se deben tomar 6 porcentajes de Diseño de Mezclas Asfálticas Método, por lo cual se requerirán 18 briquetas. Adicionalmente se deben incluir 6 briquetas para determinar los efectos del agua en la estabilidad y el flujo.

Aproximadamente para cada briqueta, se necesitan 1200 g de agregados, por lo cual la cantidad representativa de los agregados debe tener un peso mínimo de 29 kg (65 lb). Además, se requerirá aproximadamente un galón de asfalto.



Figura 5 Principales características de los agregados



Nota. Diseño de la Mezcla Asfáltica en Caliente – Método Marshall

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes características:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a fatiga
- Resistencia al deslizamiento
- Impermeabilidad
- Trabajabilidad

Metodología El método original de Marshall

Solo es usado a mezclas asfáltica en caliente y los agregados a un tamaño máximo 25 mm (1”), con la finalidad de observar el comportamiento en campo, se realiza en especímenes cilíndricos de prueba de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de



diámetro. Estos se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559).

Los aspectos más importantes en el método Marshall de diseño de mezclas, son la densidad-análisis de vacíos, la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en Newtons que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100"), que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

Granulometría de proyecto La granulometría del presente estudio está basada en las especificaciones de la INVIAS, la cual indica que la composición de la mezcla asfáltica debe satisfacer los requisitos de granulometría mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 12

Comparativo de Licitación en Pavimento Articulado y Pavimento Tradicional (vigencia 2021)

No del Proceso	Objeto	ML	Precio
SAMC 001 2021 2021-06-16 Link: https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=21-11-12053545	Construcción De Pavimento Articulado (adoquina miento) Destinado Para El Barrio San Antonio, Casco Urbano Del Municipio De Cumbal	113 ml	186.752.143,46



No del Proceso	Objeto	ML	Precio
2- SA-2021-14 2021-08-13 Link: file:///D:/YUDY/Datos/2021/56.%20ACCIONES%20AUTOEVALUACION- %20INVENTARIO/RESOLUCION/10.%20TECNOLOG%3%8DA%20PROYECTOS%20DE%20DESARROLLO%20ECON%3%93MICO%20Y%20SOCIAL/Formulario%201.%20de%20Presupuesto%20Oficial%20Pandiaco%20Morasurco%20(1).pdf SECOP ii	Una vez realizada la obra, el mejoramiento con pavimento rígido carrera 43a entre calles 21 y 22 barrio Morasurco y mejoramiento con pavimento rígido calle 18a entre carreras 41 y 42 barrio pandeado del municipio de pasto, a precios unitarios fijos.	168 ml	355.067.104

Realizando la comparación podemos concluir que:

Los dos presupuestos cuentan con las siguientes actividades.

Tabla 13

ACTIVIDAD	01-SAMC 001 2021- Pavimento Articulado	02-SA-2021-14- Pavimento Rígido	CONCLUSIÓN
Localización y replanteo- ML	1.443	5.503	El ml es más costoso el del proceso No.2



ACTIVIDAD	01-SAMC 001 2021- Pavimento Articulado	02-SA-2021-14- Pavimento Rígido	CONCLUSIÓN
Excavación en material común de la explanación, canales M3	15.745	9.522	El M3 es más costoso que el Proceso No 01.
Relleno conformación en la calzada con material afirmado	71.633	33.533	
Base Granular	149.890	115.332	Más alto el precio del proceso No.1
Adoquín en concreto	133.196 m ²		Aplica el Proceso No.1
Mezcla Caliente – y losa en concreto rígido , espesor 20 cm		908.086 M3 139.834 Total : 1.047.920	Proceso No.2 Lleva Mezcla Caliente y losa en concreto.
Sumas Actividades más representativas	371.907	1.211.813	Teniendo en cuenta que el proceso No.2 Cuenta con 168 ml y el proceso No 1 cuenta con 113 ml podemos decir que el Proceso No 1 cuenta con una diferencia de 55 ml menos que el Proceso No 2, pero de igual manera el costo es más elevado en el Procesos No. 2.

Nota. Elaboración Propia



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según los datos de la Secretaría de Infraestructura y vías del Municipio de Pitalito (2020), la malla vial urbana y la de los centros poblados se estima entre los 160 y 180 km, de los cuales un 70% se encuentra en afirmado y el 30% restante está construido en su mayoría en concreto rígido, incluido pavimento flexible en asfalto, asfalto natural y pavimentos tipo adoquín cerámico y de concreto. (Pita, 2019)

La malla vial urbana, se ha visto afectada por frecuentes deterioros, debido al constante flujo vehicular, deficiencias en la construcción, factores ambientales, o simplemente por haber cumplido su vida útil; impidiendo a los habitantes realizar sus actividades comerciales, particulares y peatonales de manera cómoda y segura, afectando también la estética de la ciudad y sus procesos de desarrollo.

Adicional a ello, las vías se ven afectadas por las reparaciones de las empresas prestadoras de servicios públicos, que generan parches en las áreas donde el pavimento original es removido y reemplazado por un material similar o diferente, que generalmente es estructuralmente insuficiente o se construye con mezclas asfálticas mal diseñadas que por lo general se deterioran rápidamente.

Los limitados recursos de la Administración Municipal para el mantenimiento de las vías urbanas, sumado a la falta de conocimientos técnicos para la implementación de una adecuada gestión vial con procedimientos formales, ha ocasionado como consecuencia el mantenimiento reactivo o la reconstrucción de vías cuyo costo es más elevado que el mantenimiento preventivo.

Por tal motivo, se hace necesario evaluar nuevas alternativas para el mantenimiento de la red vial del Municipio, que permitan una solución más durable en el tiempo, optimizando el uso y aprovechamiento de los recursos existentes generando nuevos conocimientos y tecnologías que permitan un ahorro económico y un mejoramiento técnico amigable con el medio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo General

Validar el uso del adoquín en asfalto y granulado de caucho reciclado para su uso en la rehabilitación vial urbana del Municipio de Pitalito.

Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones de resistencia del adoquín bajo las cargas dinámicas del flujo vehicular urbano en el Municipio de Pitalito.
- Construir un tramo de prueba conforme a la norma, para la medición de la funcionalidad del adoquín y realizar pruebas de resistencia, desgaste y fatiga.
- Generar una propuesta alternativa de rehabilitación de vías en adoquín en asfalto y GRC (grano de caucho reciclado) con procedimientos formales para su construcción y mantenimiento.



JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento de la infraestructura vial es un tema de relevada importancia en los últimos años, dada la necesidad de disponer de vías en buen estado para lograr óptimas condiciones de transporte y movilidad, así como incrementar las condiciones de competitividad y desarrollo local.

El mantenimiento de la red vial, es un aspecto que permite obtener beneficios técnicos por la conservación de calles y carreteras y la prolongación de su vida útil, así como beneficios económicos por la disminución de costos globales de reparaciones de gran envergadura.

A nivel mundial se ha ampliado de forma importante el panorama en cuanto a nuevas tendencias de preservación, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura vial, lo que ha generado la posibilidad de aplicar tecnologías innovadoras consideradas como efectivas desde el punto de vista técnico, y a la vez económicamente viables.

Por tal motivo, en la presente investigación se pretende validar el uso del adoquín en asfalto y GRC (grano de caucho reciclado) en el parcheo de vías urbanas del Municipio de Pitalito, construyendo franjas longitudinales completas, teniendo en cuenta que este material ha sido utilizado en la construcción de pavimentos articulados, andenes, parques y otros espacios de uso peatonal, pero aún no es común su uso en obras de parcheo y reparación vial.

De igual manera, la identificación de las condiciones de resistencia de este tipo adoquín, respecto a las cargas dinámicas del flujo vehicular del Municipio de Pitalito en el parcheo de vías, generará una nueva alternativa de parcheo para el municipio y los ejecutores de obras de mantenimiento vial, que además de cumplir con los requerimientos de funcionalidad del pavimento se convierte en una opción eficiente, de alta durabilidad y bajo costo.

El surgimiento de nuevas alternativas para la prolongación de la vida útil de la malla vial, se convierten en una necesidad primordial para un estado que cuenta con recursos limitados para el mantenimiento y desarrollo de su infraestructura vial y que requiere inversiones constantes especialmente en la ampliación y conservación de vías de acceso y comunicación que favorezcan la competitividad y la calidad de vida de las personas.

HIPÓTESIS

El Adoquín elaborado en asfalto granulado de llantas recicladas, cumple con las condiciones de resistencia bajo las cargas dinámicas del flujo vehicular urbano en el Municipio de Pitalito y puede ser utilizado en labores de rehabilitación de vías mediante la construcción de franjas longitudinales completas.



ALCANCES Y LIMITACIONES

Con el desarrollo al estudio experimental se identifican las condiciones de resistencia del adoquín elaborado en asfalto y GRC (grano de caucho reciclado), respecto a las cargas dinámicas del flujo vehicular urbano del Municipio de Pitalito.

Se realizará un análisis del comportamiento de este tipo adoquín en otros usos, tales como vías peatonales, vías internas de conjuntos residenciales y parques para tener un referente del potencial comportamiento en parcheo de vías.

Se obtendrá un análisis comparativo entre los métodos tradicionales de parcheo utilizados en este Municipio y el uso del adoquín teniendo en cuenta factores, económicos, sociales y ambientales.

Con los resultados obtenidos se generará una propuesta con los procedimientos formales de instalación y mantenimiento (preventivo y curativo) para la realización de parcheo de vías con este tipo de adoquín.

Este estudio contribuye al proceso de observación del comportamiento del “adoquín avanzado” y en los pavimentos articulados.

El estudio se limita a la revisión de información bibliográfica y experiencias en otros campos de aplicación del adoquín para tener un referente del posible comportamiento en el parcheo de vías. Incluye la construcción de un tramo de prueba en el cual se observará el comportamiento del adoquín en un tramo (6 ml x 2mL) vial en la ciudad de Pitalito Huila.

METODOLOGÍA

El estudio experimental, busca observar el comportamiento del adoquín en la vía con el fin de identificar el estado de acuerdo con el tránsito vehicular.

Se basa en una aplicación más inmediata sobre una problemática, antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal, ya que se plantea el uso del adoquín elaborado en asfalto y grano de caucho reciclado como una opción viable y duradera para el parcheo de vías de este Municipio, permitiendo con ello dar una solución para el mejoramiento de la malla vial urbana en este territorio que presenta altos índices de deterioro, así como el uso eficiente de los recursos disponibles para este fin.

Enfoque del Estudio Experimental.

Se aborda desde el enfoque cualitativo, teniendo en cuenta que involucran la recolección de datos utilizando técnicas que no pretenden hacer medición numérica, tales como descripciones, observaciones, revisión de documentos, experiencias, etc.

Procedimiento del Estudio Experimental

Teniendo en cuenta el tipo y enfoque planteados anteriormente, el estudio experimental se realiza a través de las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica: se realiza mediante la consulta de libros, tesis, investigaciones, normas, publicaciones, sobre principales fallas y deterioros en las vías, métodos de parcheo y características y usos del adoquín elaborado en asfalto y grano de caucho reciclado, para tener un referente teórico y antecedentes del problema de investigación.
- Consulta con expertos y trabajo de campo: establecimiento de contactos, charlas y reuniones con personas y profesionales que han participado en la implementación de métodos de parcheo y han realizado obras utilizando el adoquín en asfalto como material para la construcción de vías, andenes, parques y similares. Así mismo se efectuarán visitas a algunos tramos viales del Municipio de Pitalito para identificar los tipos de parcheo ejecutados y los materiales utilizados.
- Construcción de un tramo de prueba para la rehabilitación de una vía que presente deterioro, con el fin de identificar el proceso constructivo del método planteado, el cálculo de costos y así la observación de su desempeño para obtener



conclusiones que permitan determinar la viabilidad de su uso como método de recuperación del sistema vial urbano del municipio de Pitalito.

PLAN DE TRABAJO

El desarrollo de la investigación comprende las actividades relacionadas en el siguiente cronograma de trabajo:

Tabla 14

Cronograma del Estudio Experimental



CRONOGRAMA																	
ITEM	ACTIVIDAD	Mayo			Junio				Julio				Agosto				
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
1	Identificación de lineamientos conceptuales y teóricos del problema.																
2.	Revisión bibliográfica de componentes conceptuales y metodológicos para el desarrollo de la investigación																
4	Visita de campo para la identificación de los principales deterioros sufridos por las vías urbanas del Municipio.																
5	Solicitud de permiso en secretaria de Vías del Municipio de Pitalito para intervenir tramo vial.																
6.	Diseño de Mezcla.(Planta que suministra la mezcla- y la concertación de la empresa que alquilara el equipo para la construcción del adoquín)-																
7.	Ensayos a los materiales que componen la mezcla asfáltica																
8	Construcción del tramo de prueba																
9	Realización aforo de vehículos que transitan por la vía																
10	Construcción de procedimientos formales para la instalación y mantenimiento de tramos de rehabilitación en adoquín en asfalto y granulado de caucho reciclado.																
11.	Observación al comportamiento del adoquín instalado en la vía																
12	Presentación del informe final.																

Nota. Elaboración Propia. 2021.



Tabla 15

PRESUPUESTO

Objeto Construcción de 6 m² en Pavimento Articulado con Granulo de Caucho Reciclado en el Municipio de Pitalito Huila.

Nº Ítem	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
PRELIMINARES					
1.1	Localización y replanteo de la vía	m ²	6,00	\$ 1.443,00	\$ 8.658,00
1.2	Señalización y cerramiento	m ²	6,00	\$6.000,00	\$ 36.000,00
Subtotal					\$ 44.658,00
EXCAVACIONES					
2.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m ³	8,40	\$ 15.745,60	\$ 132.263,04
Subtotal					\$ 132.263,04
CONFORMACIÓN Y RELLENOS					
3.1	Conformación de la calzada existente	m ²	6,00	\$ 920,40	\$ 5.522,40



Nº Ítem	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3.2	relleno y conformación en la calzada con material de afirmado para perfilado de la vía	m ³	3,06	\$71.693,70	\$ 219.382,72
Subtotal					\$ 224.905,12

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

4.1	Base granular clase c (arena)	m ³	2,40	\$70.000,00	\$ 168.000,00
4.2	Pavimento de adoquines de concreto	m ²	6,00	\$40.000,00	\$ 240.000,00
	Instalada	m ²	6,00	\$12.000,00	\$ 72.000,00
Subtotal					\$ 480.000,00

TRANSPORTES

8.1	Transporte de materiales provenientes de las excavaciones	m ³ -km	4,00	\$30.000,00	\$ 120.000,00
Subtotal					\$ 120.000,00

SUBTOTAL OBRAS

**\$
1.001.826,16**



Nota. El presupuesto para construir un tramo de 6 m² en adoquines con granulo de caucho usado es de un millón mil ochocientos veintiséis pesos M/CTE (\$1.001.826).

DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolla iniciando con la elaboración del adoquín en asfalto y grano de caucho reciclado Tipo No 1 para ser utilizado como material principal en la construcción del tramo de prueba.

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 sesión de junta oblicua de 8cm x 16cm, la junta mínima entre elementos es de 5 mm y sellada con arena asfalto.

El adoquín con gránulo persigue con la modificación de la fórmula de mezcla es contar con ligantes a temperaturas elevadas con la finalidad de contar con una mezcla apta para construir los adoquines con mejores características y observar su comportamiento al ser sometidos a la circulación de vehículos,

Figura 6

Adoquín en Asfalto reciclado y GCR



Nota. Elaboración Propia. 2021. Planta Inducom.



Las etapas de desarrollo del estudio experimental comprenden las siguientes actividades:

Se procedió a la elaboración de adoquines tipo 1 (24cm x 16cm x 6cm), utilizando los siguientes materiales:

Instructivo para el Diseño de la Mezcla

Diseño de la Mezcla en Laboratorio y Producción para Tramo de Prueba y la Elaboración de Adoquines (GCR)

1. Diseño de Mezcla de la siguiente manera (Planta Inducom)-Pitalito Huila

Agregados pétreos y llenante mineral:

Los Agregados deberán cumplir los requisitos de calidad de acuerdo con el Artículo 400 de las especificaciones INVIAS-07. El numeral 400.2-1 deberá poseer una naturaleza tal, que, al aplicarle una película del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción combinada del agua y del tránsito.

El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena.

EL asfalto, Gravilla, y Arena fue suministrada en la planta Inducom

Y el granulo de caucho usado fue comprado en la empresa RECICLAR en la ciudad de Bogotá a 2000 kilos de los cuales se compraron 25 kilos. fijadas en la Tabla 1.

Tabla 16

Materiales utilizados

Producto	Porcentaje
Asfalto	5%
Granulo de Caucho Reciclado (GCR)	25%
Arena	25%
Gravilla (3/4) ,(11/16)	45%
Total	100%

Nota. Fórmula de la Mezcla Asfáltica con Granulo de Caucho Usado. Elaboración propia



Para el control de la producción de la mezcla asfáltica con Granulo de Caucho Reciclado se tomaron muestras a los materiales que componen la mezcla de acuerdo al método implementado por el instituto Nacional de vías (INVIAS), se realizaron los siguientes ensayos en el laboratorio INDUSUELOS ubicado en la ciudad de Pitalito Huila.

Análisis granulométrico - por tamizado inv. e. 123 - 450-13.

Análisis granulométrico – por tamizado inv. E. 123 – 450-13.

Peso específico de las mezclas asfálticas.

Peso específico y absorción del agregado fino INV-E 223-450-13.

Ensayo de caras fracturadas INV-E-227-450-13.

Ensayo de alargamientos y aplanamiento INV-E-230-450-13.

Ensayo de equivalente de arena INV-E-133-450-13.

Ensayo de azul de metileno en agregados finos y llenante mineral INV-E-235-450-

Fabricación de la mezcla asfáltica

Todos los agregados se calentaron a una temperatura 180°C, siendo una temperatura conveniente para que se tenga un buen cubrimiento de los agregados. Todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla recién elaborada y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante (asfalto).

Primero se mezclan los agregados y luego el ligante.

Figura 7



Nota. Elaboración Propia. 2021.

Figura 8



Nota. Elaboración Propia. 2021.



Figura 9



Nota. Elaboración Propia. 2021.

Figura 10



Nota. Elaboración Propia. 2021.



Figura 11



Nota. Elaboración Propia. 2021.

Figura 12



Nota. Elaboración Propia. 2021.

Figura 13



Nota. Elaboración Propia. 2021.

La mezcla se transportó en una volqueta cargada a la fábrica de adoquines Arcilla Arva (Km 10 vía San Agustín Huila) quien contó con los moldes para fabricar los adoquines.

Se usaron una formaleta a escala real, con medidas de 24 cm X 12 cm X 6 cm y otra con las mismas dimensiones de ancho y largo. El producto obtenido se presenta en la siguiente figura:

Figura 14

Formaleta para elaboración de adoquines.



Nota. Elaboración Propia. 2021.

Figura 15

Adoquines Elaborados



Nota. Elaboración Propia. 2021.



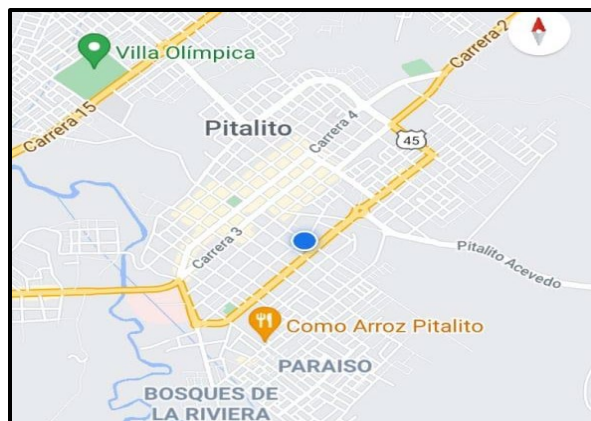
Durante la caracterización a los materiales que componen la mezcla se efectuaron los siguientes ensayos en atención a la normatividad de INVIAS.

- Análisis granulométrico - por tamizado inv. e. 123 - 450-13.
- Análisis granulométrico - por tamizado inv. e. 123 - 450-13.
- Peso específico de las mezclas asfálticas.
- Peso específico y absorción del agregado fino INVE 223-450-13.
- Ensayo de caras fracturadas INV-e-227-450-13.
- Ensayo de alargamientos y aplanamiento INV-e-230-450-13.
- Ensayo de equivalente de arena INV-e-133-450-13.
- Ensayo de azul de metileno en agregados finos y llenante mineral inv-e-235-450-13.
- Desgaste de los agregados INV-e-218,219-450-13.

Caracterización geotécnica del tramo de prueba

La losa de prueba se construye sobre la cra 6 en intersección de la calle 1A, en el sector céntrico de la ciudad de Pitalito la cual presenta un flujo vehicular medio de tráfico liviano en el Municipio de Pitalito Huila. De acuerdo con visita previa al lugar autorizado por la secretaría de vías e infraestructura se identificó que ésta presenta un deterioro por baches.

Figura 16



Localización del Tramo de Prueba

Nota. Google. (s.f.). Pitalito. <https://goo.gl/maps>

Figura 17

Tramo Para Intervenir



Nota. Elaboración propia. 2021

El deterioro se presenta en el tramo construido en asfalto, por lo cual se procedió a realizar el proceso de rehabilitación, con el fin de recuperar el tramo deteriorado mediante la instalación de adoquines en asfalto y grano de caucho reciclado.

Diseño del Tramo de Parcheo

El tramo para rehabilitar tiene un área de 6 m² (6 ancho x 1 m de largo) abarcando la longitud completa. El diseño de instalación de los adoquines se realizó de manera lineal en la dirección del tráfico.

Figura 18

Diseño de instalación



Nota. Elaboración propia. 2021

Figura 19

Construcción de la Losa



Nota. Elaboración propia. 2021

El día 12 de mayo de 2021 se llevó a cabo la construcción del tramo de prueba, donde previamente se solicitó permiso y autorización por parte de la Secretaría de Vías e infraestructura del municipio de Pitalito para llevar a cabo, el cierre de la vía, la excavación y construcción de la losa, que cuenta con las siguientes características:



Tabla 17

Características de la Loza de Prueba

CARACTERÍSTICA	HUECO	UNIDAD
Largo	1,2	m
Ancho	0,50	m
Área	0,6	m ²
Profundidad	0,48	m
Excavación	7,56	m ³
Volumen de piedras	0,34	m ³
Volumen subbase granular (30 cm)	4,39	m ³
Volumen de arena (5cm)	0,73	m ³

Nota. Elaboración propia. 2021

El proceso constructivo se inició con la demarcación del área a intervenir y el corte del mismo para proceder a la construcción de las capas.

Figura 20

Demarcación del Área a Rehabilitar



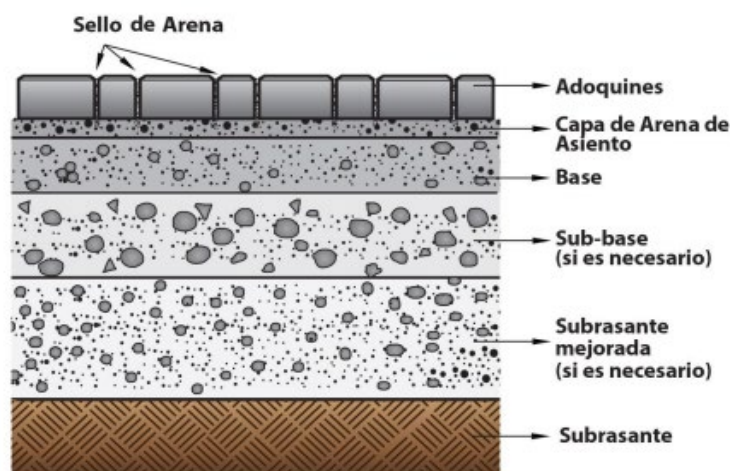
Nota. Elaboración propia. 2021

Proceso Constructivo

El proceso de construcción del tramo de prueba tuvo una duración de un (1) día, a cargo de los autores del proyecto y el apoyo de personal para la ejecución de labores operativas de construcción. Durante la obra se llevaron a cabo procesos constructivos como excavación y replanteo, toma de niveles, compactación de las capas estructurales del pavimento y la colocación del Adoquín en patrón de hiladas y sellado de juntas de arena. En este proceso se desarrollaron las siguientes etapas:

Figura 21

Adoquín en Patrón de Hiladas y Sellado de Juntas de Arena.



Nota. Tomado de guía de instalación adoquines iccg - octubre 2014-sitio web

Construcción de subrasante: Se realizó la excavación del terreno a la profundidad que indica el estudio de suelos.

Construcción de la base: Se construyó con material granular B 200 compactado, de 10 cm de espesor. Esta capa tiene por finalidad, la de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la subbase y por medio de ésta al terreno de fundación.

El espesor de la base fue determinado de acuerdo con la guía de instalación de adoquines de concreto en la cual define los espesores de acuerdo al tránsito vehicular.



Tabla 18

Tipo de Tránsito

TIPO DE TRÁNSITO

CATEGORÍA A SUELO	Clase A (cm)	Clase B (cm)	Clase C (cm)
S1	20	10-22	10
S2	26	14-22	10
S3	32	17-28	10

Nota. Tomado de *guía de instalación adoquines iccg - octubre 2014-sitio web*

La clase B se utiliza para vías con tránsito liviano entre no transitan camiones, mulas o maquinaria pesada, se clasifica en un suelo 1 Clase B, por lo tanto, se compacta una subbase de 10 cm.

Una vez colocados los bordillos y terminado el proceso constructivo de la base se procedió a regar y tender a mano la arena con una pala con el fin de obtener una cama uniforme sin compactar con un espesor de 4 cm.

Figura 22

Elaboración de Cama de Arena



Nota. Elaboración propia. 2021

Una vez colocada la capa de arena se procedió a realizar la compactación utilizando un vibro compactador y se realiza barrido final.

Figura 23

Compactación de Cama de Arena



Nota. Elaboración propia. 2021

Posterior a ello se procede a la colocación de los adoquines, como se indicó anteriormente en forma lineal y en dirección del tráfico y finalmente se compactaron ligeramente. Se extendieron convenientemente para conseguir una capa uniforme de 3 a 5 cm. de espesor y se niveló cuidadosamente a 1 o 2 cm. más de altura que su cota definitiva, debido a la disminución que experimentaría al colocar y vibrar el adoquín, quedo nivelado a través del hilo pasándolo de lado a lado.

Figura 24

Instalación de adoquines



Nota. Elaboración propia. 2021

Sellado de juntas: este proceso se realizó utilizando arena y asfalto para garantizar drenaje, sin arrastre de material (como en el caso de la arena) y evitar aposamiento de agua, se manejó un ancho de junta de 500 mm y un escalonamiento de adoquines de 5mm.

Desempeño del Tramo de Prueba

Una vez construido el tramo de rehabilitación se dejó en reposo por un periodo de 24 horas, para garantizar el adecuado sellado de las juntas.

Para la validación en campo se empleó la carga de vehículos con pesos entre 0,5 y 1,2 Ton, con los cuales se realizó la prueba de desempeño del tramo como se observa en la siguiente figura.

Figura 25

Validación en Campo.



Nota. Elaboración propia. 2021

Lectura de vehículos que transitan por el lugar

Se realizó un conteo diario de vehículos que transitan por la vía durante un periodo de una semana comprendida entre el sábado 22 - 28 de mayo para llevar un análisis controlado del tránsito vehicular por esta vía, encontrándose que sobre esta zona transitan principalmente vehículos livianos tipo automóvil, buses

En la siguiente tabla se presenta el resumen de aforo diario de vehículos que circularon durante esta semana sobre el tramo construido.

Tabla 19

Aforo de Vehículos 22 – 28 de mayo de 2020

DIA	fecha	Intervalo de tiempo	Flujo cada día vehículos Bus+ Buseta +Camión (Cada 15 Minutos)	Flujo 16 Horas 5Am a 9Pm	Flujo cada hora (vehículos)	Flujo cada 15 minutos (vehículos)
Martes	17/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	372	93	23	6
Miércoles	18/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	497	124	31	8
Jueves	19/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	472	118	30	7



DIA	fecha	Intervalo de tiempo	Flujo cada día vehículos Bus+ Buseta +Camión (Cada Minutos)	Flujo 16 Horas 5Am a 9Pm	Flujo cada hora (vehículos)	Flujo cada 15 minutos (vehículos)
Vierne s	20/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	487	122	30	8
Sábada o	21/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	604	151	38	9
Domin go	22/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	488	122	31	8
Lunes	23/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	612	153	38	10
Marte s	24/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	455	114	28	7
Miérc oles	25/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	580	145	36	9
Jueve s	26/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	421	105	26	7
Vierne s	27/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	491	123	31	8
Sábada o	28/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	585	146	37	9
Domin go	29/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	465	116	29	7
Lunes	30/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	589	147	37	9
Marte s	31/08/2 021	5:00 AM a 9:00 PM	502	126	31	8

Nota. Elaboración propia

Tabla 20

Total, Vehículos por Día



DIA	fecha	Intervalo de tiempo	AUTOS	BUS	BUSETA	CAMIÓN	TOTAL AUTOS +BUSES+CAMIÓN X DIA
Martes	17/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	235	39	56	13	343
Miércoles	18/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	294	64	67	17	442
Jueves	19/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	251	70	84	15	420
Viernes	20/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	244	67	64	15	390
Sábado	21/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	448	61	74	21	604
Domingo	22/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	355	66	63	1	485
Lunes	23/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	332	70	72	12	486
Martes	24/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	328	54	62	11	455
Miércoles	25/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	316	73	76	20	485
Jueves	26/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	248	58	81	16	403
Viernes	27/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	268	59	66	16	409
Sábado	28/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	403	64	59	28	554
Domingo	29/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	275	74	66	0	415
Lunes	30/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	255	63	72	8	398



DIA	fecha	Intervalo de tiempo		AUTOS	BUS	BUSETA	CAMION	TOTAL AUTOS +BUSES+CAMIÓN X DIA
Martes	31/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM		239	70	72	6	387
Total				4491,00	952,00	1034,00	199,00	6676,00
Promedio				299,40	63,47	68,93	13,27	445,07

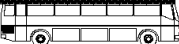
Como se observa en la tabla anterior, el flujo vehicular en este trayecto en un promedio diario de 299,40 automóviles, 63 vehículos tipo bus y 13 camiones diarios.

Durante los 15 días se observó cuidadosamente el desempeño del tramo instalado con el fin de verificar posibles deterioros, roturas, fisuras y deformaciones que hubiese podido tener producto de la presión ejercida por el tránsito de vehículos.

Es de anotar que se requiere continuar con el proceso de observación frecuente para confirmar el periodo de vida útil que tendrá el tramo construido, en lo cual la Secretaría de Vías e Infraestructura realizará el proceso de seguimiento en los próximos meses para el análisis de este método como una alternativa viable en las labores de rehabilitación vial del Municipio.

Figura 26

Formato Utilizado para Cálculo de Aforo de Vehículos

FECHA		PROYECTO: USO DEL ADOQUIN EN ASFALTO Y GRANULADO DE AFORO VEHICULAR		VIGENCIA POR SEIS AÑOS	
Fecha (D.M.A)		AGOSTO 31 DEL 2021		Estación de Aforo:	
Coordinador:					
Aforador: YUDY MARIBEL NAVARRETE					
Condicion climática:					
HORA					
FECHA					
31 de agosto 2021					
	4491.00	952.00	1034.00		199.00

Nota. Elaboración propia. 2021

Análisis de costos y presupuestos

El análisis de los costos del proyecto se realizó teniendo en cuenta el valor de los insumos utilizados en la construcción de la loza de prueba, la mano de obra y la maquinaria y equipos requeridos, teniendo en cuenta los costos unitarios manejados por la secretaría de vías e infraestructura del Municipio de Pitalito para este tipo de labores.

Costos de producción adoquín tipo 1

En la siguiente tabla se presentan los costos en los que se debe incurrir para la elaboración de una unidad de adoquín.

Tabla 21

Costos de Producción Adoquín Tipo 1

Producto	Unidad	Cantidad	P/Unitario	P/total	Mano de obra
Mezcla asfáltica (agregado fino, gravilla, y granulo de caucho usado)	M3	0,36	500.000	180.000	120.000
ladrillo (molde)	Unidad	300	500	150.000	
total					450.000

Nota. Elaboración propia. 2021



Costos de instalación de Pavimento Articulado (m²) de acuerdo con las especificaciones del terreno

En la siguiente tabla se presentan los costos en los que se debe incurrir para la instalación de un tramo de 1 m² de adoquín.

Tabla 22

Costos de Instalación Adoquín Tipo 1

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
PRELIMINARES					
1.1	Localización y replanteo de la vía	m ²	6,00	\$1.443,00	\$ 8.658,00
1.2	Señalización y cerramiento	m ²	6,00	\$ 6.000,00	\$ 36.000,00
Subtotal					\$ 44.658,00
EXCAVACIONES					
2.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m ³	8,40	\$ 15.745,60	\$ 132.263,04
Subtotal					\$ 132.263,04
CONFORMACIÓN Y RELLENOS					



ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3.1	Conformación de la calzada existente	m ²	6,00	\$ 920,40	\$ 5.522,40
3.2	Relleno y conformación en la calzada con material de afirmado para perfilado de la vía	m ³	3,06	\$ 71.693,70	\$ 219.382,72
Subtotal					\$ 224.905,12

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

4.1	Base granular clase c (arena)	m ³	2,40	\$ 70.000,00	\$ 168.000,00
4.2	Pavimento de adoquines de concreto	m ²	6,00	\$ 40.000,00	\$ 240.000,00
	Instalada	m ²	6,00	\$ 12.000,00	\$ 72.000,00
Subtotal					\$ 480.000,00

TRANSPORTES

8.1	Transporte de materiales provenientes de las excavaciones	m ³	4,00	\$ 30.000,00	\$ 120.000,00
-----	---	----------------	------	--------------	---------------



ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Subtotal					\$ 120.000,00
SUBTOTAL OBRAS					\$ 1.001.826,16

Nota. Elaboración propia.2021

De acuerdo con la tabla anterior y teniendo en cuenta que el valor corresponde al total del tramo construido (6 m²), el m² de rehabilitación de vías utilizando este método tendría un costo de Un Millón un Mil Ochocientos Veinte y Seis Mil (\$ 1.001.826,16). El Metro cuadrado cuenta con un costo (\$.166.971,03).

En la siguiente tabla se presentan los costos estimados para la rehabilitación vial en el Municipio de Pitalito mediante el método más frecuente (Mezcla asfáltica en caliente).

Tabla 23

Costos de Rehabilitación Vial en Asfalto – Municipio de Pitalito

Presupuesto General				
Rehabilitación vía pavimento Flexible- Municipio de Pitalito Huila				
Actividad	Unidad	Cantidad	Unitario	Total
Replanteo General	m ²	1	574	574
Demolición de Pavimento Asfáltico	m ³	1	26.649	26.649
Excavación manual en material común (Incluye cargue)	m ³	1	4.568	4.568
Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado	m ³	1	31.756	31.756
Nivelación y compactación de subrasante	m ²	1	1.174	1.174



Presupuesto General

Estabilización de subrasante (incluye equipo de compactación)	m ³	1	93.373	93.373
Geotextil NT 4000 para separación de subrasante/capas granulares	m ²	1	12.835	12.835
Subbase granular clase A (suministro, extendido, nivelación, humedecimiento y compactación)	m ³	1	117.396	117.396
Base granular clase A (suministro, extendido, nivelación, humedecimiento y compactación)	m ³	1	129.660	129.660
Geo celda HDPE perforada altura 15 cm (suministro e instalación)	m ²	1	36.707	36.707
Mezcla Asfáltica en caliente tipo MD20 Asfalto convencional (Suministro, extendido, nivelación y compactación)	m ³	1	598.297	598.297
Imprimación con emulsión asfáltica (suministro, barrido superficie y riego)	m ²	1	1.913	1.913
Riego de Liga con emulsión asfáltica CRR2 (suministro barrido, superficie y riego)	m ²	1	505	505
				0
				\$ 1.055.407

Nota. Secretaria de vías e infraestructura Municipio de Pitalito.2020

Procedimiento formal para la rehabilitación de vías con adoquín en asfalto y grano de caucho reciclado

El procedimiento formal de instalación del adoquín en asfalto reciclado y GCR establece las características de los materiales y recomendaciones para su instalación, mantenimiento y reparación.



Consideraciones de la estructura y materiales del pavimento

Este mecanismo de rehabilitación, al igual que todos los pavimentos estructurados, son estructuras compuestas de varias capas de diferentes materiales que se construyen sobre el terreno natural. Los materiales de cada capa se seleccionan generalmente considerando su disponibilidad y costo.

Descripción de los elementos principales de la estructura del tramo de rehabilitación

Subrasante y sub rasante mejorada: Se deben realizar los estudios del suelo con el fin de determinar la capacidad soporte de los suelos. Puede utilizarse el ensayo California Bearing Ratio (CBR).

La subrasante debe estar conformada de material libre de materia orgánica, que se debe compactar para permitir las labores de construcción de la base. Debe ser lo más homogénea posible, por lo que, si existiera material de calidad inferior en alguna zona y por lo tanto de baja capacidad soporte, es conveniente reemplazarlo por otro material de la calidad requerida.

Subbase y base: Son capas de material colocadas entre la subrasante y la capa de rodadura, que le dan mayor capacidad estructural al pavimento. Puede ser simple o estar compuesta por dos o más capas de materiales diferentes, en cuyo caso se llama subbase a la capa inferior y base a la capa superior.

La base debe tener una densidad uniforme en toda su extensión y profundidad, y este requisito se debe cuidar de manera especial en las zonas cercanas a las estructuras de confinamiento, tragantes para agua pluvial, cajas de inspección, etc., donde el proceso de compactación es más difícil de llevar a cabo. La base cuenta con el siguiente material:

- Material granular (grava con finos, arena o tierra).
- Material granular estabilizado con cemento.
- Suelo-cemento, del espesor indicado en el diseño, podrá ser suelo del lugar, u otro que tenga que acarrear, siempre que los análisis de laboratorio comprueben que son adecuados para la construcción de bases de suelo-cemento.



Espesores para bases granulares

El espesor de las bases granulares para los diferentes tipos de tránsito, se definen a continuación en función de la categoría del suelo, estos espesores son recomendados y podrán variar de acuerdo con las recomendaciones del diseñador, técnicos o a la zona del país

- Suelo categoría 1 (S1): Es de buena calidad y, aun cuando está húmedo, permite el paso de vehículos pesados sin deformarse. CBR 15 o más
- Suelo categoría 2 (S2): Es de calidad intermedia; por lo cual, cuando está húmedo, permite el paso de vehículos pesados con poca deformación. CBR entre 5 y 15
- Suelo categoría 3 (S3): Es de mala calidad; es decir, cuando está húmedo se deforma con el paso de unos pocos vehículos pesados y se hace muy difícil la circulación sobre él. CBR < 5

Capa de Rodadura

Es la capa superior del pavimento que soporta directamente el tránsito. Está compuesta por:

- La cama de arena de asiento
- Los adoquines en asfalto y GCR
- El sello de arena

Por su parte el diseño de los pavimentos a base de adoquines debe considerar dos aspectos fundamentales:

- Diseño geométrico de la vía que determina los niveles y perfiles, los sistemas y las estructuras de drenaje, el confinamiento, el patrón de colocación de los adoquines y demás detalles constructivos.
- Diseño de la estructura del pavimento que se define con base en las características del tránsito esperado durante la vida útil del pavimento y de la subrasante que lo soporta. Define el espesor de los adoquines, y el espesor de las capas de la estructura del pavimento y de los materiales que los constituyen.
- El diseño de cada una de las capas del pavimento con adoquines debe ir relacionado directamente con el tipo de suelo, la vida útil del diseño, tránsito y los materiales constructivos.



Cama de arena de asiento

La cama de arena tiene tres funciones: como filtro para el agua que logre penetrar por las juntas, como capa de soporte para los adoquines y como amarre entre adoquines cuando la arena penetra por las juntas. La cama de arena forma parte de la capa de rodadura de un pavimento de adoquín.

La cama de arena que se coloca directamente sobre la base debe cumplir con los requisitos granulométricos especificados y no poseer más de 3% en peso de limos y arcillas.

Espesor cama de arena de asiento

El espesor de la cama de arena debe estar entre 25 mm y 40 mm. Este dependerá de la calidad de la superficie compactada de la base que se pueda obtener por parte del constructor (a mayor uniformidad, menor espesor).

Granulometría para la cama de arena de asiento

La granulometría de la arena para la cama de arena debajo de los adoquines debe ajustarse a los límites indicados en la siguiente tabla:

Tabla 24

Granulometría para la cama de asiento.

TAMIZ ASTM	Arena para Cama % que pasa, en peso
4,75 mm (No.4)	100
2,36 mm (No.8)	90-100
1,18 mm (No.16)	75-100
600 µm (No.30)	50-95
300 µm (No. 50)	25-60
150 µm (No. 100)	10-30
75 µm (No. 200)	0-15

Nota. Elaboración propia. 2021



El suelo es un material en el que se encuentran mezclas como minerales, granos de diferentes tamaños, roca, gravas, arena, arcilla y limos derivados de las rocas.

La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural (cortes), o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como sucede cuando se someten a una estabilización mecánica (terraplén) o mixtas, estabilización fisicoquímica con aditivos como el cemento Portland, la cal o el asfalto, entre otras, y básicamente es la fundación sobre la cual el pavimento se construirá.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, en especial en lo que se refiere a la resistencia y a los eventuales cambios de volumen, las que pueden ocasionar daños a las estructuras.

Al suelo como material de fundación, se le debe establecer cuál es su resistencia mecánica determinando la relación entre la carga y la deformación unitaria, y dado que la resistencia varía con las condiciones de humedad, compactación y confinamiento, en lo posible, se deben representar en el laboratorio las mismas condiciones del proyecto.

Procedimiento de Instalación

En la construcción de un tramo de rehabilitación se requiere de equipos y herramientas sencillos para el transporte, corte de los adoquines, colocación de la cama de arena, colocación de la arena de sello y el equipo para compactación de los adoquines.

Transporte de los materiales y las herramientas en obra: se emplean carritos de base plana. Para la distribución de los adoquines se emplean los mismos carritos o

carretillas colocándose una tabla en la base y otra que sirva como respaldo para poder apilar los adoquines.

Equipo para corte de adoquines - con el fin de llenar los espacios que quedan contra el confinamiento se parten trozos de adoquines con cinceles, hachuelas, cizallas mecánicas, o sierras con disco metálico diamantado. Mientras más refinado sea el equipo, más precisos serán los ajustes.

Otras herramientas para la construcción: reglas (mínimo 3), tablas o tablones (de apoyo para los instaladores), herramientas varias (hilos, plomadas, estacas, nivel de manguera, cucharas, llanas, mazos de hule para los colocadores, escobas, palas, cintas métricas, lápices, etc.)

Vibro compactador: es indispensable utilizar un vibro compactador de plancha para la compactación inicial y final del pavimento. El área de la plancha de la compactadora debe



estar entre 0.20 m^2 y 0.50 m^2 . No es recomendable utilizar planchas más grandes porque pueden fisurar los adoquines, especialmente si los adoquines tienen 60 mm de espesor.

Construcción de la Base y Subbase

Siempre debe existir una capa de base, ya que aporta mayor capacidad soporte. Para subrasante de terreno natural, se debe nivelar la subrasante con las pendientes definidas por el diseño geométrico de la vía para el drenaje, de modo que sobre ésta se coloque posteriormente la capa de base con un espesor constante en toda el área del

pavimento. Se debe retirar el material que sobre en los cortes o se deben llenar las zonas bajas, o vacíos, con un material igual o mejor que el de la subrasante.

La base se construye por capas de espesor constante en toda el área. Cada capa debe quedar completamente compactada antes de colocar la siguiente. El espesor de cada una de estas capas depende de la capacidad del equipo que se tenga disponible para la compactación.

Como al compactar una cantidad definida del material de base se reduce su espesor, es necesario colocar un espesor mayor de material suelto, para que al compactarse quede el espesor requerido por el diseño.

La superficie debe quedar lo más uniforme posible, sin vacíos, para que la cama de arena de asiento no se introduzca entre estos. Se puede usar un poco de arena o cemento para emparejar las áreas más rugosas, pero estos rellenos se deben compactar antes de colocar la arena de asiento.

El material de base deberá tener niveles acordes a la estructura total del pavimento, que garanticen los espesores mínimos de los otros componentes. Por ejemplo, si se define un adoquín de 6 cm, con una cama de arena de asiento de 3 cm compactados y se requiere dejar un sobre alto de 0.5 cm en relación a los elementos de borde. El nivel superior de la base granular compactada deberá estar con respecto a los elementos de borde a 8.5 cm.

Confinamiento

El confinamiento es parte fundamental del pavimento de adoquines, porque evita que el tránsito dañe la capa de rodadura que está unida debido a la compactación de todo el sistema.

Es necesario construir tanto el confinamiento externo como el interno antes de colocar la cama de arena y los adoquines, de tal manera que ambos se coloquen dentro de una



caja cuyo fondo será la base compactada y las paredes serán las estructuras de confinamiento.

Confinamiento externo: Está conformado, en general, por el bordillo de una banqueta, un bordillo contra una zona verde o un bordillo a ras, al lado de otro tipo de pavimento. Como estos elementos están en contacto con las llantas de los vehículos y con el medio ambiente, deben ser de concreto con Resistencia ($f'c$) = 4000 Psi (28 MPa) como mínimo a los 28 días.

La subrasante sobre la que se apoyará los bordillos se debe compactar con un apisonador mecánico y colocarle un mortero de nivelación para el asentado de las piezas. Para bordillos que tengan cruce vehicular, se deberá construir una base del bordillo de al menos 100 mm de espesor.

La compactación de las capas del pavimento cerca de confinamientos laterales debe ser realizada hasta que la cama y espalda en concreto, donde se apoya el bordillo, haya alcanzado la suficiente resistencia para prevenir el movimiento del confinamiento lateral.

Cuando se empalma un pavimento de adoquines con uno de asfalto o de concreto que tenga bordes irregulares o con un pavimento de terracería, se construye un bordillo como los de confinamiento interno, pero sin drenes, que marque el cambio de tipo de pavimento. Si el borde de las losas de concreto está en buen estado, sirve como confinamiento.

Drenajes de confinamiento externo - Para drenar la cama de arena y evitar acumulaciones de agua y deterioro de la base o subbase, se deben construir drenes verticales de al menos 1" de diámetro que atraviese la estructura desde la base hasta la subrasante. Estos drenajes se deben llenar con material granular de un solo tamaño, cubriendo la entrada del tubo con un parche de geotextil no tejido y así evitar la migración de la arena. Estos drenes deberán colocarse en la parte baja de la cama de arena y en los lugares donde se prevea concentración de aguas.

Alternativamente se pueden colocar drenes de ½" de diámetro colocándolos a nivel inferior de la cama de arena, cubriendo la entrada del tubo con un parche de geotextil no tejido y así evitar la migración de la arena. Para estos drenes se puede utilizar la misma junta de los bordillos y su cantidad deberá ser evaluada en cada proyecto.

Construcción de la Cama de Arena de Asiento

La arena se coloca suelta, lo más uniforme posible con un contenido de humedad aproximado del 5%. Para la colocación se utilizan 3 reglas, de madera, o aluminio, 2 de



ellas como guías y otra como elemento nivelador. Las guías se colocan paralelas, tanto en el centro como al lado de la vía, con el objeto de cubrir todo su ancho. Estas guías se

Se colocan sobre la superficie de la base ya nivelada y compactada y en el espacio entre ellas se riega suficiente arena suelta como para que quede un poco para ser arrastrada. La regla niveladora la manejan dos personas desde afuera de las guías pasándola una o dos veces a lo largo, sin hacer movimiento de zigzag

El espesor suelto a colocar deberá cubrir la altura de las reglas guía y puede ser entre 35 mm y 50 mm, de manera que al terminar de nivelar la cama de arena el espesor resultante quede entre 25 mm y 40 m.

Para asegurar que la superficie final del pavimento de adoquín sea uniforme, es necesario que la calidad de la arena, el espesor en que se coloca y la nivelación de esta capa sean constantes y uniformes.

Uniformidad de la Superficie

La superficie de la arena enrasada debe ser uniforme, sin agujeros ni rayones o huellas. Si antes de colocar los adoquines esta superficie sufre alguna perturbación o compactación por el paso de personas, animales, vehículos, etc., la zona alterada se debe soltar con un rastrillo de jardinería u otra herramienta y se vuelve a enrasar con una regla pequeña o con una llana. También se deben llenar con arena suelta y enrasar con una llana o regla pequeña, las huellas que dejan los rieles cuando se retiran con suficiente cuidado para no dañar la superficie vecina ya terminada

La cama de arena de asiento se debe completar durante la compactación del adoquín ya instalado. El espesor no compactado de arena dependerá de su naturaleza y el contenido de humedad de la misma. Un área de prueba es necesaria para definir ese asentamiento.

El material de asiento, en donde sea almacenado, debe ser cubierto para reducir la pérdida de humedad debido a la evaporación o saturación debido a la lluvia.

Saturación de la arena: No se debe colocar la arena en condiciones de lluvia y en caso de que la arena se sature, se deberá retirar, llevarla al lugar de almacenamiento y homogeneizar con arena más seca para colocarla nuevamente.

Si la arena se satura después de colocada, entonces debe ser removida y reemplazada con material que tenga el mismo contenido de humedad con el cual se realizó la prueba de asentamiento. Alternativamente la cama de arena de asiento puede dejarse en el sitio hasta que se seque al punto óptimo.



Si los adoquines son colocados, pero sin compactar ni sellar se pueden levantar algunos y revisar el estado de la cama de arena. Si aparecen canales, correspondientes a las juntas, se retiran tanto los adoquines como la cama de arena y se comienza de nuevo el proceso, si no hay daños, se espera a que la cama de arena escurra bien el agua de lluvia que le cayó, antes de proceder a la compactación.

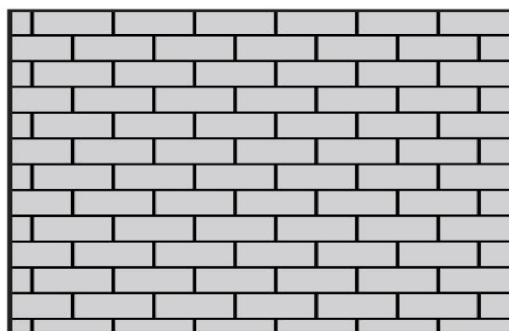
La cama de arena de asiento necesita drenaje, particularmente en su edad temprana cuando está colocada sobre una base o subbase impermeable. El drenaje también puede ser requerido en donde una barrera física, dentro de la superficie del pavimento, pueda llevar agua directamente a la cama de asiento, que es indeseable. El tamaño y espacio del desagüe a través de la capa impermeable depende del tamaño, forma y pendiente de la capa subyacente.

Proceso de instalación de los adoquines

Patrones de colocación: Los adoquines se instalan según un patrón de colocación y un alineamiento. El patrón de colocación, es la manera en que se colocan los adoquines unos al lado de otros y el alineamiento es la posición del patrón con respecto al eje de la vía, ambos se deben definir antes de iniciar la instalación.

Figura 27

Patrón de Colocación de Hiladas



Nota. Elaboración propia. 2021

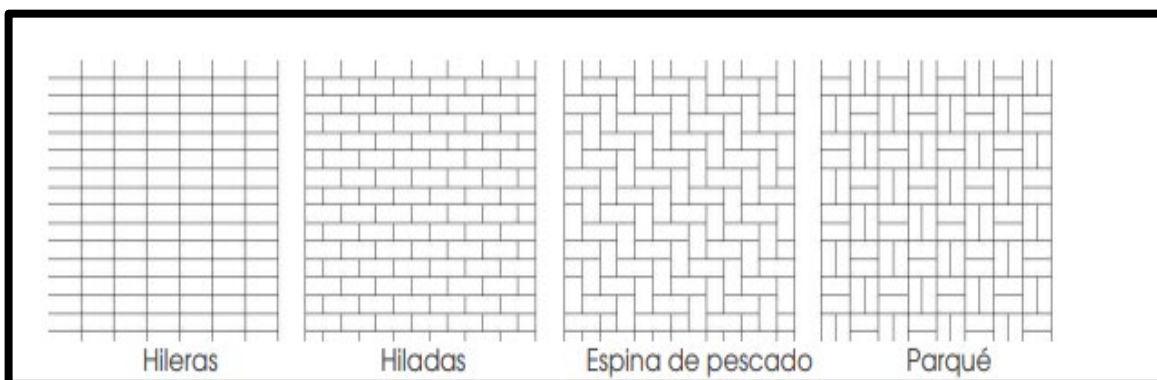
Este patrón de colocación se recomienda para ser utilizado en áreas con tránsito liviano no sujetas a movimientos bruscos o con frecuentes aceleraciones y paradas.



Los patrones de colocación más comunes encontramos, Hiladas , hileras, espina de pescado, parqué entre otras, de acuerdo al proyecto constructivo se elige el patrón de instalación, para tránsito.

Figura 28-1

Patrón de Colocación de Hiladas



Nota. Elaboración propia. 2021

Instalación de los Aduques.

Tramo de prueba. Para mantener el alineamiento y el patrón de colocación, se recomienda colocar un tramo de prueba de 2 o 3 metros, esto permite al colocador corregir alineamientos y verificar la secuencia de instalación según el patrón.

Verificar el confinamiento lateral. Para iniciar la colocación de los aduques, se debe verificar que los confinamientos laterales cumplan con lo indicado en 6.3; usualmente el confinamiento lateral no queda alineado a 90° del patrón de colocación por lo que se deberán colocar hilos como referencia.

Los aduques deben colocarse sobre la cama de arena de asiento directamente donde se ha previsto que irá la pieza y evitar asentar el aduquín primero y posteriormente

arrastrarlo contra los aduques vecinos ya que se arrastra arena que evitará que quede la junta requerida.

Se recomienda que el ajuste de los aduques se realice con unos golpes laterales con un martillo de caucho cuando sea necesario cerrar un poco la junta o conservar el alineamiento horizontal; no es necesario ajustar los aduques verticalmente con golpes.

Juntas. La junta entre cada elemento debe quedar lo más cerrada posible para que el tramo construido funcione adecuadamente. Cada aduquín se debe tomar con la mano y



sin asentarlos se debe recostar contra los adoquines vecinos de forma precisa dónde se quiere colocar, después de ajustarlo contra los adoquines vecinos se desliza hacia abajo y se suelta cuando se ha asentado sobre la cama de arena, a este método se le llama comúnmente “click and drop” (golpear y soltar). Si los adoquines no tienen elementos separadores se recomienda que las juntas no sean mayores de 5 m.

Compactación Inicial

Se entenderá como compactación inicial al procedimiento de dar por lo menos dos pasadas con el equipo de compactación adecuado desde diferentes direcciones, recorriendo toda el área del pavimento en una dirección antes de recorrerla en la dirección contraria, cuidando siempre traslapar cada recorrido con el anterior para evitar posibles escalonamientos. La compactación inicial debe realizarse tan pronto como sea posible después de haber colocado todos los adoquines enteros y piezas de ajuste para cumplir con el nivel del pavimento terminado.

Las funciones de la compactación inicial son:

- Enrasar la capa de adoquines para corregir cualquier irregularidad en su espesor y o durante la colocación.
- Iniciar la compactación de la cama de arena de asiento de los adoquines.
- Iniciar el llenado parcial de las juntas desde la cama de arena de asiento hacia arriba y con ello el amarre de los adoquines.

La compactación inicial y sellado del pavimento se debe realizar hasta un metro antes de los extremos no confinados.

Después de la compactación inicial se deben retirar con la ayuda de dos cucharas, los adoquines que se hayan partido y se deben reemplazar con adoquines buenos.

Instalación de Arena de Sello o Sellado de Juntas

Para el sellado de juntas se debe utilizar el material que cumpla con las características de la sección de arena de sello.

Se esparce la arena sobre los adoquines formando una capa delgada que no cubra totalmente los adoquines y se barre repetidamente y en distintas direcciones con escobas o cepillos de cerdas largas y duras, tantas veces como sea necesario para que penetre la junta, este barrido se hace antes de, o simultáneamente, con cada pasada del vibro compactador y al final de la operación de manera que las juntas queden totalmente llenas.



No se debe permitir el lavado del pavimento con chorro de agua a presión, ni inmediatamente después de su terminación, ni a edades posteriores; dicho método puede desalojar material dentro de las juntas.

El sellado de las juntas es necesario para el buen funcionamiento del pavimento. Por esto, es importante emplear el material adecuado y ejecutar el sellado lo mejor posible, simultáneamente con la compactación final. Si las juntas están mal selladas, los adoquines quedarán sueltos, el pavimento pierde solidez y se deteriora rápidamente.

Compactación Final y Limpieza

La compactación final proporciona firmeza al pavimento de adoquines, por lo que se debe poner especial cuidado en este proceso y tener presente que también el tránsito posterior sobre el pavimento continuará compactando y acomodando los adoquines, así como el sello de arena en las juntas.

La compactación final se realiza con el mismo equipo y de la misma manera que la compactación inicial, pero con el barrido, simultáneo o alterno, del sello de arena. Es muy importante verificar que no se acumule arena sobre los adoquines y que no se formen protuberancias que hagan hundir los adoquines al pasar el vibro compactador sobre ellos.

Se deben dar como mínimo cuatro pasadas o las pasadas necesarias con el vibro compactador en diferentes direcciones cuidando siempre traslapar cada recorrido con el anterior para que los adoquines queden completamente firmes.

Se debe dejar un sobrante de arena esparcida sobre toda la superficie del pavimento terminado durante por lo menos dos semanas para que el tránsito y las probables lluvias ayuden a acomodar la arena dentro de las juntas y el sello se consolide. Si esto no es posible, se deberá barrer o cepillar la superficie del pavimento y poner el pavimento en servicio.

Mantenimiento preventivo para el buen funcionamiento

Limpieza - El uso de ácidos, cepillos de alambre o pulidoras, no está permitido, ya que estos elementos deterioran la superficie del concreto, afectando su durabilidad y color inicial. No se debe permitir el lavado del pavimento con chorro de agua a presión, dicho método puede desalojar material dentro de las juntas. Se recomienda el uso de manguera, como para el lavado de automóviles o regado de plantas, siempre y cuando no se trate de lavar las juntas con un chorro de agua.

Evitar abrasión - Garantizar que el entorno del pavimento no genere deterioro prematuro del mismo, como cuando se expone a acción abrasiva constante y así preservar la calidad del adoquín.



Cuidado de juntas - Para que funcionen bien, la junta entre adoquines debe permanecer llena. Si se pierden más de 10 mm del sello, se debe buscar la causa de esta pérdida, corregirla y barrer arena fina y seca, hasta que la junta quede llena de nuevo. La presencia de grama en la junta no es nociva, pero es mejor retirarla con un punzón metálico y llenar luego la junta con arena.

Hundimiento - Si se hunde el pavimento por daños en redes de servicios o por zanjas mal compactadas, se deben retirar los adoquines en la zona del daño, por lo menos 40 cm a su alrededor, hacer la reparación y volver a construir la franja de pavimento. El área reparada debe quedar con el nivel arriba en 20 mm para vías vehiculares y 5 mm para peatonales en la base ya compactada para que al consolidarse la zona reparada quede al nivel del resto del pavimento.

Ondulaciones - Cuando se presentan ondulaciones en la superficie del pavimento puede ser indicio de que fue construido con una base insuficiente, de mala calidad o mal compactada. También puede indicar que el tránsito es muy alto y que el pavimento no fue diseñado ni construido para esas cargas. Se deberá investigar cual es la razón de las ondulaciones y efectuar una reparación completa.

Remoción de los Adoquines

La remoción del adoquín puede realizarse de dos formas, descritas a continuación:

Método usual para levantar el pavimento: Se rompen dos o tres adoquines y después se remueven cuidadosamente los demás adoquines del área a intervenir. Este método tiene la desventaja de requerir el reemplazo de aquellos adoquines que han sido rotos, debido a que no es permitido fabricar piezas in situ con concreto, ni llenar estos espacios con elementos fundidos en el sitio.

Método alternativo de acceder al interior del pavimento sin romper adoquines:

Remoción del primer adoquín: Se remueve tanta arena de sello como sea posible, usando una espátula pequeña u otra herramienta que se ajuste. Se levanta el adoquín usando una herramienta apropiada como cuchillas y espátulas o un extractor de adoquines.

Remoción de los adoquines adyacentes - Pasar un vibro compactador de plancha sobre la superficie de los adoquines adyacentes al adoquín retirado puede provocar que se pierda el confinamiento de los mismos y da la posibilidad de retirarlos. Los adoquines adyacentes al área sin confinamiento pueden ser golpeados con un martillo de caucho u otra herramienta apropiada para facilitar su retiro.

Limpieza de los adoquines extraídos - Con un cepillo de alambre se retira la arena adherida a cada adoquín. Una vez realizada esta labor, se procede a intervenir la base



o subrasante para ejecutar las labores necesarias para la correcta rehabilitación de la estructura del pavimento.

Recolocación de los adoquines – Para la colocación del adoquín, se debe compactar adecuadamente la base. Posteriormente, se debe colocar la cama de arena de asiento y se coloca el adoquín sobre ella. Finalmente, se compacta utilizando el vibro compactador de plancha y así se sella el área intervenida.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo podemos concluir lo siguiente:

- La resistencia del caucho usado como material permite mejorar la mezcla asfáltica como primer insumo para la elaboración de los adoquines bajo las cargas dinámicas del flujo vehicular urbano del Municipio de Pitalito Huila.
- Durante el periodo bajo observación el pavimento articulado de prueba presentó un comportamiento óptimo debido a que no se presentaron fallas ni deformaciones en los adoquines.
- La propuesta debe someterse a un periodo más prolongado para ratificar el comportamiento de la alternativa de rehabilitación de vías en adoquín en asfalto y GRC (grano de caucho reciclado) que cumplen con el procedimiento formal para su construcción y mantenimiento.
- El trabajo experimental permitió afianzar un sin número de créditos propios de la actividad de los proyectos de obra entre las que se destacan: diseños, estructuras en concretos, investigación, obras civiles con impacto ambiental, pavimento articulado, mezclas asfálticas, ensayos de agregados entre otras.
- Adicional a esto, otras de las conclusiones del trabajo es que el pavimento articulado es más económico frente al pavimento rígido tradicional de acuerdo con el análisis de costos realizado por el trabajo de investigación. Datos tomados de la tabla 12, un análisis de costos del Sistema de Contratación Pública SECOP II.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castillo, I. (2020). Ejemplos de investigación aplicada. Lifeder. Obtenido de <https://www.lifeder.com/ejemplos-investigacion-aplicada/>.
- Chumbes, F. L. (2018). Diseño de mezclas en concreto para la elaboración de adoquines. Proyecto de grado para obtener título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Huancavelica, México.
- CISNEROS, I. C. (2014). Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7225/1/CD-5387.pdf>
- FABIAN, A. C. (2011). Estudio del diseño estructural de pavimentos articulados en base a bloques de asfalto. Tesis Magister en Ciencias de Ingeniería., Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- FONSECA, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos. Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C.
- GORDILLO, T. (1996). Pavimento Inter trabado de adoquines en hormigón. Obtenido de <https://www.paver.com.ar/hormigon.pdf>
- Higuera Sandoval, C. H. (2010). Patología de pavimentos articulados. Revista de ingeniería Universidad de Medellín, 75-94. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/190>
- ICONTEC. (s.f.). Norma Técnica Colombiana NTC 2017 Adoquines de concreto para pavimento. Colombia.
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU. (2005). Contrato 366/01 - Universidad de Los Andes.
- Instituto del Cemento y el Concreto Guatemala. (2018). Guía de instalación de adoquines en concreto. Obtenido de www.iccg.org.gt
- INVIAS. (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá.
- JAIMES LEAL, L., & TORRES CERVERA, k. (2019). Aprovechamiento del GRC para la elaboración de adoquines ecológicos como alternativa a la industria constructiva. Revista Politécnica, 15(29), 33 - 43.
- Jiménez, J. M. (2017). Diseño de una mezcla con materiales reciclados para la producción de adoquines. DOC PLAYER. Obtenido de



<https://docplayer.es/89555404-Diseño-de-una-mezcla-con-materiales-recicladospara-produccion-de-adoquines.html>

- LEAL, K. T. (2019). Aprovechamiento del GRC para la elaboración de adoquines ecológicos como alternativa a la industria constructiva. Revista Politécnica, 33-43. Recuperado el 9 de Abril de 2021, de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=138596852&lang=es&site=eds-live>
- López Gutiérrez, J. F. (2018). "Comparación de una mezcla MDC-2 convencional y una modificada con poliestireno expandido y polvo de llanta compactada estáticamente". Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de la Salle, Bogotá D.C.
- Macondino, J. J. (2020). Tipos de pavimento. Ingeniería & Construcción. Obtenido de <https://www.ingenieriaayconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/>
- Mesa, G. G. (Marzo de 2001). Guía para el diseño de pavimentos de adoquines en concreto para tráfico peatonal y vehicular. Guía. Medellín.
- MONTIEL. (2018). Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales. Investigación para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Autónoma de México, México.
- OYOLA, L. &. (2017). Adoquines en asfalto reciclado y grano de caucho reciclado. Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia, Bogotá D.C.
- PITALITO. (2019). Plan de Desarrollo Municipal Región que Vive 2019 - 2022. Pitalito.
- Quiroga, Y. V. (2017). Adoquines en asfalto reciclado y grano de caucho reciclado. Proyecto de grado para obtener el título de tecnólogo en construcciones arquitectónicas, Universidad La Gran Colombia, Bogotá.
- R. HERNANDEZ, C. FERNANDEZ & Baptista. (2010). Metodología de la investigación (Quinta ed.). México D.F: McGraw Hill Interamericana.
- Rebolledo, R. M. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Universidad Austral de Chile, Santiago de Chile.
- RIVERA, G. (2020). Concreto simple. Cali.
- S., M. B. (2016). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo.
- SANDOVAL, C. H. (2011). Diseño de pavimentos articulados. Teoría del diseño y ejemplos de aplicación, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Boyacá, Tunja.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



SANTAFE. (s.f.). Manual técnico para la instalación de pisos en adoquín de arcilla. Bogotá D.C.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (2005). Informe Contrato - IDU 366/01. Bogotá D.C.

Universidad Nacional de Colombia - IDU. (Octubre de 2000). Manual de diagnóstico de fallas y mantenimiento de vías. Bogotá D.C.

Universidad Nacional de Colombia - INVIAS. (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá D.C.

W. Chavarro. & C, M. (2015). Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito. Investigación, Universidad Católica de Colombia, Bogotá.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1704



ANEXOS

Anexo 1 Solicitud de permiso para construcción de tramo de prueba



Pitalito Huila, Abril 20 de 2021

Ingeniero :
CRISTIAN FABIAN PIZZO SCALANTE
Secretario de infraestructura y vías
Municipio de Pitalito

Cordial saludo;

Como estudiantes de la facultad de Ciencias y Tecnologías de Construcción, Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Santo Tomás con sede en la ciudad de Neiva, estamos desarrollando el proyecto de grado denominado: "USO DEL ADOQUIN EN ASFALTO Y GRANULADO DE LLANTAS RECICLADAS EN EL PARCHEO DE VIAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE PITALITO – HUILA.

Por tal motivo solicitamos su colaboración con el permiso para realización de una prueba en un tramo vial de la ciudad que requiera la realización de obras de parcheo y la designación de un espacio de vía no superior a 3 M² en la que se pueda realizar la instalación del adoquín como método de parcheo.

Nuestro compromiso con la Administración Municipal – Secretaria de infraestructura y vías será la realización de seguimiento y entrega de resultados del proyecto, que serán de utilidad en la gestión de mantenimiento de vía.

Integrantes del Proyecto;

1. Yudy Maribel Navarrete Rodriguez- Estudiante
2. Eduar Parra Manios - Estudiante

Agradecemos su atención y colaboración
Atentamente;

YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ
C.C 36.294.732
Estudiante- Construcción en Arquitectura e Ingeniería



Anexo 2 Conteo diario de vehículos

DIA	fecha	Intervalo de tiempo	AUTOS	BUS	BUSETA	CAMION	TOTAL, AUTOS +BUSES+CAMIÓN X DIA
Martes	17/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	235	39	56	13	343
Miércoles	18/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	294	64	67	17	442
Jueves	19/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	251	70	84	15	420
Viernes	20/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	244	67	64	15	390
Sábado	21/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	448	61	74	21	604
Domingo	22/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	355	66	63	1	485
Lunes	23/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	332	70	72	12	486
Martes	24/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	328	54	62	11	455
Miércoles	25/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	316	73	76	20	485
Jueves	26/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	248	58	81	16	403
Viernes	27/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	268	59	66	16	409
Sábado	28/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	403	64	59	28	554
Domingo	29/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	275	74	66	0	415



DIA	fecha	Intervalo de tiempo	AUTOS	BUS	BUSETA	CAMION	TOTAL, AUTOS +BUSES+CAMIÓN X DIA
Lunes	30/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	255	63	72	8	398
Martes	31/08/2021	5:00 AM a 9:00 PM	239	70	72	6	387
Total			4491,00	952,00	1034,00	199,00	6676,00
Promedio			299,40	63,47	68,93	13,27	445,07

1. Caracterización de Materiales

DISEÑO MARSHALL MDC-19 INV-E 450-13 FÓRMULA DE TRABAJO

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

% ÓPTIMO DE ASFALTO	5,6 ±2
DENSIDAD ASFALTO	1,022



DENSIDAD AGREGADOS	2,625
DENSIDAD MÁXIMA	2,333
DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA "RICE"	2,446
ESTABILIDAD	1448
FLUJO	3,2
VACÍOS CON AIRE	4,5
VACÍOS EN AGREGADO MINERAL	16
VACIOS LLENOS	71
	125°C



TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	
TEMPERATURA DE MEZCLADO	165°C
PROCEDENCIA ASFALTO	60/70 COMPLEJO INDUSTRIAL DE BARRANCA

ANALISIS GRANULOMETRICO - POR TAMIZADO INV. E. 123 - 450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FEC HA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

P₁ =	5318,3	P₂ =	5015,2
------------------------	--------	------------------------	--------

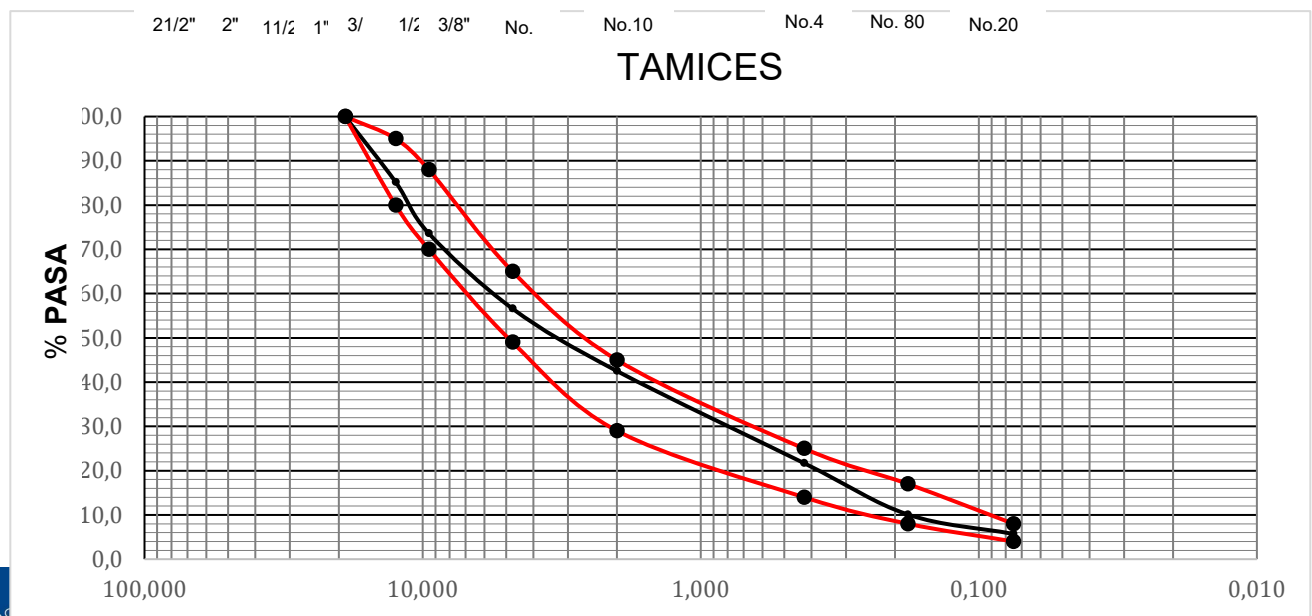
GRADACIÓN MDC-19

% PASA ESPECIFICACIÓN	TOLERANCIA
Límite	



	TAMIZ No.	PESO RETENI DO	% RETENI DO	% RETENID O ACUMUL ADO	% PA SA
19,0 00	3/4"	0,0	0,0	0,0	100 ,0
12,5 00	1/2"	787,1	14,8	14,8	85, 2
9,50 0	3/8"	616,9	11,6	26,4	73, 6
4,75 0	No. 4	904,1	17,0	43,4	56, 6
2,00 0	No. 10	750,0	14,1	57,5	42, 5
0,42 5	No. 40	1106,2	20,8	78,3	21, 7
0,18 0	No. 80	616,9	11,6	89,9	10, 1
0,07 5	No. 200	234,0	4,4	94,3	5,7
	Pasa No. 200	303,1	5,7		

inferi or	Límite superi or	
100	100	
80	95	
70	88	
49	65	
29	45	
14	25	
8	17	
4	8	





2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - POR TAMIZADO INV. E.
123 - 450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

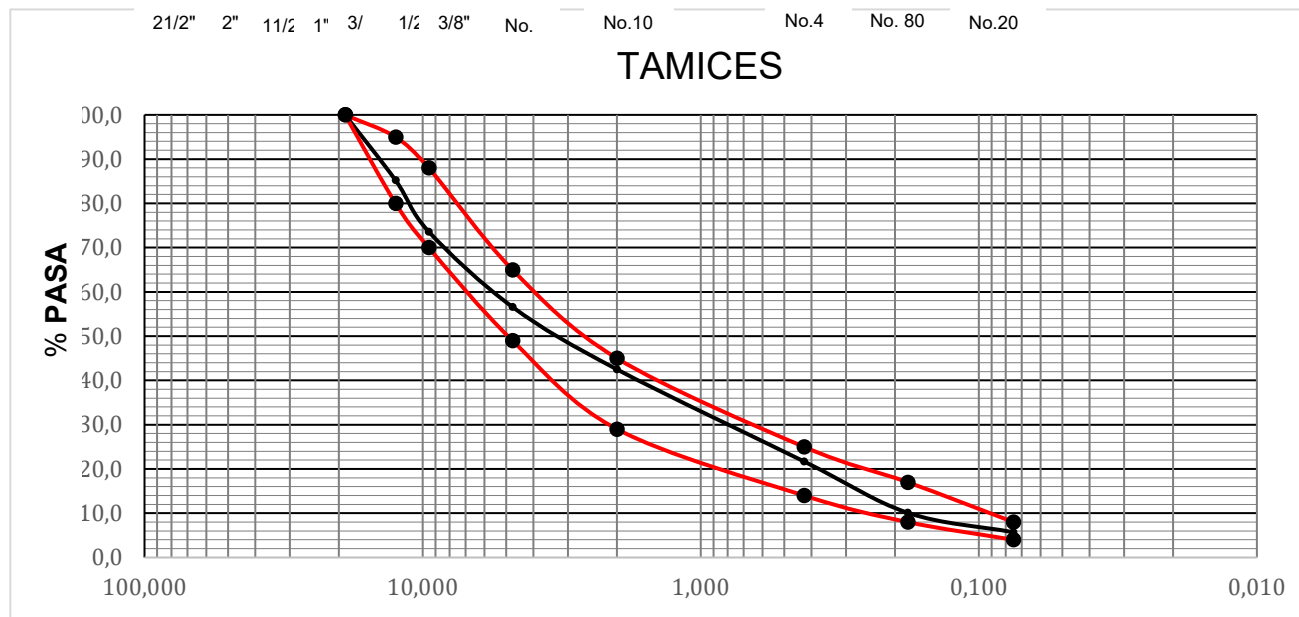
P 1 =	4147	P 2 =	4147,0
-------	------	-------	--------

COMBINACIÓN DE AGREGADOS

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA			PROPORCIONES DE AGREGADOS				% PASA ESPECIFICACIÓN	
	M1	M2	M3	100%	0%	0%	100%	MIN	MAX
3/4"	100			100,0	0,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	85,2			85,2	0,0	0,0	85,2	80	95
3/8"	73,6			73,6	0,0	0,0	73,6	70	88
No. 4	56,6			56,6	0,0	0,0	56,6	49	65
No. 10	42,5			42,5	0,0	0,0	42,5	29	45



No. 40	21,7			21,7	0,0	0,0	21,7	14	25
No. 80	10,1			10,1	0,0	0,0	10,1	8	17
No. 200	5,7			5,7	0,0	0,0	5,7	4	8





3.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - POR TAMIZADO INV.
E. 123 - 450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FE CH A:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

P ₁ =	5318,3	P ₂ =	5015,2
------------------	--------	------------------	--------

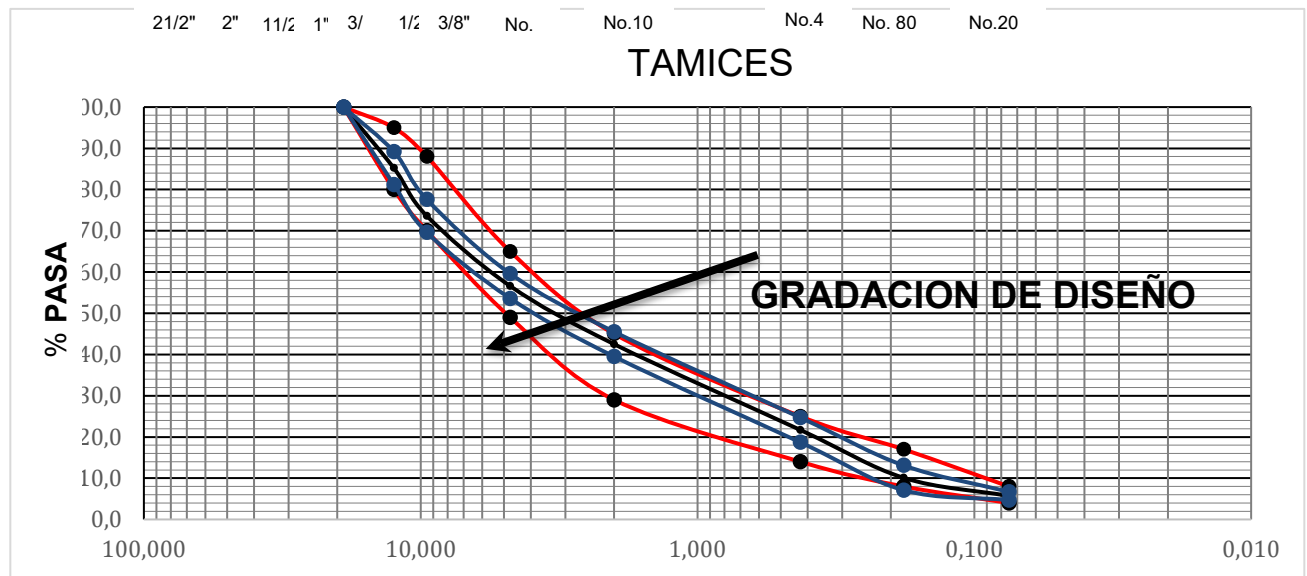
GRADACIÓN MDC-19					
	TAMIZ No.	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO O ACUMULADO	% PASA
19,000	3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0

% PASA ESPECIFICACIÓN		TOLERANCIA
Límite inferior	Límite superior	
100	100	



12,500	1/2"	787,1	14,8	14,8	85,2
9,500	3/8"	616,9	11,6	26,4	73,6
4,750	No. 4	904,1	17,0	43,4	56,6
2,000	No. 10	750,0	14,1	57,5	42,5
0,425	No. 40	1106,2	20,8	78,3	21,7
0,180	No. 80	616,9	11,6	89,9	10,1
0,075	No. 200	234,0	4,4	94,3	5,7
	Pasa No. 200	303,1	5,7		

80	95
70	88
49	65
29	45
14	25
8	17
4	8





% PARTÍCULAS	GRAVA	43%	ARENA	51%	FINOS	6%
--------------	-------	-----	-------	-----	-------	----

4.

PESO ESPECÍFICO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO RICE 745- INV-E 745-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

1	Temperatura de agua	°C	25	25	25	25	25
2	Asfalto	%	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
A	Peso de la muestra seca al aire	Grs	1500	1500	1500	1500	1500
D		Grs	8540	8540	8540	8540	8540

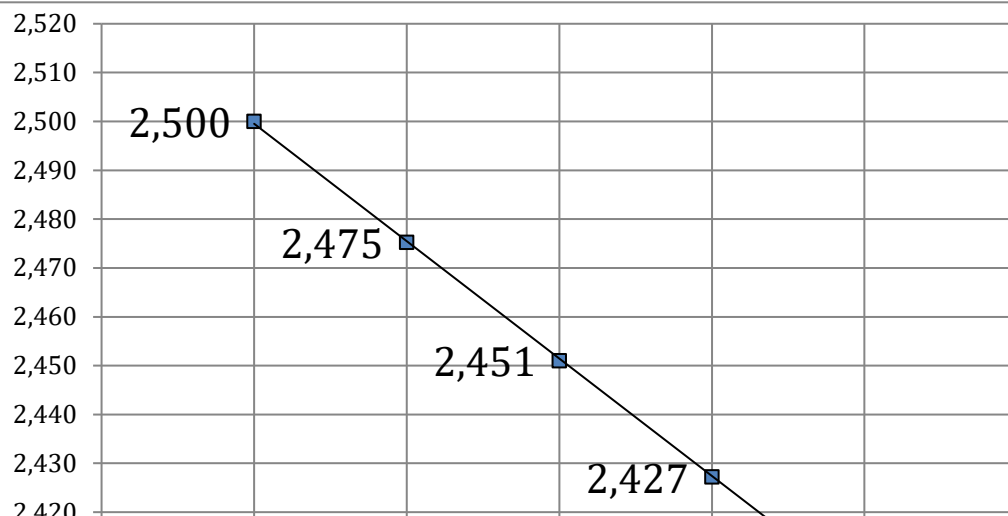


	Peso del frasco lleno de agua a 25°C						
E	Peso frasco con agua + muestra a 25°C	Grs	9440	9434	9428	9422	9416
A	Peso específico maximo teorico		2,500	2,475	2,451	2,427	2,404
(A+D-E)							

5.

PESO ESPECÍFICO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO RICE 745- INV-E 745-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		





6.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO INV-E
223-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		



PRUEBAS	1	2
Masa al aire de la muestra seca al horno.d; A	498,4	498,1
Volumen del picnómetro (c.c.); V	500	500
Volumen del agua para llenar el picnómetro incluyendo la muestra; W	130	130
Masa del picnómetro lleno de agua.g; B	643,6	643,6
Masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua.g; C	953,7	954,1
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca.g; S	500	500
$Gs.Bulk = A/(B+S-C)$	2,625	2,628
$Gs.BULK .sss = S/(B+S-C)$	2,633	2,639
$Gs. Aparente = A/(B+A-C)$	2,647	2,655
$Absorción \% = (S-A)/A*100$	0,32	0,38
Gs. Nominal	2,651	
% de absorción	0,35	



7.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO INV-E
223-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

PRUEBAS	1	2
Masa al aire de la muestra seca al horno.d; A	1915	1914
Masa al aire de la muestra saturada y superficialmente seca.g B	1934,1	1933,8
Masa aparente de la muestra saturada en agua.g C	1205,3	1204,4
Gs aparente = A/(B-C)	2,628	2,624
Gs aparente (sss) = B/(B-C)	2,654	2,651



$G_s \text{ nominal} = A/(A-C)$	2,698	2,697
$\text{Absorción \%} = (B-A)/A \cdot 100$	1,00	1,03
$G_s \text{ nominal} =$	2,698	
$G_s \text{ nominal} =$	1,02	

8.

PESO ESPECÍFICO DEL LLENANTE MINERAL INV-E 222-128-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

PRUEBAS	1	2
Peso del picnómetro aforado lleno de agua.g. W_a	643,3	643,3
	767	767



peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua.g. Wb		
Peso de la muestra seca.g. Ws	200,0	200,0
Volumen del picnómetro. C.c.	500,0	500,0
Temperatura del ensayo.°C.	25,0	25,0
Coeficiente de temperatura K	0,99705	0,99705
Gs. 20°C. = g/cm	2,613	2,613
Gs. Promedio	2,613	

9.

PESO ESPECIFICO Y PESO UNITARIO DE PRODUCTOS
ASFALTICOS SOLIDOS Y SEMISOLIDOS INV-E-707-450-103

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

		PESO ESPECÍFICO	
--	--	-----------------	--



MATERIA L	PORCENTAJE GRADACIÓN		P.E. PONDERADO
GRUESO	43,4	2,626	1,140
FINO	50,9	2,627	1,337
PASA 200	5,7	2,613	0,149
PESO ESPECÍFICO FÓRMULA DE TRABAJO Gr/CM³		2,625	

10.

ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS INV-E-227-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	gr	gr	B/A*100	%	C*D
3/4"	1/2"	1000	1001	100,1	14,8	1481,5
1/2"	3/8"	2000	1320	66,0	11,6	765,6
TOTAL =		3000	2321	166,1	26,4	2247,0
% CARAS FRACTURADAS		TOTAL E		85,1%	ESPECIFICACIÓN ≥ 75	



	TOTAL D	
--	---------	--

ESPECIFICACIÓN	BASE	60% MÍNIMO
	MEZCLA ASFÁLTICA	75% MÍNIMO

- A = PESO MUESTRA Gr.
 B = PESO MATERIAL CARAS FRACTURADAS Gr
 C = PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS
 D = % RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL

 E = CÁLCULO FINAL

11.

ENSAYO DE ALARGAMIENTOS Y APLANAMIENTO INV-E-230-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

ÍNDICE DE APLANAMIENTO					
TAMIZ	A	B	C	D	E



PASA	RETIENE	gr	gr	B/A*100	%	C*D
3/4"	1/2"	1000	173,3	17,3	14,8	256,5
1/2"	3/8"	2000	76,6	3,8	11,6	44,4
		3000	249,9	21,2	26,4	300,9

A = PESO MUESTRA Gr.

B = PESO MATERIAL PARTÍCULAS APLANADAS Gr

C = PORCENTAJE PARTÍCULAS APLANADAS

D = % RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL

E = CÁLCULO FINAL

% PARTÍCULAS PLANAS	TOTAL E	11,4%
	TOTAL D	

ÍNDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	gr	gr	B/A*100	%	C*D
3/4"	1/2"	1000	107,0	10,7	14,8	158,4
1/2"	3/8"	2000	188,7	9,4	11,6	109,4
		3000	295,7	20,1	26,4	267,8

A = PESO MUESTRA Gr.

B = PESO MATERIAL PARTÍCULAS LARGAS Gr

C = PORCENTAJE PARTÍCULAS LARGAS

D = % RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL

E = CÁLCULO FINAL



% PARTÍCULAS LARGAS =	TOTAL E	10,1%
	TOTAL D	

12.

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA INV-E-133-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

ENSAYO No	EQUIVALENTE DE ARENA		
PROBETA	1	2	3
LEC. ARCILLA (mm)	6,3	6,3	6,5
LEC. ARENA (mm)	3,7	3,6	3,8
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	58,7	57,1	58,5
PROMEDIO %	58,1		



ESPECIFICACIÓN	SUB BASE	25% MÍNIMO
	BASE	30% MÍNIMO
	MEZCLA ASFÁLTICA	50% MÍNIMO

13.

ENSAYO DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y
LLENANTE MINERAL INV-E-235-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

ENSAYO	1	2	3
MUESTRA No	1		
PRUEBA No	1		
C = CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN (mg/ml)	5		
V = CANTIDAD DE AZUL DE METILENO (ml)	13		
W = CANTIDAD DE MATERIAL UTILIZADO (g)	10,0		



VA= VALOR DE AZUL DE METILENO mg/g = (C*V)/W	6,5		
---	------------	--	--

VALOR DE AZUL DE METILENO =	6,5
------------------------------------	------------

PARÁMETROS DE ACEPTACIÓN DEL ENSAYO	EXCELENTE	≤6
	MARGINALMENTE ACEPTABLE	7 a 12
	PROBLEMAS, POSIBLES FALLAS	13 a 19
	FALLADO	≥20

14.

DESGASTE DE LOS AGREGADOS INV-E-218,219-450-13

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA:	22 de mayo de 2021
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		

PRUEBAS	1	2	3	4
GRADACIÓN USADA	B			
# DE ESFERAS	11			
# DE REVOLUCIONES	500			
pa PESO MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO	5010			
pb. PESO MUESTRA SECA LAVADO TAMIZ # 12	3790			



PÉRDIDA gr = pa-pb	1220			
% DESGASTE = (pa-pb)*100	24,4			
ESPECIFICACIÓN MÁXIMO %	25			

TAMAÑO TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES			
PASA TAMIZ	RETENIDO TAMIZ	GRANULOMETRÍAS			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	1250± 25			
3/4"	1/2"	1250± 25			
1/2"	3/8"	1250± 25	2500±10		
3/8"	1/4"	1250± 25	2500±10	2500±10	
1/4"	No 4			2500±10	
No 4	No 8				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10



--	--	--	--	--

% DESGASTE	=	24,4
-------------------	----------	-------------

15.

OBRA:	DISEÑO MEZCLA TESIS SANTOTO	FECHA	12 de septiembre de 2016
EMPRESA	YUDY MARIBEL NAVARRETE RODRIGUEZ Y EDUAR PARRA MANIOS		
DESCRIPCIÓN	MDC-19		
MATERIAL	DISEÑO MARSHALL MDC-19, PARA TESIS GRADO.		



MU EST RA #	% Asf alt o	Peso Gr			Vol um en cm ³	Peso específico			% Asf alto Abs orbi do	Volumen Total			% Vacíos		% Asf alt o Efe ctiv o	Estabilidad kilos			Flu jo m m	Relaci ón Ligant e/Llen arte	Rela ción Esta bilid ad/ Fluj o
		Se co al air e	Sat ura da al aire	Al ag ua		Bul k	Má xim o me did o	Má xim o teó ric o		Agr ega dos	Va cío s con Air e	Asf alt o Efe ctiv o	Agr ega dos Min eral es	Lle no s		Le ctu ra	Fact . Corr ecc ión	Cor regi da			
1	4,5	1183,1	1186,4	665,0	521,4	2,269										1220	0,96	1171	2,2		
2	4,5	1187,3	1243,9	696,0	547,9	2,167										1210	0,93	1125	2,6		
3	4,5	1188,9	1193,0	675,0	518,0	2,295										1230	0,96	1180,8	2,5		
Pro med io	4,5					2,244	2,452	2,500	0,82	81,6	10,2	8,1	18,4	44,2	3,72			1159	2,4	0,65	476



4	5,0	1190,0	1185,1	666,0	519,1	2,292										1420	0,93	1321	2,8		
5	5,0	1202,0	1204,8	685,0	519,8	2,312										1469	0,96	1320	2,9		
6	5,0	1188,3	1188,6	670,0	518,6	2,291										1478	0,96	1350	2,9		
Pro med io	5,0					2,299	2,434	2,475	0,72	83,2	7,1	9,7	16,8	57,6	4,32			1330	2,9	0,76	464

7	5,5	1196,1	1197,2	686,0	511,2	2,340										1536	0,93	1428	3,1		
8	5,5	1183,2	1184,5	678,0	506,5	2,336										1620	0,96	1425	3,0		



9	5,5	1185,5	1186,8	676,0	510,8	2,321									1598	0,93	1465	3,2		
Pro med io	5,5					2,332	2,417	2,451	0,62	84,0	4,8	11,2	16,0	69,8	4,92		1439	3,1	0,86	464
10	6,0	1200,4	1201,4	689,0	512,4	2,343									1655	1,00	1401	3,5		
11	6,0	1202,5	1203,1	688,0	515,1	2,334									1610	1,05	1403	3,3		
12	6,0	1191,7	1192,0	683,5	508,5	2,344									1698	1,02	1420	3,5		
Pro med io	6,0					2,340	2,399	2,427	0,51	83,8	3,6	12,6	16,2	77,9	5,52		1408	3,4	0,97	410



13	6,5	12 03, 1	120 4,5	69 0,0	51 4,5	2,3 38										15 21	0,96	121 0,0	3,5		
14	6,5	12 06, 6	120 8,3	68 5,0	52 3,3	2,3 06										15 00	0,96	123 0,0	3,7		
15	6,5	11 65, 0	116 8,2	67 4,0	49 4,2	2,3 57										15 30	0,96	124 0,0	3,8		
	6,5					2,3 34	2,3 82	2,4 04	0,4 1	83,1	2,9	14, 0	16,9	82, 7	6,1 2			122 7	3,7	1,07	335

PESO ESPECÍFICO AGREGADO	2,625	PESO ESPECÍFICO ASFALTO	1,022	TIPO DE ASFALTO	60/70 COMPLEJO INDUSTRIAL DE BARRANCA
---	--------------	--	--------------	------------------------	--

16.

