

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(87)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Deibys Quintana Suárez Fabián Hernando Arévalo García		
FACULTAD	De Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización Interventoría de Obras Civiles		
DIRECTOR	José Luis Pérez Arévalo		
TÍTULO DE LA TESIS	Controles de calidad requeridos para la rehabilitación y mejoramiento de vías terciaras en Colombia.		
TITULO EN INGLES	Quality controls required for the rehabilitation and improvement of tertiary roads in Colombia.		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>EL siguiente documento relaciona los controles constructivos más relevantes para la construcción de pavimentos empleados en vías terciarias, en donde se tipifican el uso de placa huellas, pavimentos articulados y estabilización de suelos. Como resultado de la investigación realizada se desarrolla una lista de chequeo que contempla controles constructivos y normativos para la supervisión técnica necesaria en la construcción de una estructura de pavimento para vías terciarias o vías con bajos volúmenes de tránsito.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The following document lists the most relevant construction controls for the construction of pavements used in tertiary roads, where the use of tread plates, articulated pavements and floor thickness are typified. As a result of the research carried out, a checklist is developed that includes construction and regulatory controls for the necessary technical supervision in the construction of a pavement structure for tertiary roads or roads with low volumes of traffic.</p>			
PALABRAS CLAVES	Pavimento Articulado, subbase granular, subrasante, placa huella		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Articulated pavement, granular subbase, subgrade, tread plate		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 87	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 41	CD-ROM:



**Controles de calidad requeridos para la rehabilitación y mejoramiento de vías terciaras en
Colombia**

Deibys Quintana Suárez

Fabián Hernando Arévalo García

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Especialización en Interventoría de Obras Civiles

Esp. José Luis Pérez Arévalo

19 de julio del 2022

Índice

	Pág.
Capítulo 1. Controles de calidad requeridos para la rehabilitación y mejoramiento de vías terciarias en Colombia	9
1.1 Tipo de monografía.....	9
1.2 Elección del tema.....	9
1.3 Delimitación de tema	11
1.4 Desarrollo del argumento.....	12
1.5 Metodología	15
Capítulo 2. Generalidades de las vías terciarias.....	18
2.1 Clasificación de pavimentos	18
2.1.1 <i>Pavimento flexible</i>	18
2.1.2 <i>Pavimento Rígido</i>	21
2.1.3 <i>Pavimento articulado</i>	25
2.2 Ensayos de laboratorio usados para vías terciarias	26
2.2.1 <i>Ensayos de laboratorio características intrínsecas de los materiales</i>	27
2.2.2 <i>Ensayo de laboratorio Comportamiento mecánico del material</i>	28
2.3 Marco normativo para la construcción de vías terciarias en Colombia	29
2.3.1 <i>Resoluciones</i>	29
2.3.2 <i>Guías y manuales</i>	31
2.3.3 <i>Normas técnicas</i>	31
2.4 Fallas típicas de pavimentos en vías terciarias.....	32
2.4.1 <i>Fallas en pavimentos flexibles</i>	32
2.4.2 <i>Fallas en pavimentos rígidos</i>	37
2.4.3 <i>Fallas en pavimentos articulados</i>	42
Capítulo 3. Estado actual de las vías terciarias en Colombia.....	46
3.1 Proyectos de construcción de red terciaria en Colombia	50
Capítulo 4. Descripción de procesos constructivos en los tipos de pavimentos para vías terciarias	58
4.1 Construcción de placa huella	58

	3
4.1.1 Dimensiones y refuerzo.....	58
4.1.2 Conformación de subrasante, bases y subbases granulares.....	61
4.1.3 Colocación de formaletas y hierro.....	63
4.1.4 Construcción de los elementos de concreto.....	63
4.1.5 Textura.....	64
4.2 Construcción de Pavimento articulado	64
4.2.1 Capa de arena de soporte	64
4.2.2 Colocación de adoquines.....	65
4.2.3 Sello de juntas.....	66
4.3 Estabilización de suelos en vías terciarias	67
Capítulo 5. Listas de chequeo para la verificación de controles de calidad necesarios en la construcción de vías terciarias	70
Conclusiones.....	77
Referencias.....	79

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Perfil típico de una estructura de pavimento flexible	19
Figura 2 Deformaciones de una estructura de pavimento flexible.....	20
Figura 3 Perfil típico de una estructura de pavimento rígido.....	21
Figura 4 Estructura de pavimento en concreto simple	22
Figura 5 Estructura de pavimento en concreto reforzado	24
Figura 6 Estructura de pavimento en placa huella	25
Figura 7 Estructura de pavimento articulado	26
Figura 8 Falla por ahuellamiento en pavimento flexible	33
Figura 9 Falla por hundimiento en pavimento flexible.....	33
Figura 10 Falla por abultamiento en pavimento flexible	34
Figura 11 Falla en pavimento flexible por ondulación	35
Figura 12 Fallas por fisura o agrietamiento en pavimento flexible	36
Figura 13 Fallas en pavimento flexible por desintegración	36
Figura 14 Agrietamiento de esquina en pavimento rígido	37
Figura 15 Agrietamiento longitudinal en pavimento rígido.....	38
Figura 16 Agrietamiento transversal en pavimento rígido.....	38
Figura 17 Agrietamiento en bloque en pavimento rígido	39
Figura 18 Falla por separación de juntas longitudinales en pavimento rígido.....	39
Figura 19 Falla por deterioro del sello de juntas en pavimentos rígidos	40
Figura 20 Desportillamiento de juntas en pavimentos rígidos.....	40
Figura 21 Descascaramiento de losas de concreto en pavimentos rígidos.....	41

Figura 22 Desintegración del concreto en pavimento rígido	41
Figura 23 Falla por deformaciones en pavimentos articulados	42
Figura 24 Fallas por desprendimientos en pavimentos articulados	43
Figura 25 Fallas por desplazamientos en pavimentos articulados	43
Figura 26 Falla por fracturamiento en pavimentos articulados.....	44
Figura 27 Falla por escalonamiento entre adoquines.....	44
Figura 28 Falla por juntas abiertas entre adoquines.....	45
Figura 29 Estado de la red vial pavimentada y no pavimentada en Colombia	46
Figura 30 Distribución de la red vial del país en kilómetros	49
Figura 31 Niveles de gestión técnica para vías terciarias en Colombia.....	50
Figura 32 Construcción de placa huella Corregimiento Estación Cocorná	51
Figura 33 Construcción de placa huella vereda culebritas	52
Figura 34 Construcción de pavimento rígido en vereda cordobitas Yotoco.....	53
Figura 35 Construcción de placa huella municipio de la Playa de Belén NTS	54
Figura 36 Construcción de placa huella municipio de Chitaga NTS.....	55
Figura 37 Construcción de placa huella municipio de Marquetalia - Caldas	56
Figura 38 Estructura de concreto de placa huella y sus partes.....	59
Figura 39 Sección transversal de la estructura de concreto de placa-huella.....	60
Figura 40 Sección longitudinal de la estructura de concreto de placa-huella.....	61
Figura 41 Patrón de colocación de adoquines en espina de pescado	65

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 Resumen de datos sobre el estado actual de la red vial sin pavimentar en Colombia.....	47
Tabla 2 Resumen de datos sobre el estado actual de la red vial pavimentada en Colombia.....	48
Tabla 3 Resumen de contratos recopilados.....	57
Tabla 4 Controles de calidad para bases y subbase granulares	70
Tabla 5 Controles de calidad para estructura de pavimento en placa huella.....	72
Tabla 6 Controles de calidad para estructura de pavimento articulado	75

Resumen

El siguiente documento relaciona los conocimientos básicos para realizar la supervisión, seguimiento y control a proyectos de construcción en su etapa de obra dirigido a la pavimentación de vías terciarias o vías con bajos volúmenes de tránsito dentro del territorio colombiano, empleando la metodología de pavimentación en Placa Huella, pavimento articulado, y en los casos donde no es posible pavimentar, la debida estabilización de suelos. A demás se relaciona información actualizada correspondiente al estado actual de las vías en Colombia, en donde se cuenta con el reporte realizado por el Instituto Nacional de Invias a corte del año 2021. Y como resultado de la investigación se desarrolla una lista de chequeo que contiene algunos parámetros relevantes a tener en cuenta en materia de control técnico de calidad, para la construcción de una estructura de pavimento aplicado para la red terciaria.

Introducción

En la actualidad la capacidad de comunicarse de un lugar a otro por medio del transporte vial, es uno de los pilares fundamentales para el desarrollo social sostenible, y en mayor medida para el sector rural, quienes son los que más dependen de las vías para poder comunicarse con centros poblados o cascos urbanos. En el sector rural las vías son consideradas de bajos volúmenes de tránsito o también llamadas vías terciarias, la cuales debido a que no tienen un uso generalizado no cuentan con mayor financiamiento por parte de las entidades gubernamentales, y con respecto al territorio colombiano según Buchaar y Sagbini (2020), cerca del 70% de la red vial en Colombia, corresponde a vías terciarias, un poco más de 142.000 km, de los cuales el 94% se encuentra sin pavimentar. Por esta razón la presente investigación desarrolla una serie de controles técnicos de calidad para los profesionales que se dedican a la construcción de vías terciarias.

El documento a continuación describe las generalidades sobre los tipos de pavimentos más utilizados, tipificados en pavimentos flexibles, rígidos y articulados. También describe cual es el estado actual registrado sobre las vías en Colombia, en donde como parte de este capítulo, se realiza la recopilación de información de contratos de obra pública en vías terciarias ejecutados dentro del territorio colombiano dando como resultado que en la mayoría de proyectos se construyen placa huellas. Posteriormente se realiza una breve descripción de los procesos constructivos para la construcción de una estructura de pavimento en placa huella, pavimento articulado, y estabilización de suelos. Por último, se desarrollan listas de chequeo que contienen los parámetros más relevantes para la construcción de vías terciarias.

Capítulo 1. Controles de calidad requeridos para la rehabilitación y mejoramiento de vías terciarias en Colombia

1.1 Tipo de monografía

Monografía de Compilación, ya que el estudio se basa en la recopilación de información sobre los distintos métodos, controles y nuevas tecnologías implementadas para la rehabilitación o mejoramiento de las vías terciarias.

1.2 Elección del tema

El uso de las vías son un medio imprescindible para la comunicación, el cual contribuye al desarrollo social, en este caso al hacer referencia al uso de vías terciarias en el territorio colombiano, corresponde a uno de los pilares de la economía rural del país, ya que el progreso del agro colombiano, depende en mayor medida, de las vías de acceso.

Por lo general para la construcción de vías terciarias siempre se habla de placa huellas, el cual es un tipo de pavimento que ha demostrado buenos resultados, en cuanto a su resistencia y vida útil, tanto así que existen Guías propuestas en distintas investigaciones y también por el Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. No obstante, cabe resaltar que en la actualidad existen distintas metodologías y diferentes tipos de pavimentos que pueden ser usados para vías terciarias, en donde se busca reducir el costo que genera, ya que, en el sector público, se realizan proyectos de vías terciarias en placa huellas, teniendo en cuenta que los recursos para este tipo de proyecto son desembolsados por el Estado, pero para la construcción de vías terciarias en el

sector privado, las placa huellas representan un alto costo, por lo que el constructor debe buscar alternativas de pavimentos que reduzcan los costos de inversión y que tengan una larga vida útil, teniendo en cuenta que uno de los factores primordiales para garantizar su durabilidad, corresponde al control de calidad que se realice durante la construcción.

Según Acosta M. y Alarcón P. (2017), en su trabajo de grado titulado “Análisis de la cantidad y el estado de las vías terciarias en Colombia y la oportunidad de la ingeniería civil para su construcción y mantenimiento”, concluyen que el desarrollo para la rehabilitación y mantenimiento de vías terciarias corresponde a aquellos municipios que hacen parte del tema del posconflicto y que fueron priorizados mediante el decreto 898 de 2017. De este modo se puede concluir que de los 1122 municipios que existen en el país, actualmente solo 170 municipios tendrán la oportunidad de tener intervención (15,15%), rehabilitación y mantenimiento en una parte de su red vial terciaria. Los demás municipios (952 municipios) aún no se le han asignado planes ni proyectos a futuro que permitan atender la totalidad de las vías terciarias, es por esto que, en muchas regiones del país, las comunidades optan por rehabilitar o mejorar con sus propias manos las vías terciarias.

Con relación Artículo publicado por la Universidad Cooperativa de Colombia por Buchaar A. y Sagbini C. (2020), Titulado “Análisis del estado de funcionalidad de los pavimentos en vías terciarias en los departamentos del Magdalena y Atlántico”, los cuales dicen que cerca del 70% de las vías en Colombia pertenecen a la red terciaria y la mayoría de ellas se encuentra en mal estado y sin pavimentar, ya que administrativamente depende de los municipios

enlazar las cabeceras municipales con las veredas, en donde casi 96% de las identificadas, como consecuencia de los malos manejos de los alcaldes se encuentran en mal estado.

En lo que respecta a la importancia y el papel que juega la red terciaria en el territorio colombiano, cabe resaltar el artículo de Narváez L. (2017), el cual indica que:

La red terciaria tiene un papel fundamental, pues constituye la infraestructura de transporte de mayor extensión en el territorio nacional. Su funcionamiento en óptimos niveles acelera el crecimiento económico de la población rural, permite articular los centros de producción rural con los centros de acopio urbanos y su eficiente distribución; fortalece la presencia del Estado en el territorio, promueve la oferta de servicios públicos, de salud, seguridad y educación.

De acuerdo a lo anterior en vista de que por lo general las vías terciarias se basan en la construcción de placa huellas, es importante dar a conocer por medio de la recopilación de información, los métodos de pavimentos existentes para vías terciarias, enfocado principalmente en el control de calidad que requieren los diferentes tipos pavimentos que pueden ser implementados en vías terciarias, teniendo en cuenta que en este tipo vías, también son necesarias la construcción de obras complementarias que ayudan a conservar el buen funcionamiento de una red terciaria.

1.3 Delimitación de tema

Delimitación Conceptual: La presente monografía contempla conceptos como: vías de tercer orden, estabilización de suelos, pavimentos, agregados de materiales, banco de material, obras complementarias, alcantarillas, cunetas, entre otros conceptos relevantes.

Delimitación Geográfica: De acuerdo al alcance de la investigación la determinación de los controles de calidad para los distintos tipos de pavimentos que se pueden utilizar en vías terciarias es aplicable para todo el territorio colombiano.

Delimitación Temporal: Las actividades se desarrollarán en un tiempo estimado de dos (02) meses contados a partir de la aprobación de la propuesta.

Delimitación Operativa: Para el desarrollo de los controles de calidad necesarios para la rehabilitación y mantenimiento de vías terciarias en Colombia, desde el punto de vista de la Interventoría, se realiza una compilación de información concerniente a las distintas formas de rehabilitación y mejoramiento para vías terciarias; como también se identifican y se describen las distintas patologías presentes en los pavimentos, luego se realiza un compendio de los criterios técnicos y normativos de acuerdo a la jurisprudencia colombiana para dar como resultado los controles de calidad que obedezcan a los distintos métodos de pavimentación de red terciaria aplicado solo a placa-huella, pavimento articulado y estabilización de suelos.

1.4 Desarrollo del argumento

Con la investigación sobre la recopilación de información de controles de calidad necesarios para la construcción de pavimentos en vías terciarias implementando diferentes

métodos constructivos, se contribuye al desarrollo académico para los profesionales que se dedican a la construcción de vías terciarias, ya que se obtiene como resultado de la investigación, una lista de chequeo que brinde información práctica y oportuna, sobre los controles de calidad requeridos para la correcta construcción de los distintos tipos de pavimentos que se pueden utilizar en una vía terciarias dentro del territorio colombiano incluyendo obras complementarias.

De acuerdo al manual de diseño de pavimentos de concreto elaborado por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento [ICPC] en donde según sus autores Londoño C. y Álvarez J. (2008), nos dice que:

La selección del tipo de pavimento está determinada por muchas variables entre las que están los criterios técnicos, los factores económicos del país o de la zona, de las fuentes de materiales, su idoneidad y distancia de acarreo, ahorros en energía, materiales y otros que en determinadas ocasiones pueden inclinar la decisión hacia un pavimento, como pueden ser las condiciones ambientales o la disponibilidad de equipos y de mano de obra. Hay condiciones que favorecen la utilización de un tipo de pavimento, otras que le quitan posibilidades por lo que en cada obra se debe sopesar la pertinencia de una solución en particular.

Según Garnica D. (2020), en su trabajo de posgrado Titulado “Desarrollo de una guía de Interventoría Administrativa para la ejecución de contratos de obras para vías terciarias”, relaciona la falta de unanimidad en los criterios de cumplimiento en cuanto al área administrativa de la interventoría en proyectos de infraestructura vial, por lo que con esta investigación, se obtuvo como resultado una guía de interventoría administrativa que contempla los

procedimientos y pasos que se deben tener en cuenta para el manejo de la interventoría administrativa en la construcción de vías terciarias en el sector público.

Con la investigación para determinar los controles de calidad en los diferentes tipos de pavimentos que pueden ser usados para la construcción, rehabilitación o mejoramiento de vías terciarias, es un precedente para la ejecución de una interventoría técnica en la ejecución de vías terciarias en Colombia, que puede ser aplicado tanto para el sector privado como para el sector público, ya que los controles de calidad son uno de los factores que garantizan el buen uso y durabilidad de una construcción.

Según Ordoñez J. (2015), en su trabajo Titulado “Pavimentos de losas cortas de concreto para vías terciarias en Colombia”, dice que los altos costos de construcción y mantenimiento de vías terciarias conllevan a la búsqueda de nuevas alternativas de pavimentos, como lo es la construcción de pavimentos con losas cortas, que es una alternativa altamente eficiente desde el punto de vista de costos (por disminución de espesores y menores requerimientos de capas estructurales de apoyo), duración y estabilidad, lo cual hace de éste, un tipo de pavimentación como alternativa viable en las vías terciarias de nuestro país. De acuerdo a lo anterior es importante realizar el compendio y clasificación de la información en donde se estipulen cuáles son los controles de calidad para el uso de los tipos de pavimentos que se están implementando o hacen parte de nuevas tecnologías para la pavimentación en red terciaria.

Con respecto al uso de tipos de pavimentos y nuevas tecnologías que se están implementando en la construcción de vías terciarias cabe mencionar que, la investigación tiene

como principal objetivo determinar los controles de calidad necesarios para los diferentes métodos de pavimentación de vías terciarias, basándose en la recopilación de documentación pertinente en relación a los requerimientos de materiales y metodologías implementadas para la pavimentación de la red terciaria.

Según Chavarro W. y Molina C. (2015), en su investigación Titulada “Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito” nos dicen que: Las soluciones de pavimentación con bajos volúmenes de tránsito, a nivel mundial se clasifican en tecnologías universales innovadoras y experimentales. “Una gran parte de las soluciones de tipo universal, se encuentran tipificadas y normalizadas, dentro de las especificaciones de INVIAS, tales como las estabilizaciones de suelos con cal o cemento, adición de capas estructurales sean de hormigón o asfálticas”. No obstante, existen muchas otras alternativas usadas para vías terciarias, razón por la cual con esta investigación se pretende determinar los controles de calidad de los métodos más utilizados para la pavimentación de vías terciarias y factibles en cuanto a su valor económico y acceso a los materiales y de los cuales se encuentre amplia investigación para la aplicación dentro del territorio colombiano.

1.5 Metodología

La investigación obedece a un tipo de metodología Cualitativa y Descriptiva ya que se realiza la recopilación de información no cuantificable en donde se busca determinar los métodos de construcción de vías terciarias, describiendo su metodología para entender la naturaleza de la

investigación dando como resultado la determinación de los controles de calidad requeridos para la pavimentación de vías de tercer orden implementando diferentes métodos.

La recolección de información se realiza mediante las técnicas de recolección y los instrumentos utilizados.

Técnicas de recolección: Dado que el tipo de investigación es de tipo cualitativa, requiere de una exploración documental, por lo cual se debe realizar una investigación a profundidad sobre tema de estudio “controles de calidad para diferentes métodos de pavimentación terciaria” utilizando manuales, guías técnicas, trabajos de investigación, fichas técnicas de productos para la construcción, observación de construcciones viales realizadas, dialogo con constructores de experiencia en el tema, entre otros.

Instrumentos para la recolección de información: Se utilizan fuentes bibliográficas de información como libros, monografías, tesis, artículos de revista, Biblioteca Institucional UFPSO, y bases de datos como Scielo, Redalyc, eLibro, Construdata, entre otros.

Procedimiento metodológico: Para el desarrollo de la investigación, se abordan los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Controles de calidad requeridos para la rehabilitación y mejoramiento de vías terciaras en Colombia.

Capítulo 2. Generalidades de las vías terciarias.

Capítulo 3. Estado actual de las vías terciarias en Colombia

Capítulo 4. Descripción de procesos constructivos en los tipos de pavimentos para vías terciarias

Capítulo 5. Listas de chequeo para la verificación de controles de calidad necesarios en la construcción de vías terciarias.

Capítulo 2. Generalidades de las vías terciarias

Las vías terciarias, son vías con bajos volúmenes de tránsito que permiten la transitabilidad de los habitantes de un lugar a otro, influyendo en la economía local, regional, y nacional. Con relación al proceso constructivo necesario para contemplar una calzada como vía terciaria, se presentan distintos métodos de pavimentación, como también métodos de estabilización que catalogan a una vía como red terciaria. A continuación, mediante los siguientes literales se aprecian las generalidades de los pavimentos para vías terciarias.

2.1 Clasificación de pavimentos

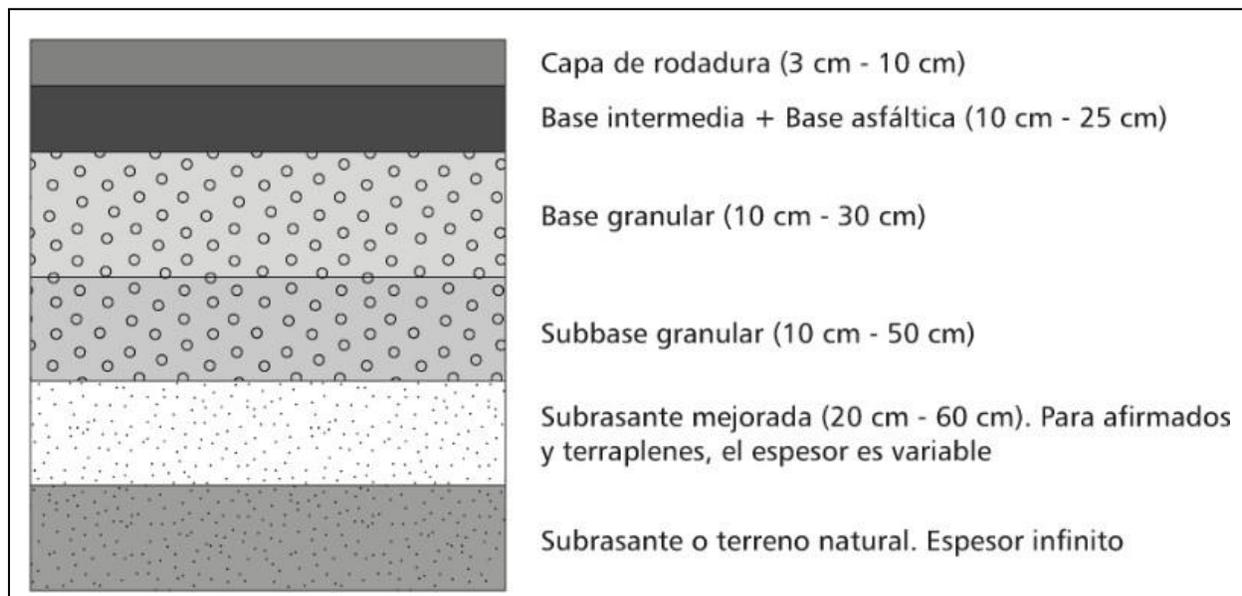
De acuerdo a la guía diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C., y al manual de Invias 2013, los pavimentos se pueden clasificar en tres grandes grupos que son: Pavimento flexible, Pavimento Rígido y articulado.

2.1.1 Pavimento flexible

Los pavimentos flexibles son aquellos conformados por una estructura granulométrica de diferentes agregados con una capa asfáltica de rodadura, que garantizan la funcionalidad ante el paso de cargas de tránsito. Según Rondón H. y Reyes F. (2015), los pavimentos flexibles están conformados por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuesta por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase, afirmado) que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante. Ver figura 1.

Figura 1

Perfil típico de una estructura de pavimento flexible



Nota: La figura muestra la relación de capas que componen el perfil típico de un pavimento flexible con medidas recomendadas según el autor. Fuente: Rondón H. y Reyes F. (2015).

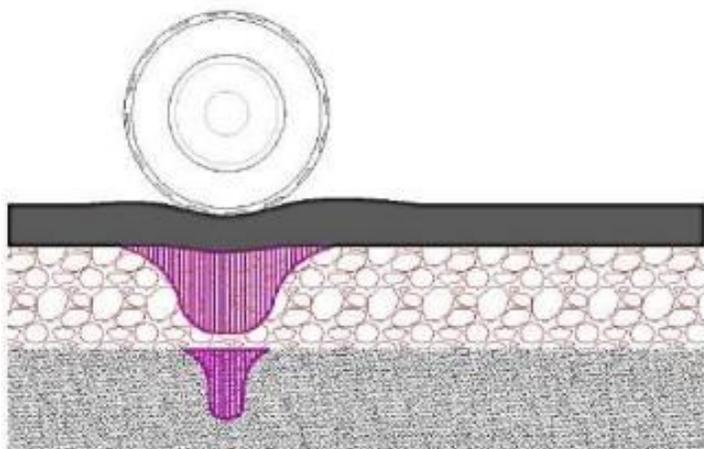
De acuerdo a la figura 1, el perfil típico que se observa corresponde al utilizado para altos y medios volúmenes de tránsito, ya que para bajos volúmenes de tránsito según Rondón H. y Reyes F. (2015), puede estar constituida únicamente por la capa de rodadura. Con relación al perfil típico de un pavimento flexible, la subrasante hace referencia a la capa de soporte o suelo sobre el cual se construye la estructura de pavimento. En algunos casos cuando las propiedades mecánicas de la subrasante no presentan buenas condiciones, se debe añadir una capa de material de relleno para conformar una capa de subrasante mejorada. Posterior a la capa de subrasante o subrasante mejorada, se continua con la capa de subbase granular la cual tiene como función repartir los esfuerzos sobre la subrasante; según el Instituto de Desarrollo Urbano [IDU] (2013), para las vías de bajo volúmenes de tránsito, el papel que desempeña la capa de subbase puede remplazarse, en ciertos casos por un tratamiento del suelo de la subrasante.

En lo que respecta a la capa de base granular para un pavimento flexible, está constituida por material seleccionado y su función es resistir las cargas inducidas por los vehículos para luego distribuir las a la subbase granular y por último a la subrasante.

Finalmente, un pavimento flexible se compone por una capa asfáltica que está compuesta por una capa de rodadura, una de base intermedia y una de base asfáltica. Según el libro de Rondón H. y Reyes F. (2015), la capa base intermedia debe estar diseñada y construida de tal forma que sea resistente a los fenómenos de fatiga y acumulación de las deformaciones permanentes inducidas por las cargas cíclicas vehiculares que se repiten en el tiempo; la capa de base asfáltica es la que recibe de manera directa las cargas que circulan sobre la superficie del pavimento y la capa de rodadura es la que impide la penetración directa del agua a las capas subyacentes, restringiendo la pérdida de resistencia al corte que puedan experimentar las capas granulares de base y subbase. En la siguiente figura 2, se observa el comportamiento mecánico de un pavimento flexible cuando está bajo sollicitaciones de tránsito.

Figura 2

Deformaciones de una estructura de pavimento flexible



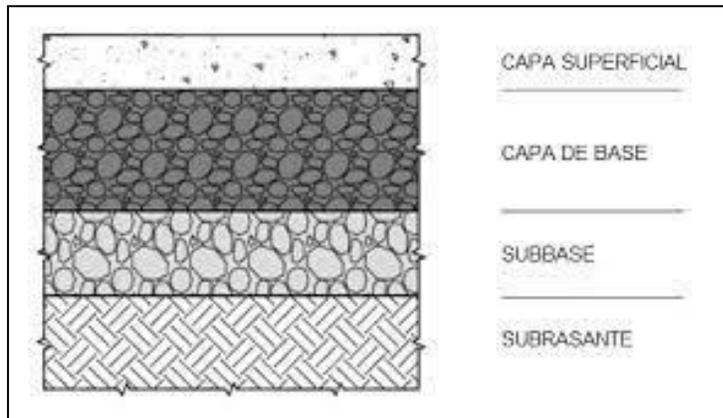
Nota: Fuente: IDU (2013)

2.1.2 Pavimento Rígido

El pavimento Rígido al igual que el pavimento flexible está compuesto por una capa de soporte (base y subbase granular), y una capa superficial conformada por losas de concreto que puede ser simple o reforzado y con un espesor concreto que varía de 150 a 250 mm. Ver figura 3 Perfil de pavimento Rígido.

Figura 3

Perfil típico de una estructura de pavimento rígido



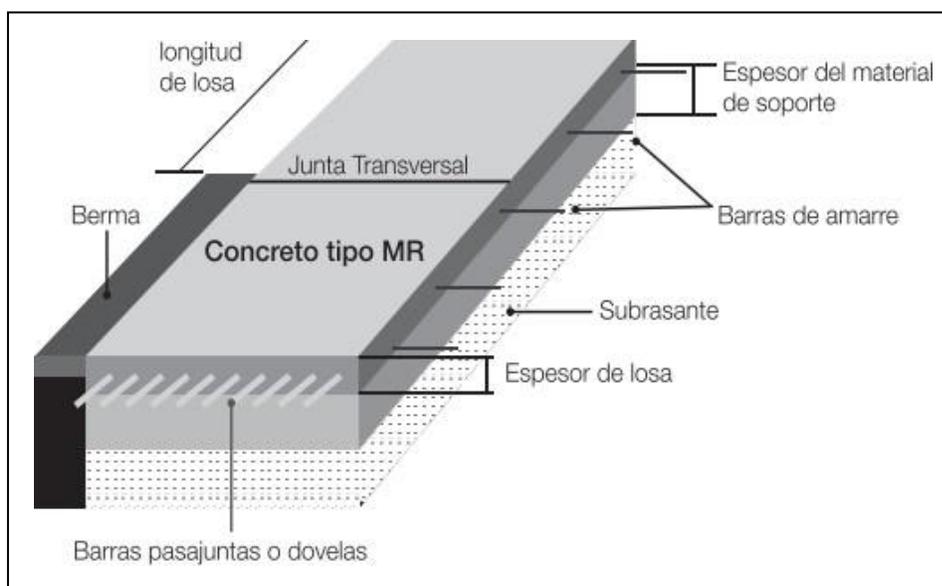
Nota: Fuente: Department of Transportation Federal Aviation Administration (2016)

De acuerdo a la figura 3, los pavimentos rígidos no siempre están obligados a contener una capa de base y subbase granular, ya que cuando el comportamiento mecánico del suelo o subrasante es bueno, solo basta agregar una capa bien sea base o subbase granular (de acuerdo a estudios de suelos), para posteriormente conformar la estructura de pavimento con la capa superficial de concreto. Con respecto a la capa superficial de concreto puede ser de dos tipos en losas de concreto simple y losas en concreto reforzado:

Pavimento conformado por losas de concreto simple: Este sistema no utiliza armadura de refuerzo en las losas de concreto, sin embargo, para el buen funcionamiento de un pavimento en concreto simple, se emplean juntas de retracción y contracción, juntas de alabeo y juntas longitudinales. Ver figura 4.

Figura 4

Estructura de pavimento en concreto simple



Nota: Tomado de: Álvarez J. & Londoño C. (2008)

Juntas de retracción y contracción: Estas juntas tienen la función de liberar los esfuerzos generados en las primeras horas después de fundida las losas de concreto y según Álvarez J. & Londoño C. (2008), se realiza cortando cada losa de concreto con equipo de acerrado y disco de corte diamantado antes de pasadas las 12 horas de fundido, a una profundidad mínima $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa, pero nunca menos de 25 mm.

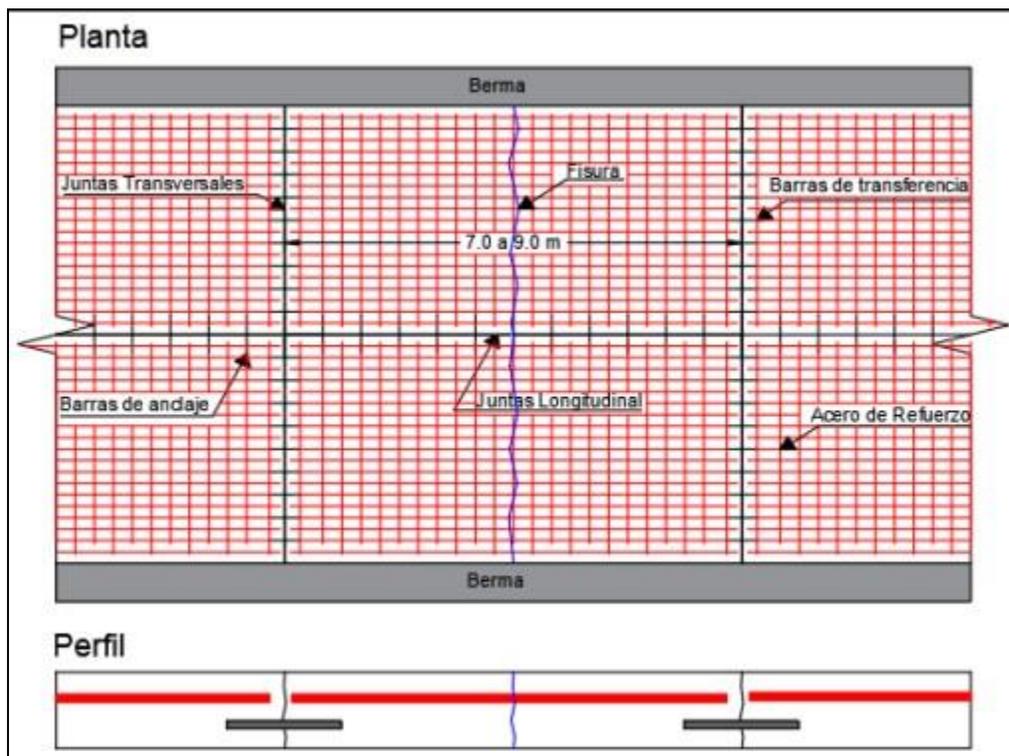
Juntas de alabeo: Las juntas de alabeo corresponden a los cambios diferenciales de humedad y temperatura que según Álvarez J. & Londoño C. (2008), obligan a las losas a levantarse en el centro y a apoyarse en los extremos o viceversa, lo que produce esfuerzos que pueden generar fisuras. En este caso y con el fin de transferir las cargas generadas por el volumen de tránsito entre una losa y otra se emplean varillas de transferencia de carga o según la figura 4, barras pasajuntas o dovelas, las cuales son barras de acero liso que permiten a las losas separarse y unirse entre sí. Se deben ubicar a la mita del espesor del concreto. El espesor, diámetro y separación de las varillas lisas para dovela varían dependiendo del espesor de la losa de concreto.

Juntas longitudinales: Según Álvarez J. & Londoño C. (2008), estas juntas pueden ser de alabeo o construcción y su función es controlar las fisuras cuando se construyen pavimentos con anchos superiores a 4,5 metros. Cuando el pavimento no tiene confinamiento lateral, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje o según la figura 4, barras de amarre para impedir el desplazamiento de las losas de un carril con respecto a las de otro. Normalmente se emplea acero de refuerzo corrugado y el diámetro, longitud y separación, dependen del espesor de la losa de concreto.

Pavimentos de concreto reforzado: Según Jaimes Chinome A. (2020), este sistema utiliza acero de refuerzo para las losas de concreto, por esta razón la distancia entre juntas transversales aumenta a valores de 7 y 9 metros. A pesar de contar con material de refuerzo, se espera que se produzcan fisuras controladas dentro de la losa. El uso de barras o trabazón de agregados en las juntas transversales es necesario para poder garantizar la transferencia de cargas entre las losas. Ver figura 5.

Figura 5

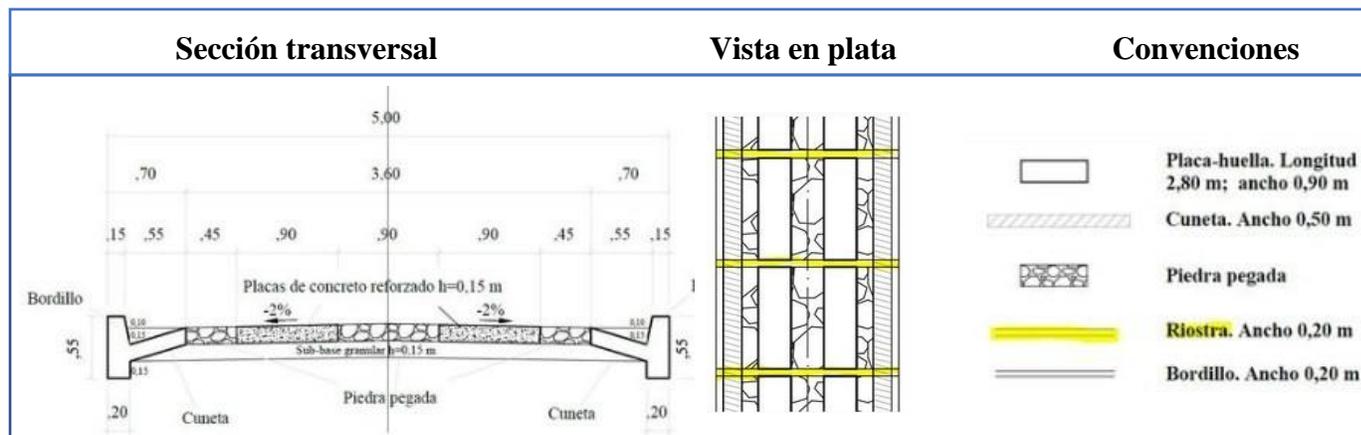
Estructura de pavimento en concreto reforzado



Nota: Tomado de Jaimes Chinome A. (2020).

Dentro de las estructuras de pavimento en concreto reforzado, se puede hablar también del tipo de pavimento muy usado para vías terciarias más conocido como placa huella:

Placa huella: Las placa huellas son estructuras de pavimento en concreto reforzado utilizados comúnmente para vías con bajos volúmenes de tránsito, conformada por una capa de base y subbase granular con acero de refuerzo para cintas y riostras. También se conforman de piedra pegada para bermas y sobreanchos de la placa huella. En algunos casos la composición de la base y subbase granular se reduce una sola dependiendo de las propiedades y condiciones en la que se encuentre la subrasante. Ver figura 6.

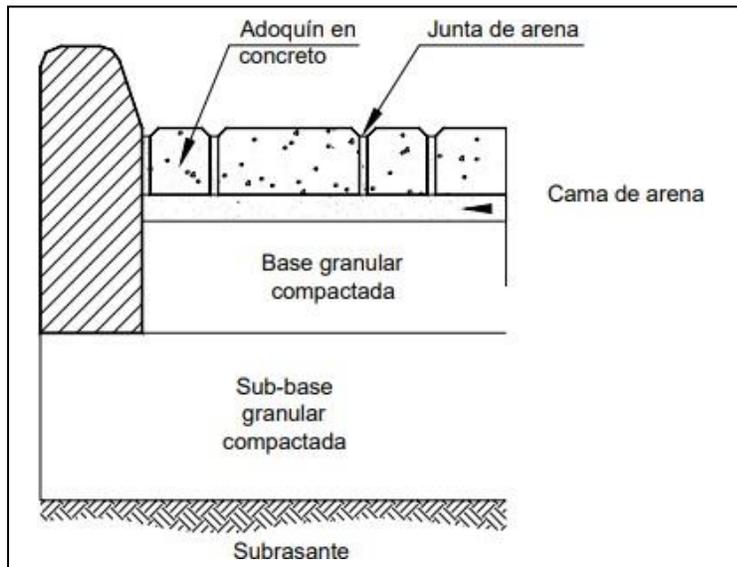
Figura 6*Estructura de pavimento en placa huella*

Nota: Los valores de cada imagen de la figura 6, corresponden a datos recomendados por el autor. Fuente: Baza D. (2019).

De acuerdo a la figura 6, cada placa de concreto reforzado según la guía de diseño de pavimentos con placa-huella de Invias (2015), debe tener una longitud máxima de 2,80m. El espesor de la placa huella debe ser de 15 cm y el ancho de la placa de concreto como la piedra pegada central, deben ser de 0,90 m. El ancho de la riostra debe ser de 0,20 m

2.1.3 Pavimento articulado

Corresponden a los tipos de pavimentos compuestos por elementos prefabricados de forma articulada, que contribuyen con la resistencia y flexibilidad. Según Sánchez X. (2003) un pavimento articulado, este compuesto por una capa de base granular, subbase granular, y una capa de rodadura que puede ser de adoquines en concreto o adobe, los cuales siguiendo algún patrón modular se empalman entre si sin emplear materiales cementantes para fijarlos. Se debe utilizar una capa de arena para sellar los adoquines. Ver figura 7.

Figura 7*Estructura de pavimento articulado*

Nota: Tomado de: Sánchez X. (2003).

La construcción de pavimentos en concreto articulado, tiene su grado de dificultad, ya que se debe nivelar correctamente la subrasante y capas de base granular, subbase granular y cama de arena, ya que una pequeña diferencia o cambios en la geometría uniforme de la subrasante se verán reflejados en la losa superficial luego de instalado los adoquines o elementos prefabricados.

2.2 Ensayos de laboratorio usados para vías terciarias

Teniendo en cuenta los distintos métodos y estructuras para la pavimentación de vías terciarias los ensayos de laboratorio más relevantes que se deben tener en cuenta, se clasifican de acuerdo a las características intrínsecas del material y al comportamiento mecánico del mismo.

2.2.1 Ensayos de laboratorio características intrínsecas de los materiales

Contenido de Humedad w_n (INV E-122-07): Este ensayo se realiza para determinar el contenido de agua (humedad) de los materiales del suelo, roca y mezclas de suelo-agregado por peso. Se realiza para la subrasante, base y subbase granular.

Granulometría (INV E-123-07): Este ensayo permite determinar la dimensión máxima de las partículas contenidas en el suelo y su porcentaje en relación con el peso total de la muestra. El ensayo de granulometría se realiza para conocer las características de los materiales utilizados para la base y subbase granular, como también la subrasante.

El límite líquido LL (INV E-125-07): es un parámetro que determina el mayor contenido de agua que puede tener un suelo sin pasar de estado plástico a líquido. Este ensayo se aplica para bases y subbase granulares de acuerdo a lo estipulado en las especificaciones técnicas de Invias (2013).

El límite plástico LP (INV E-126-07): es un parámetro que determina el contenido más bajo de agua en un suelo, para el cual puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen agrietamiento o desmoronamiento. Este ensayo se aplica para bases y subbase granulares de acuerdo a lo estipulado en las especificaciones técnicas de Invias (2013).

2.2.2 Ensayo de laboratorio Comportamiento mecánico del material

Ensayo de CBR (INV E-148-07): Corresponde a la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado Relación de Soporte de California, conocido debido a su origen como CBR (California Bearing Ratio). Este ensayo se utiliza para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base.

Ensayo de compactación Proctor modificado (INV E-142-13): Este ensayo se emplea para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de los suelos, obteniendo de esta forma la curva de compactación. Es un proceso que se realiza en laboratorio y aplica para suelos con 30% o menos de su masa con tamaño mayor a 19,0 mm, y que no hayan sido compactados previamente. Se utiliza para conocer la resistencia de la subrasante, base y subbase granular.

Ensayo de cono de arena (INV E-161-13): Este ensayo es realizado in situ, una vez compactado el suelo, bien sea la subrasante, capa de base granular o subbase granular, y se realiza para determinar la densidad y el peso unitario del suelo compactado. Con este ensayo se realiza la relación del grado de compactación del suelo junto con el Proctor modificado para definir el grado de compactación por encima del 95%.

Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (INV E-410-13): Este ensayo se realiza para determinar la resistencia del concreto utilizado para pavimentos mediante la compresión de cilindros de concreto en laboratorio.

Ensayo de cono slump (INV E-404-07): Este ensayo tiene como objetivo determinar el asentamiento del concreto in situ y se realiza utilizando un molde metálico tronco cónico más conocido como el cono de abrams y una varilla punzonadora. Los valores obtenidos del ensayo in situ, deben ser igual a los valores establecidos de acuerdo al diseño de mezcla del concreto.

Ensayo de calidad del agua para concretos (INV E-417-07): Este ensayo se realiza para determinar la acidez o alcalinidad del agua para ser usado en la mezcla de concreto. Según Montejo A. (2010), un exceso de impurezas en el agua de mezclado puede causar eflorescencias o corrosión en el acero de refuerzo del concreto.

2.3 Marco normativo para la construcción de vías terciarias en Colombia

El marco normativo para la construcción de vías en Colombia, se enmarca en las normas de especificaciones técnicas de pavimentos, como también en las normas para la realización de los diferentes ensayos que de laboratorio necesario para la construcción de pavimentos. A continuación, se relacionan las Resoluciones, guías, manuales y normas relacionado con la construcción de la estructura de pavimento.

2.3.1 Resoluciones

Resolución No.2566 del 16 de junio e 2010. Por el cual se adopta el manual de interventoria en el Instituto Nacional de Vías como herramienta para realizar la supervisión en la ejecución de contratos de obra e interventoria de obra.

Resolución No.000743 del 04 de marzo de 2009. Por el cual se adopta la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos.

Resolución No.003482 del 29 de agosto de 2007. Por el cual se adopta el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con Bajos volúmenes de tránsito.

Resolución No.000744 del 04 de marzo de 2009. Por el cual se actualiza el manual de diseño geométrico para carreteras.

Resolución No.000803 del 06 de marzo de 2009. Por el cual se adopta el Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con Bajos, Medios y Altos volúmenes de tránsito.

Resolución No.0001049 del 11 de abril de 2013. Por el cual se adopta el Manual de Diseño de Cimentaciones superficiales y profundas para carreteras.

Resolución No.0001375 del 26 de mayo de 2014. Por el cual se actualizan las Normas de Ensayo de materiales para carreteras.

Resolución No.0001376 del 26 de mayo de 2014. Por el cual se actualizan las Especificaciones Generales de construcción para carreteras.

Resolución No.000024 del 07 de enero de 2011. Por el cual se adopta el Manual de drenajes para carreteras.

2.3.2 Guías y manuales

Manual de diseño geométrico de carreteras. Instituto Nacional de Vías. Invias (2008).

Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Ministerio De Transporte – Instituto Nacional De Vías 2008.

Manual de drenaje para Carreteras. Instituto Nacional de Vías Invias (2009).

Guía “diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.”. Instituto De Desarrollo Urbano IDU (2013)

Guía de diseño de pavimentos con Placa-Huella. Ministerio de Transporte – Invias 2015.

2.3.3 Normas técnicas

Norma de EPM NC-MN-OC07-09. Norma De Construcción Placa Huella

Norma ASTM A 615. Especificaciones técnicas para el acero de refuerzo.

NTC – 3318: Norma técnica colombiana de concretos

Normas y especificaciones técnicas de Invias 2012 (INV E -). Relaciona todas las normas para cada uno de los ensayos de laboratorio necesarios para dar cumplimiento a la

calidad de los materiales utilizados en la construcción de la estructura de pavimento; en el subcapítulo anterior (2.3) se pueden apreciar algunas de las normas del compendio de normas y especificaciones técnicas de Invias 2012, que competen a cada ensayo de laboratorio mencionado.

2.4 Fallas típicas de pavimentos en vías terciarias

Las fallas en una estructura de pavimento por lo general son el producto del desgaste, deterioro, mala calidad de los materiales, malos procesos constructivos, o por el producto de fenómenos naturales que afectan las condiciones de estabilidad del suelo.

Las fallas típicas en una estructura de pavimento pueden ser superficiales o estructurales para toda su tipología (flexible, rígido y articulado), es por esto que a continuación, se describen las fallas más comunes discriminadas solo para cada tipo de pavimento.

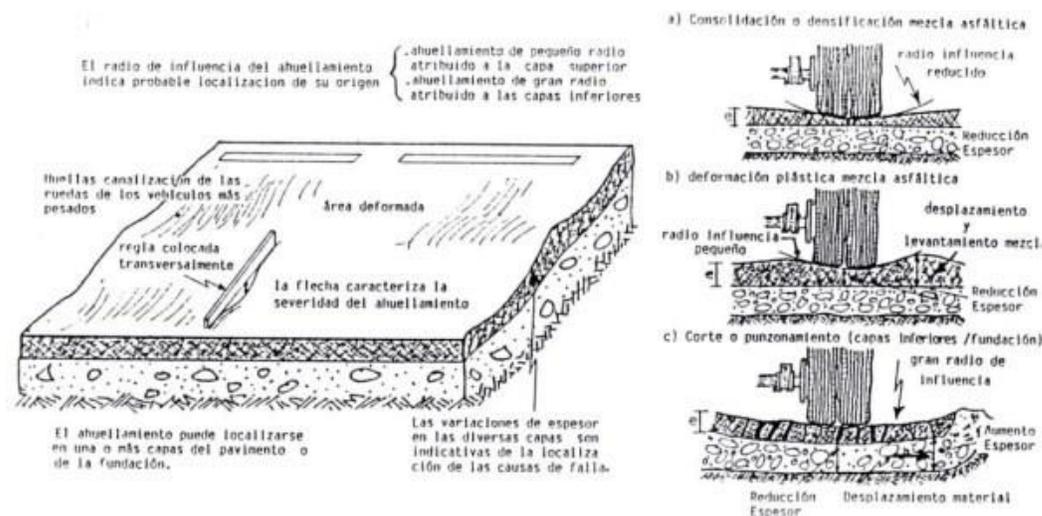
2.4.1 Fallas en pavimentos flexibles

Deformaciones permanentes: Hace referencia a aquellas distorsiones o variaciones del perfil transversal y/o longitudinal del pavimento. Las fallas típicas son: Ahuellamiento, hundimiento, Abultamiento y Ondulación.

Ahuellamiento: Este tipo de falla corresponde a la depresión longitudinal en la banda de rodamiento o huellas de canalización del tránsito. Ver figura 8.

Figura 8

Falla por ahuellamiento en pavimento flexible



Nota: Tomado de: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones [M.O.P.C.] (2016)

Hundimiento: Los hundimientos en pavimentos flexibles, corresponden a depresiones en áreas localizadas del pavimento y según Montejo A. (2010), pueden ser motivadas por asentamientos del suelo de fundación o generadas durante la construcción por deficiente compactación o por el uso de materiales inadecuados. Ver figura 9.

Figura 9

Falla por hundimiento en pavimento flexible

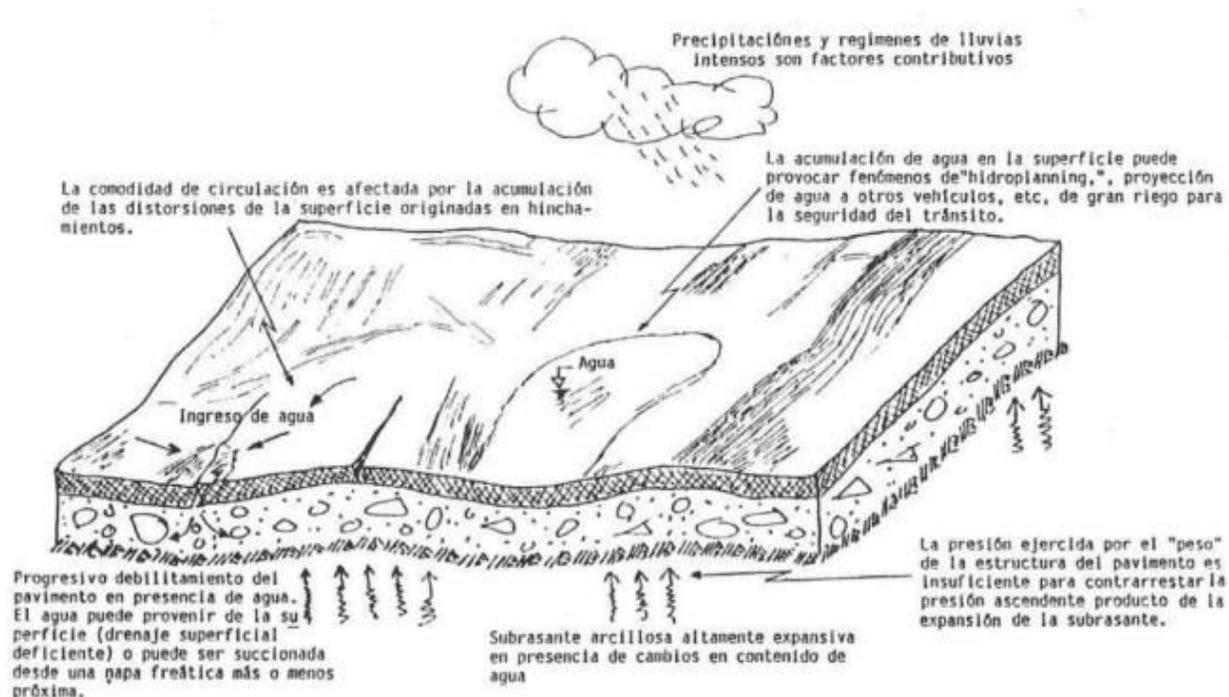


Nota: Tomado de Higuera M. (2016).

Abultamiento: El abultamiento o hinchamiento, hace referencia a pequeños desplazamientos hacia arriba que forman una onda abrupta o pronunciada sobre la superficie del pavimento. (Romero J., 2017). Ver figura 10.

Figura 10

Falla por abultamiento en pavimento flexible

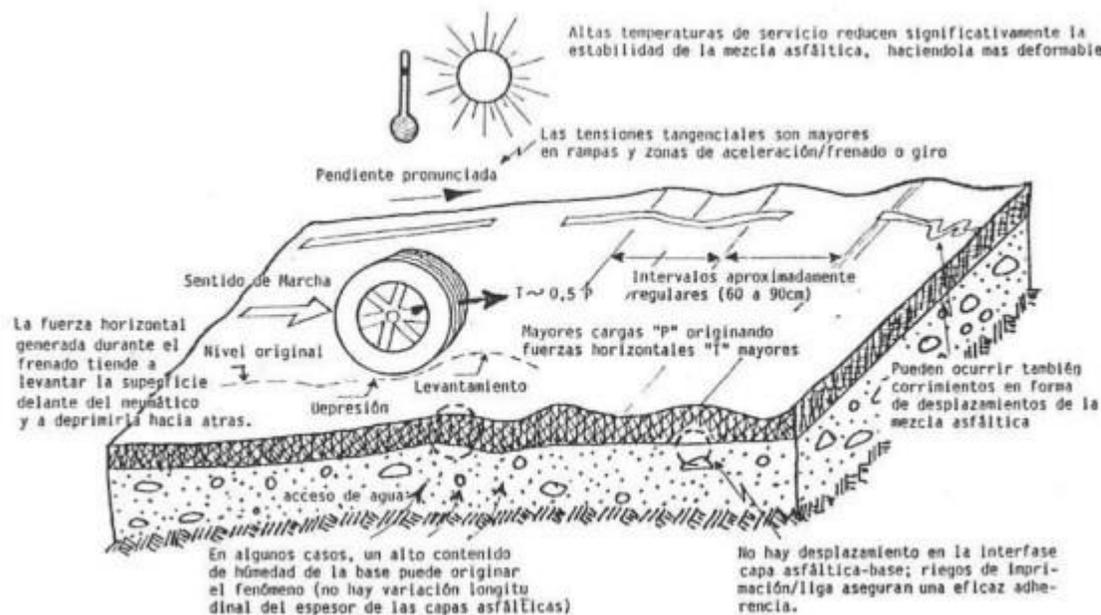


Nota: Tomado de [M.O.P.C.] (2016)

Ondulaciones: Son movimientos plásticos causados por la ondulación de la superficie del pavimento que se a altas temperaturas o a defectos constructivos producto de la calidad de los materiales. Ver figura 11.

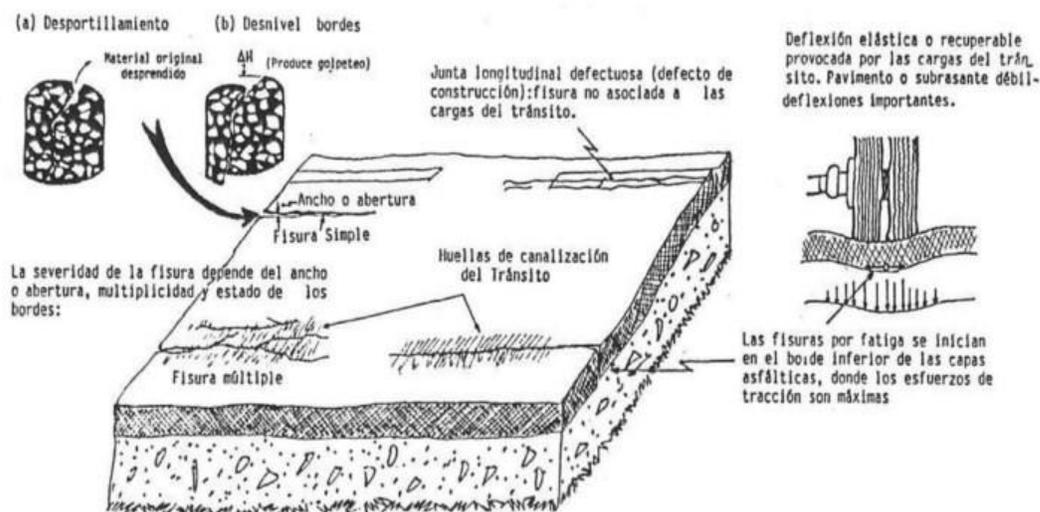
Figura 11

Falla en pavimento flexible por ondulación



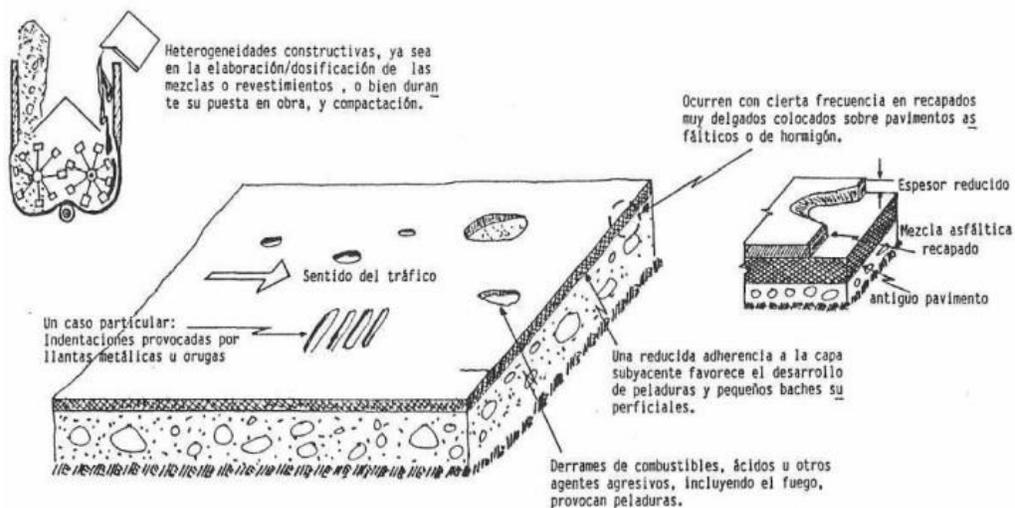
Nota: Tomado de [M.O.P.C.] (2016)

Fisuraciones o agrietamientos: Las fisuras o agrietamientos, son patrones irregulares, que se presentan en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración comienza desde el fondo de las capas asfálticas, en donde los esfuerzos a tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuraciones por lo general se presentan a causa de un espesor insuficiente de la estructura de pavimento y también por deformaciones en la subrasante. Los tipos de fisuraciones pueden ser grietas en bloque o mayormente conocida como piel de cocodrilo, grietas de borde y fisuras y grietas longitudinales y transversales. (Miranda R., 2010) Ver figura 12.

Figura 12*Fallas por fisura o agrietamiento en pavimento flexible*

Nota: Tomado de [M.O.P.C.] (2016)

Desintegración: Hace referencia al desprendimiento o pérdida de partículas de agregados pétreos que se encuentran en la capa superficial de la estructura de pavimento, y es causado por el deterioro de la estructura y/o fallas en su proceso constructivo. (Fernández V., 2019)

Figura 13*Fallas en pavimento flexible por desintegración*

Nota: Tomado de [M.O.P.C.] (2016)

2.4.2 Fallas en pavimentos rígidos

Las fallas en pavimentos rígidos por lo general se dan por malos procesos constructivos, o mal uso de los materiales, como también por el deterioro de la estructura de pavimento y pérdida de resistencia de las capas granulares y subrasante. Según el manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias 2006, las fallas en pavimentos rígidos más comunes corresponden a agrietamientos, deterioro de juntas y deterioro superficial.

Fallas por agrietamiento: De acuerdo al manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006), las grietas de ancho menor que 0,03 mm son considerados fisuras. Entre las fallas por agrietamiento, las más comunes se describen a continuación:

Grietas de esquina: Este tipo de falla genera un bloque de forma triangular, con el borde de la junta longitudinal y se presenta por falta de refuerzo en la losa, como también por el accionar de las cargas de tránsito. Esta falla también puede ser causada por los efectos del alabeo de la losa de concreto, o por fallas en el proceso constructivo. Ver figura 14.

Figura 14

Agrietamiento de esquina en pavimento rígido

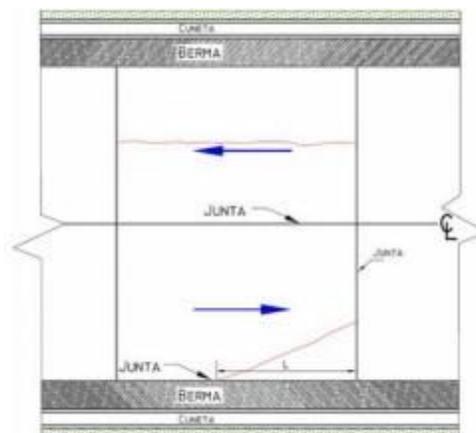


Nota: Fuente: José Heredia & Asociados C.A. (s.f.)

Grietas longitudinales: Son grietas que se generan más o menos paralelas al eje de la calzada y se extienden desde una junta transversal a otra. Ver figura 15.

Figura 15

Agrietamiento longitudinal en pavimento rígido

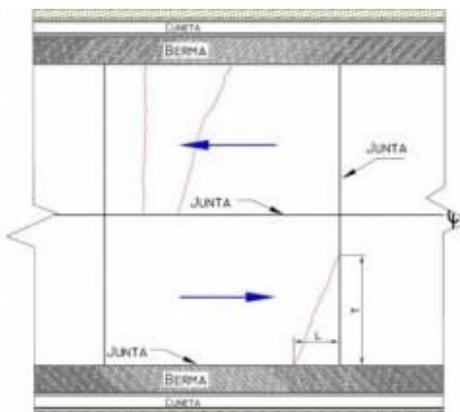


Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Grietas transversales: Son grietas que se presentan perpendicular al eje de la vía y según Montejo A. (2010), se presentan a causa del fenómeno de bombeo que produce que las losas queden en voladizo y posteriormente se agrietan y se rompen. Ver figura 16.

Figura 16

Agrietamiento transversal en pavimento rígido

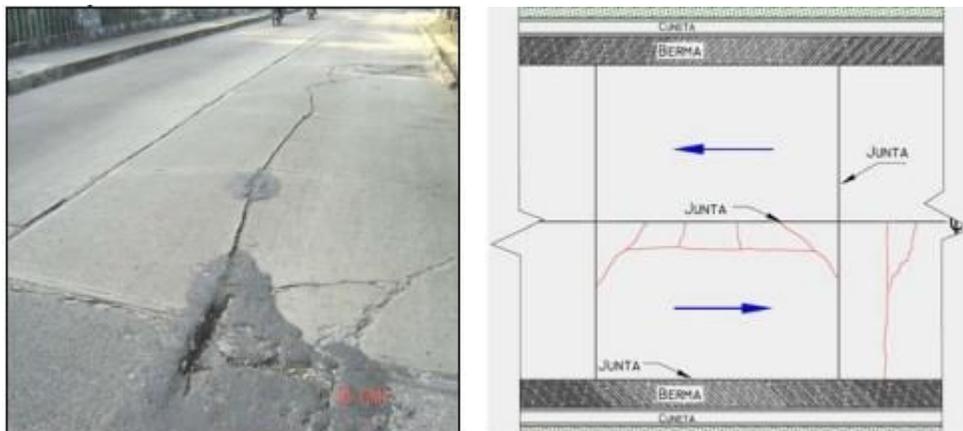


Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Grietas en bloque o múltiples: Este tipo de grietas se debe a la unión de grietas transversales con grietas longitudinales formando un bloque a lo largo de la losa de concreto. Ver figura 17.

Figura 17

Agrietamiento en bloque en pavimento rígido

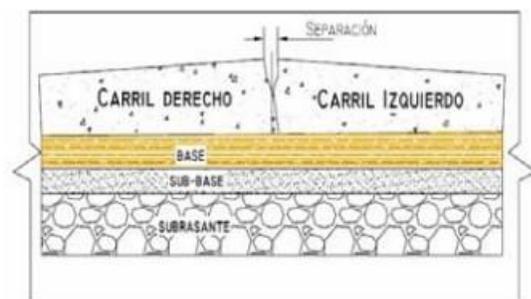


Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Fallas por deterioro de juntas: De acuerdo al manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006), los daños en juntas corresponden a la separación de Juntas longitudinales (ver figura 18) y al deterioro del sello de junta que permite la filtración de agua (ver figura 19).

Figura 18

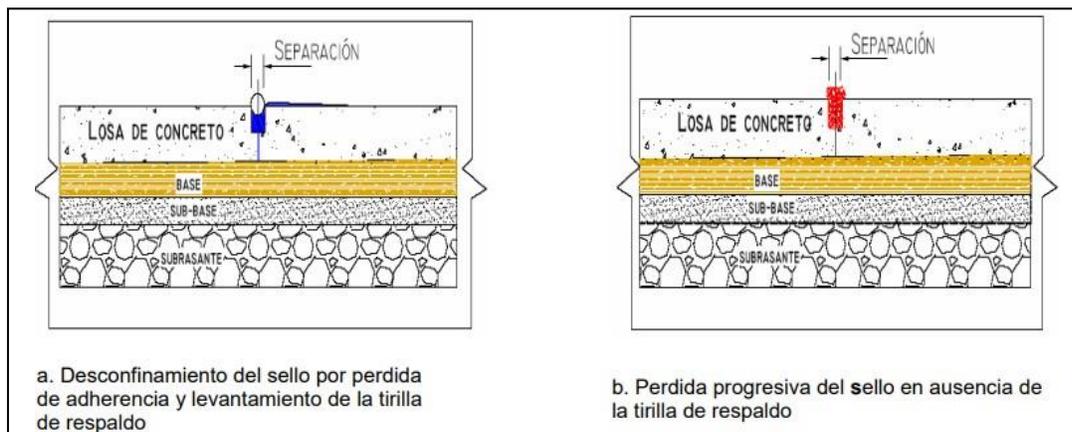
Falla por separación de juntas longitudinales en pavimento rígido



Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Figura 19

Falla por deterioro del sello de juntas en pavimentos rígidos



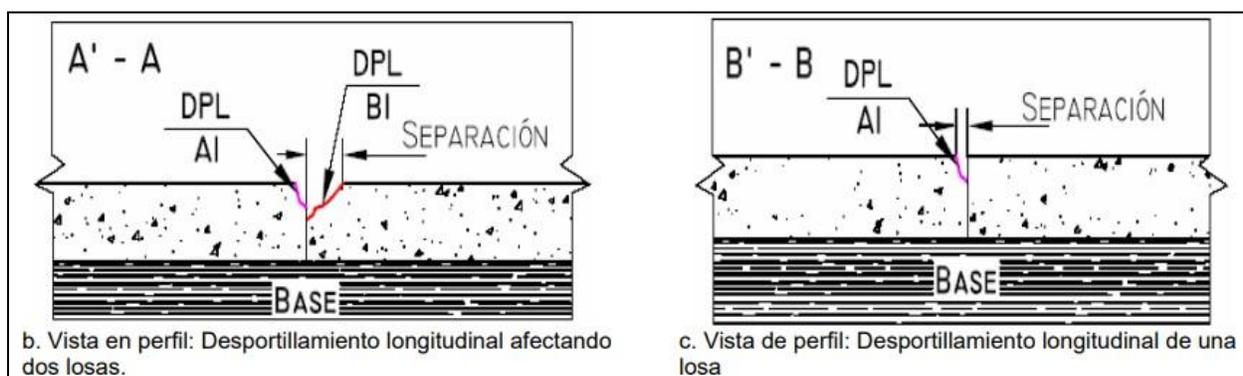
Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Fallas por deterioro superficial: Hace referencia al desgaste de la capa superficial del concreto, en donde las fallas más comunes del deterioro superficial corresponden al desportillamiento de juntas, descascaramiento y desintegración del concreto del pavimento.

Desportillamiento de juntas: Hace referencia a la desintegración o desportillamiento de las aristas de las juntas tanto transversales como longitudinales. Ver figura 20.

Figura 20

Desportillamiento de juntas en pavimentos rígidos

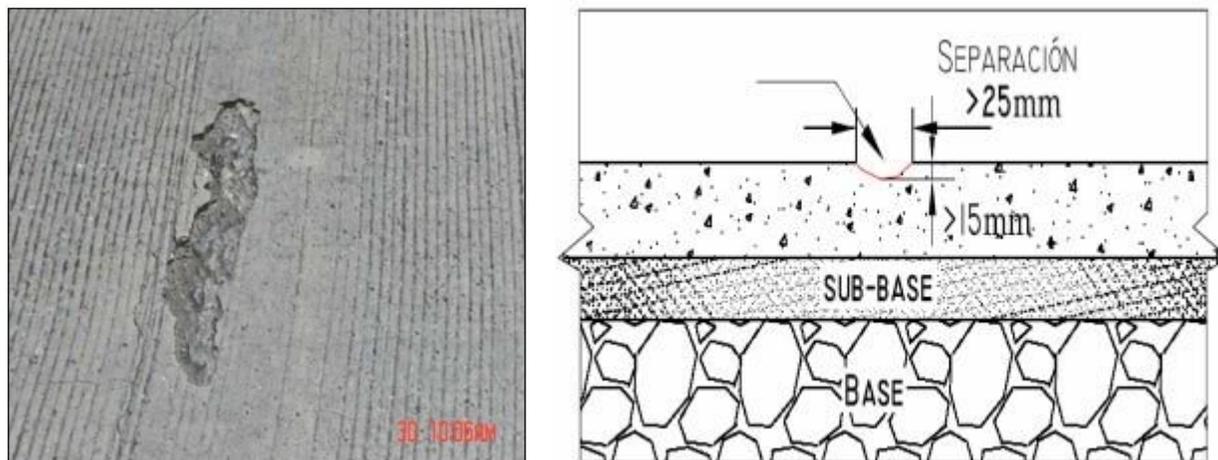


Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Descascaramiento de losa de concreto: El descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa de concreto hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. (Invias, 2006). Ver figura 21.

Figura 21

Descascaramiento de losas de concreto en pavimentos rígidos



Nota: Tomado del Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de Invias (2006).

Desintegración del concreto: Según Montejo A. (2010), esta falla se debe a la expansión del concreto por el uso de cemento con alto contenido de álcalis que reaccionan con los constituyentes silíceos de los agregados pétreos. Ver figura 22.

Figura 22

Desintegración del concreto en pavimento rígido



Nota: Fuente: Calo D. (2016)

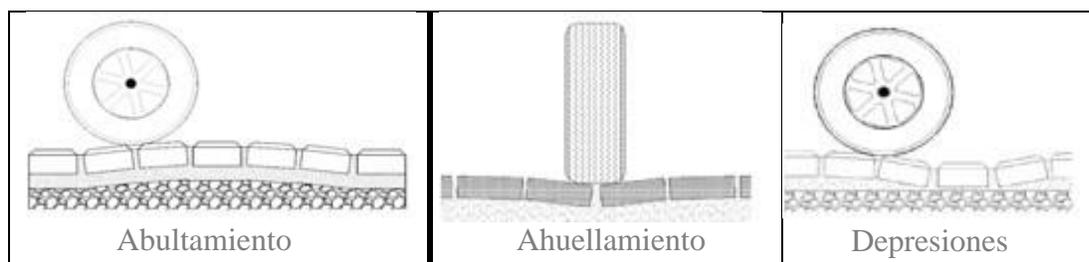
2.4.3 Fallas en pavimentos articulados

De acuerdo al estudio realizado por Higuera C. y Pacheco O. (2010), definen un catálogo de daños de pavimentos articulados para Colombia, el cual fue realizado en base a la observación directa en campo de los autores, definiendo las fallas de este tipo de pavimentos que se describen a continuación:

Falla por deformaciones: Hace referencia a cambios repentinos en la superficie del pavimento. Se pueden presentar tres tipos de deformaciones que son, abultamientos, ahuellamientos y depresiones. Este tipo de fallas se generan a causa de cambios volumétricos o asentamientos de la subrasante o suelo de soporte. Ver figura 23.

Figura 23

Falla por deformaciones en pavimentos articulados



Nota: Obtenido de Higuera C. y Pacheco O. (2010).

Fallas por desprendimientos: Este tipo de falla al igual que en lo anteriormente descrito para pavimentos rígidos, hace referencia a la pérdida del material en zonas localizadas del pavimento. En este caso es importante mencionar que por lo general los pavimentos articulados están compuestos de adoquines que pueden ser de concreto o adobe, y el desprendimiento se da por el desgaste superficial del adoquín y por la pérdida de arena. Ver figura 24.

Figura 24

Fallas por desprendimientos en pavimentos articulados



Nota: Fuente: Malone C. (2019) modificado por autores.

Fallas por desplazamientos: Las fallas por desplazamiento en adoquines, teniendo en cuenta que son elementos independientes y sobrepuestos en una capa de soporte, se presentan desplazamiento de borde cuando la calzada no se encuentra debidamente confinada, de igual forma también se presenta desplazamiento de juntas cuando la sección transversal tampoco se encuentra confinada. Ver figura 25.

Figura 25

Fallas por desplazamientos en pavimentos articulados



Nota: Fuente: Higuera C. y Pacheco O. (2010). Modificado por autores.

Fallas por fracturamientos: Hace referencia a la fisuras y grietas que se presentan en las piezas de adoquines, y demás elementos constructivos del pavimento como lo son los bordillos o elementos de confinamiento. Cuando los fracturamientos llegan a evolucionar, ocurren pérdidas de material, formación de concavidades e incrustación de objetos ajenos al pavimento. (Higuera C. & Pacheco O., 2010). Ver figura 26.

Figura 26

Falla por fracturamiento en pavimentos articulados

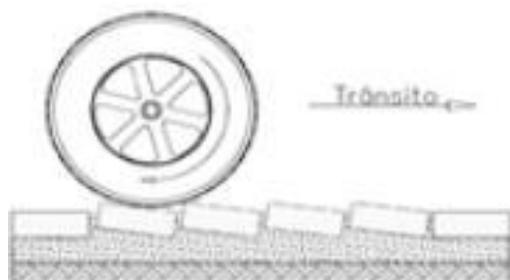


Nota: Fuente: Malone C. (2019)

Falla por escalonamiento entre adoquines: Hace referencia al cambio brusco de nivel entre hiladas de adoquines, también se presenta por mal proceso constructivo. Ver figura 27.

Figura 27

Falla por escalonamiento entre adoquines

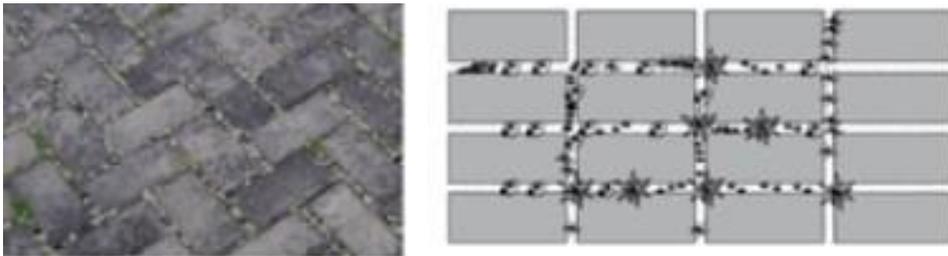


Nota: Fuente: Higuera C. y Pacheco O. (2010).

Falla por juntas abiertas entre adoquines: Se considera falla por juntas abiertas cuando la separación entre adoquines supera los 3 milímetros. Este tipo de falla cuando se presenta trae como consecuencia que cada pieza de adoquín se encuentre susceptible a desportillar sus aristas, como también a la pérdida de arena y presencia de vegetación. Ver figura 28.

Figura 28

Falla por juntas abiertas entre adoquines



Nota: Fuente: Higuera C. y Pacheco O. (2010).

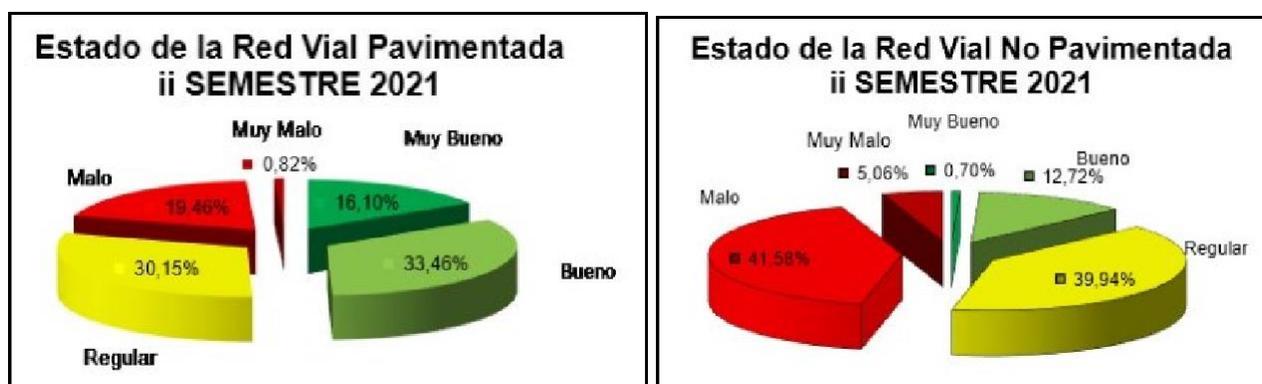
De acuerdo a lo descrito anteriormente con relación a los tipos de fallas y patologías para cada tipo de pavimento flexible, rígido y articulado, se aclara que no se relacionan la totalidad de todos los tipos de fallas existentes o en investigación para cada clase de pavimento.

Capítulo 3. Estado actual de las vías terciarias en Colombia

El Instituto Nacional de Vías, constantemente actualiza el estado de la Red Vial a su cargo, clasificándola en vías pavimentadas y no pavimentadas y estableciendo las condiciones en las cuales se encuentran, de esta forma se mantiene un efectivo control y seguimiento que le permite adoptar las medidas preventivas necesarias para brindar un mejor servicio a los usuarios de las vías. (Invias, 2021). Ver figura 29.

Figura 29

Estado de la red vial pavimentada y no pavimentada en Colombia



Fuente: Invias (2021).

Uno de los factores importantes que influyen en el estado actual de las vías terciarias en el territorio colombiano, corresponde a la falta de inversión para realizar los estudios previos de caracterización vial, ya que para que pueda haber inversión pública en la pavimentación y mejoramiento de las vías terciarias en Colombia, dichas vías, deben estar previamente identificadas y reconocidas bajo los entes de registro del gobierno nacional. De acuerdo a la figura 29, en la siguiente tabla 1 y tabla 2 se relaciona el resumen de datos suministrados.

Tabla 1

Resumen de datos sobre el estado actual de la red vial sin pavimentar en Colombia

TERRITORIAL	SIN PAVIMENTAR (<i>κms</i>)				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
ANTIOQUIA	1,71	6,00	8,49	0,00	0,00
ATLÁNTICO	0,00	3,47	0,00	36,38	2,90
BOLÍVAR	0,86	3,00	3,00	0,00	0,00
BOYACÁ	0,08	13,02	46,76	107,90	0,09
CALDAS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CAQUETÁ	3,49	14,59	20,64	17,43	0,00
CASANARE	0,17	20,52	23,74	3,10	0,10
CAUCA	0,06	77,05	272,25	244,17	16,90
CESAR	0,00	2,00	13,10	10,80	0,19
CHOCÓ	0,00	0,00	40,18	46,16	19,47
CÓRDOBA	0,00	37,24	6,78	2,01	0,00
CUNDINAMARCA	0,00	0,58	19,36	9,28	0,00
GUAJIRA	2,64	7,63	0,00	0,00	0,00
HUILA	0,00	16,28	97,11	99,92	0,00
MAGDALENA	0,00	0,00	12,21	34,30	41,01
META	3,34	41,04	82,50	98,65	0,00
NARIÑO	0,00	0,00	0,00	2,36	10,35
N. DE SANTANDER	0,00	0,00	64,27	40,86	8,03
PUTUMAYO	2,66	22,91	27,98	74,50	0,00
QUINDÍO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RISARALDA	0,00	0,22	17,26	14,00	2,98
SANTANDER	0,00	7,28	101,11	49,13	2,60
SUCRE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOLIMA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VALLE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OCAÑA	0,00	0,00	0,00	1,01	3,82
S. ANDRÉS y PROV.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL, RED VIAL	15,00	272,82	856,74	891,95	108,43
	0,70%	12,72%	39,94%	41,58%	5,06%

Nota: La tabla muestra el resumen de datos por entes territoriales tenidos en cuenta en la valoración obtenida en la figura 29. Fuente: Invias (2021).

Tabla 2

Resumen de datos sobre el estado actual de la red vial pavimentada en Colombia

TERRITORIAL	PAVIMENTADO (K ns)				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
ANTIOQUIA	21,24	137,72	210,45	164,71	1,00
ATLÁNTICO	15,70	7,86	2,49	0,00	0,00
BOLÍVAR	15,64	70,34	49,19	22,47	0,00
BOYACÁ	37,93	190,22	272,11	172,66	2,00
CALDAS	75,79	83,77	23,05	0,00	0,00
CAQUETÁ	140,39	73,80	68,10	106,89	0,00
CASANARE	1,93	157,26	218,36	184,12	0,00
CAUCA	50,89	159,72	284,48	162,66	0,33
CESAR	92,23	153,84	91,85	109,10	18,78
CHOCÓ	35,68	81,07	45,42	10,20	0,00
CÓRDOBA	46,29	30,21	70,10	96,44	0,00
CUNDINAMARCA	13,26	84,82	68,17	43,66	0,00
GUAJIRA	70,65	39,03	31,06	8,01	0,00
HUILA	31,28	92,61	70,40	76,68	0,97
MAGDALENA	37,60	76,82	23,05	8,53	14,47
META	63,46	131,12	125,94	39,86	0,00
NARIÑO	171,34	307,25	141,34	87,85	0,38
N. DE SANTANDER	19,98	88,63	122,49	113,14	0,00
PUTUMAYO	102,73	36,83	15,50	0,15	0,00
QUINDÍO	56,26	26,03	38,59	3,00	0,00
RISARALDA	13,90	79,55	78,55	25,73	0,00
SANTANDER	156,36	393,57	233,24	87,84	9,07
SUCRE	34,70	20,84	33,98	46,24	16,94
TOLIMA	5,85	133,06	46,56	20,54	0,00
VALLE	67,53	142,12	222,77	56,67	0,46
OCAÑA	33,74	147,08	63,27	64,89	8,48
S. ANDRÉS y PROV.	11,00	12,50	14,00	7,80	0,00
TOTAL, RED VIAL	1.423,31	2.957,69	2.664,49	1.719,82	72,88
	16,10%	33,46%	30,15%	19,46%	0,82%

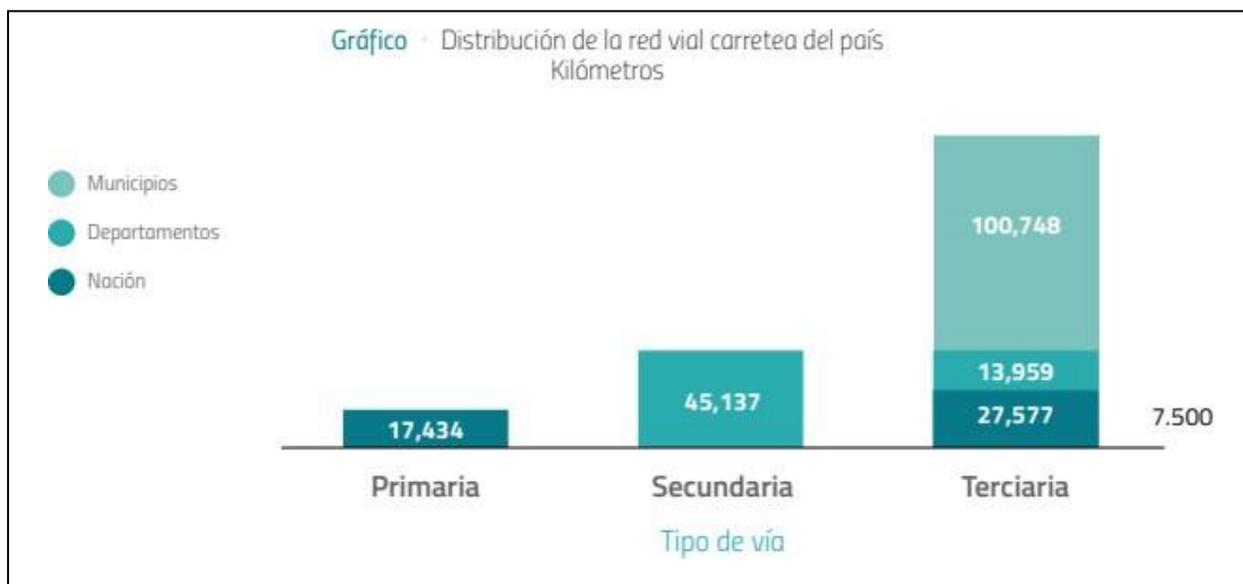
Nota: La tabla muestra el resumen de datos por entes territoriales tenidos en cuenta en la valoración de la figura 29. Fuente: Invias (2021).

Teniendo en cuenta la figura 29, tabla 1 y tabla 2, según el último reporte actualizado para el segundo semestre 2021 según el reporte de Invias, se aprecia que el 41,58 % de la red vial sin pavimentar se encuentra en mal estado, y en estado regular el 39,94%, en donde solo se encuentra en buen estado 12,72% y 0,70% de las vías sin pavimentar.

Según Andrade L. (2017), en el territorio colombiano, la ejecución de proyectos dirigidos al mejoramiento de la red vial terciaria del país, dependen en gran parte a cuatro entidades estatales que son la ANI, INVIAS, Ministerio de Transporte y Posconflicto. Para la fecha de presentación del Artículo de Andrade L., la distribución de la red vial de carreteras en el país, obedece a lo relacionado en la siguiente figura 30.

Figura 30

Distribución de la red vial del país en kilómetros



Nota: Tomado de: Revista de ingeniería. Estrategias estatales para el mejoramiento de la red terciaria por Andrade L. (2017).

Con relación a la gestión técnica para la intervención física de las vías terciarias en Colombia, se propone una metodología según el estudio realizado por Correa E. (2017), en donde plantea tres niveles, tal como se aprecia en la siguiente figura 31.

Figura 31

Niveles de gestión técnica para vías terciarias en Colombia



Nota: Tomado de Revista de Ingeniería por Correa E. (2017).

De acuerdo a la figura 31, el mantenimiento rutinario y periódico con la participación comunitaria fomenta el compromiso de la ciudadanía con los bienes de uso público, que se traduce en una buena red vial terciaria que permite el desarrollo del campo.

3.1 Proyectos de construcción de red terciaria en Colombia

Como parte de la investigación en este literal se relaciona la recopilación de información sobre la contratación y construcción de vías terciarias en Colombia, en donde se realiza la descripción ilustrativa de algunos contratos de obra pública de los cuales se pudo compilar información y que tienen como objeto realizar la pavimentación de vías terciarias en diferentes zonas del país.

Contrato de obra No. 011 de 2018. El cual tiene como objeto Construcción Placa Huella en el Corregimiento Estación Cocorná, municipio de Puerto Triunfo, Antioquia. Ver figura 32.

Figura 32

Construcción de placa huella Corregimiento Estación Cocorná



Nota: Autores del proyecto.

De acuerdo a la figura 32, se puede observar que durante la ejecución del contrato de obra pública No. 011 de 2018, se tuvieron buenas prácticas en el sentido en que el personal se encuentra dotado de todos los elementos de protección personal EPP, como también con el uso de equipos para vibrar el concreto. No obstante, en la imagen del costado derecho de la figura 32, se observa una mala práctica que no es recomendable, ya que el concreto alcanza su resistencia máxima a los 28 días, y antes de ese tiempo, no es recomendable someter a la estructura de pavimento nueva a cargas de tránsito, en este caso a cargas del carro mezclador de concreto.

El proceso constructivo evidenciado en este proyecto, corresponde al cajeo de la vía, instalación de subbase granular, instalación de formaletas y acero de refuerzo, fundición de vigas y huellas, y fundida de piedra pegada para bermas y sobre anchos.

Contrato de Obra No 114 del 23-04-2021. Terminación del mejoramiento de la infraestructura para la vía terciaria de la vereda culebritas del municipio de Convención, Norte de Santander. Ver figura 33.

Figura 33

Construcción de placa huella vereda culebritas



Nota: Autores del proyecto.

De acuerdo a la figura 33, se puede observar que, durante la ejecución del contrato de obra, se mantuvo una buena gestión en la implementación de controles de seguridad, como lo es el correcto almacenamiento, señalización y uso de EPP. Con respecto al proceso constructivo, se observa que utilizaron retroexcavadora de llantas para realizar la extendida del material granular, aunque no es ilegal, se recomienda en todo caso el uso de motoniveladora para extender las capas de materiales, ya que, por lo general cuando se emplea motoniveladora, se puede llevar un mejor control de los peraltes, inclinaciones y bombeos de la vía.

Contrato de prestación de servicios de construcción de 22 de octubre de 2020. El cual tiene por objeto: mejoramiento de la vía terciaria que conduce de la mejorana al alto el chinche y cordobitas corregimiento de el dorado municipio de Yotoco, departamento del Valle del Cauca.

Figura 34

Construcción de pavimento rígido en vereda cordobitas Yotoco



De acuerdo a la figura 34, en este proyecto, se realiza la construcción de pavimento rígido, sobre subbase granular, en donde fue necesario realizar un mejoramiento de terreno con roca muerta en capas de 0,20m encapsuladas en geotextil T-2400, para conformar la subrasante de la estructura de pavimento.

Contrato de obra No. MP-LP-002-2021. El cual tiene por Objeto: Aunar esfuerzos entre el instituto nacional de vías- invias y el municipio de la Playa de Belén, departamento Norte de Santander para el mantenimiento y mejoramiento de vías rurales del programa "Colombia rural".

Ver figura 35.

Figura 35

Construcción de placa huella municipio de la Playa de Belén NTS



En la ejecución de este proyecto se observa el uso de formaleta metálica. No se aprecia el uso de vibrador de concreto. La piedra pegada utilizada para esta placa huella se observa muy superficial, ya que se utiliza una piedra lavada de rio de tamaño pequeño. Se observa que el personal en obra cuenta con los elementos de protección personal EPP.

Contrato de obra No. 237 de 2021. Objeto: Mantenimiento y mejoramiento con placa huella rural productiva de la vía terciaria Piedras – Cornejo Municipio de Chitaga, departamento de Norte de Santander. Ver figura 36.

Figura 36

Construcción de placa huella municipio de Chitaga NTS



Nota: Autores de la investigación.

De acuerdo a la figura 36, se puede observar que la extendida del material granular en este caso lo realizaron con retro excavadora de llantas. Se observa además que no se utiliza el vibrador de concreto para evitar el hormigoneo en el fraguado de la mezcla.

Se observa que el personal que se encuentra ejecutando las actividades de obra cuenta con los implementos para la protección personal EPP.

Contrato de obra No. No. SA-MC-002-2022. El cual tiene por objeto: Construcción de placa huellas en vías terciarias del municipio de Marquetalia - Caldas. Ver figura 37.

Figura 37

Construcción de placa huella municipio de Marquetalia - Caldas



De acuerdo a la figura 37, se observa en la ejecución de este proyecto, un proceso constructivo no recomendado, ya que las riostras o vigas de amarre de la estructura de pavimento de placa huella se funde por partes, en este caso, la mejor opción es fundir el elemento monolíticamente. Igualmente se observa falta de protocolo de seguridad y uso de EPP, además se observa la compactación de la capa de subbase granular con un compactador operado manualmente.

Con respecto al compendio de contratos descritos anteriormente, teniendo en cuenta que fueron ejecutados en distintos lugares del país, se aprecia que en Colombia el uso de pavimentos para vías terciarias por excelencia corresponde a placa – huellas. Esto es debido a que las placa huellas, ofrecen un buen envejecimiento a largo plazo, como también una buena resistencia ante los cambios en el comportamiento del suelo de soporte de la estructura de pavimento. Según la recopilación de información sobre la ejecución de contratos de mejoramiento de vías terciarias se resume la siguiente tabla 3.

Tabla 3

Resumen de contratos recopilados

No. De Contrato	Tipología	Ubicación	Incidencia del tipo de pavimento	
			Placa Huella	Pav. Rigido
011 de 2018	Placa-huella	Municipio de Puerto Triunfo, Antioquia	83%	17%
114 del 23-04-2021	Placa-huella	Municipio de Convención, Norte de Santander		
22-10-2020	Pavimento Rigido	Municipio de Yotoco, departamento del Valle del Cauca		
MP-LP-002-2021	Placa-huella	Municipio de la Playa de Belén, departamento Norte de Santander		
237 de 2021	Placa-huella	Municipio de Chitaga, departamento de Norte de Santander		
SA-MC-002-2022	Placa-huella	Municipio de Marquetalia - Caldas		

Nota: La tabla muestra el resumen de datos sobre el uso de los tipos de pavimentos como resultado de la recopilación de los contratos de obra.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 3 se concluye que 83% de los contratos recopilados, corresponden a pavimentos en palca huella, mientras que el 17% corresponde al uso de pavimentos rígidos.

Capítulo 4. Descripción de procesos constructivos en los tipos de pavimentos para vías terciarias

En este capítulo se desarrollan la descripción de los procesos constructivos para los pavimentos más utilizados para vías terciarias correspondientes a placa-huella, pavimento articulado y estabilización de suelos. Se aclara que los procesos enmarcados a continuación, solo corresponden a la etapa de ejecución de actividades en obra.

4.1 Construcción de placa huella

La construcción de palca huellas, abarca una serie de procesos constructivos que se tipifican en: Preparación de la subrasante, instalación de la base o subbase granular, excavación para vigas o riostras, instalación de acero de refuerzo, instalación de formaletas, fundida de concreto reforzado, fundida de concreto ciclópeo o piedra pegada, fundida de cunetas y bordillos. A continuación, se relacionan las dimensiones típicas de una placa huella y los procesos constructivos necesarios para la ejecución de actividades en la etapa de obra.

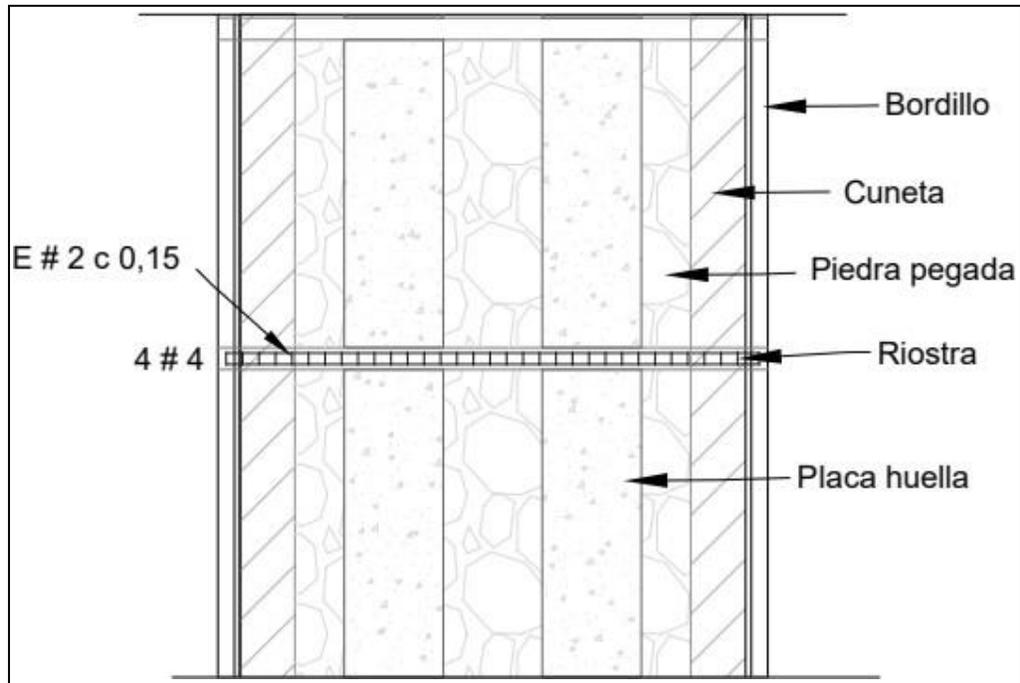
4.1.1 Dimensiones y refuerzo

La estructura de concreto de una placa huella se compone de dos placas de concreto reforzado que se extienden longitudinalmente a lo largo de tramo a pavimentar, de vigas riostras en concreto reforzado espaciadas a cada tres metros, una cinta o franja central y dos franjas de

sobre ancho en concreto ciclópeo o piedra pegada, también cuenta con cunetas y bordillos en cada extremo de la calzada. Ver figura 38.

Figura 38

Estructura de concreto de placa huella y sus partes



Nota: Tomado de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella Invias (2015).

Las cintas o placas en concreto reforzado, se colocan en módulos de 3.0 metros con dimensiones de:

Ancho: 0.90 m.

Espesor: 0.15 m

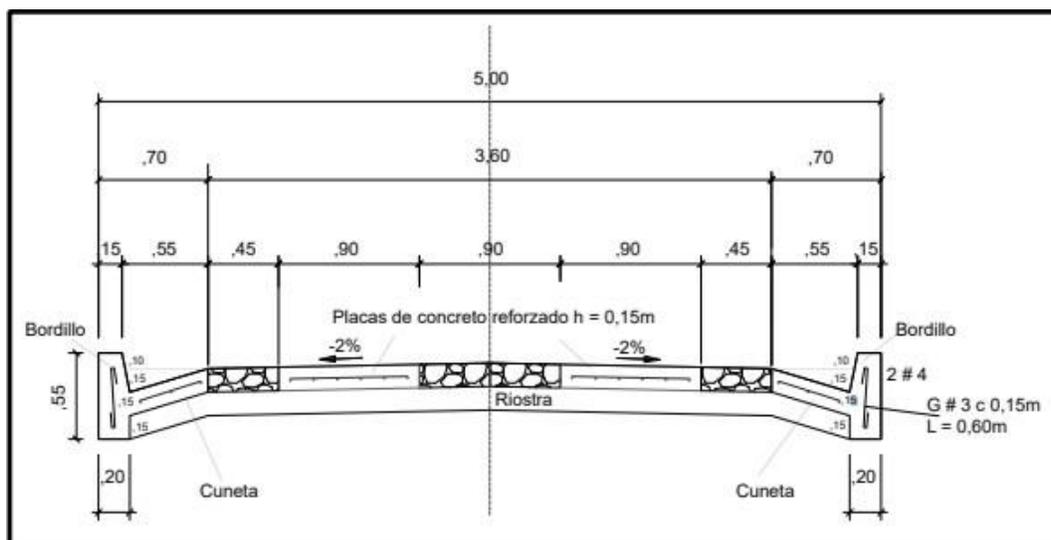
Longitud entre centros de viguetas transversales: 3.0 m

Las cintas o franja central en piedra pegada, también tiene un ancho de 0.90 m y un espesor de 0,15 m; todas las cintas son arriostradas por unas vigas riostras a cada 3 metros, con dimensiones de 0.20m x 0.30m, con una longitud que abarca todo el ancho de la calzada hasta las cunetas.

Las cunetas se construyen a lo largo de todo el tramo de la vía y tiene un ancho de 0.55m y un espesor de 0.15m. Junto con las cunetas también se construyen los bordillos, los cuales deben tener un ancho según la guía de Invias (2015), de 0.15 m en la corona y si la base se encuentra a mayor profundidad que la cuneta, debe llevar un ancho de 0,20 m. Ver figura 39.

Figura 39

Sección transversal de la estructura de concreto de placa-huella



Nota: Tomado de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella Invias (2015).

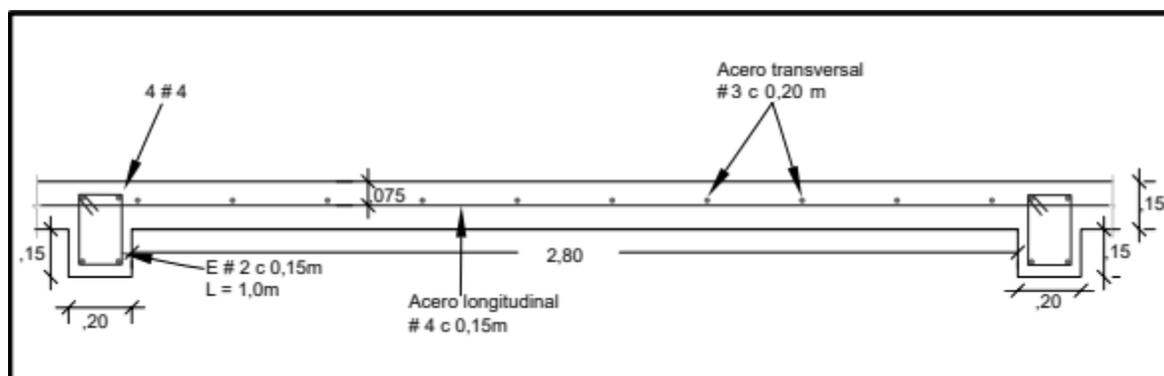
Es importante mencionar que estas medidas de dimensionamiento descritas en la figura 39, son valores recomendados por la guía de diseño de pavimento con Placa-huella propuesta por Invias (2015), por lo que la variación en el dimensionamiento puede presentarse de acuerdo a las especificaciones técnicas según el diseño estructural que se realice.

Con respecto al acero de refuerzo, a cinta o huella consta de una armadura o parrilla en hierro de 3/8 de pulgada cada 0.20 metros en ambos sentidos. Durante el proceso constructivo, cuando la pendiente es pronunciada, se reemplazan 3 de los hierros longitudinales de 3/8 de pulgada, por 3 de 1/2 pulgada.

En cuanto al hierro de las viguetas intermedias y vigas extremas, se colocan estribos rectangulares 1/4 espaciado cada 0.15 m o también se pueden colocar reflejes de 3/8 espaciados a cada 0.20 m. Y 4 varillas longitudinales, de 3/8 de pulgada a lo largo de toda la sección transversal de la calzada. Ver figura 40.

Figura 40

Sección longitudinal de la estructura de concreto de placa-huella



Nota: Tomado de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella Invias (2015).

4.1.2 Conformación de subrasante, bases y subbases granulares

- Para placa huellas en zonas rurales no se recomienda realizar cajeos de la vía ya que se puede perder la estabilidad del terreno. Realizar solo perfilamientos o mejoramientos con material de relleno o receba.

- Verificar el estado y funcionamiento de los equipos y maquinaria previo a la extensión de los agregados pétreos.

- Verificar que el material de subbase granular y base recibido en obra provengan de una cantera con licencia ambiental y título minero vigente.

- Para extender el material, la capa por compactar no debe ser inferior a 10 cm ni superior a 20 cm. La compactación se efectúa longitudinalmente comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro.

- Luego de instalada la base y subbase, se debe verificar en obra que se encuentra bien compactada, por lo que se realiza el ensayo de densidad en campo, para posteriormente conocer el grado de compactación del terreno instalado. El grado de compactación para subbases es de 95%.

- Durante la construcción de la estructura de pavimento, se deben tener en cuenta algunas reglas ambientales, además que no se debe permitir el paso de tránsito.

- Manejo ambiental capas granulares y estabilizadas INV. 300.4.8.13.

- No se debe permitir la construcción de la subbase durante lluvias, ni cuando la temperatura ambiente sea menor a 2°C.

4.1.3 Colocación de formaletas y hierro

Una vez realizada las anteriores actividades y en condiciones óptimas de conformación y afirmado, se instala la formaleta longitudinalmente guardando la separación entre módulos de 3.0 metros, se coloca la armadura en ambos sentidos de las cintas o placas huella, así también el hierro en las vigas riostras transversales para proceder a fundir.

4.1.4 Construcción de los elementos de concreto

Colocada la armadura respectiva a la placa huella y vigas riostras transversales, se funde en concreto Clase D, comenzando por el extremo inferior de la placa huella y estas, avanzando en sentido ascendente de la misma y verificando que su espesor sea, como mínimo, 15 cm o el señalado en los planos y diseños.

Las placas o franjas centrales y sobre anchos en concreto ciclópeo Clase G, y las cunetas en concreto Clase F ò “Concreto de cuneta fundida en el lugar”, se funden a la par o posterior a la fundición de las cintas o placa huella a criterio de conveniencia que tenga el constructor.

Finalmente se termina el tramo pavimentado construyendo en los extremos una placa de acceso en todo el ancho de la calzada hasta llegar a la cuneta y rematando con una viga de 0.20 metros de ancho por 0.30 metros de altura.

4.1.5 Textura

Se debe dejar un estriado final tipo espina de pescado en la placa de concreto reforzado o el que determine el Interventor, con el fin de proporcionar una buena adherencia de las llantas de los vehículos y de permitir una rápida evacuación del agua que pueda circular sobre la placa huella.

Una vez fundida las placas, se le debe dar protección contra la acción del sol, con algún material o compuesto químico, o con rociado permanente de agua.

4.2 Construcción de Pavimento articulado

- La base destinada a ser adoquinada tendrá previamente que estar conformada por una base o subbase granular compactada con Vibrocompactador, realizando el mismo procedimiento descrito para placa-huellas. Es necesario nivelar y perfilar de acuerdo a la pendiente que se desee.

4.2.1 Capa de arena de soporte

- Los adoquines se deben colocar sobre una capa de arena seca, con un espesor uniforme que puede varía entre 3 y 5 cm, y debe estar extendida sobre toda la superficie de los adoquines. A medida que se instala la capa de arena se deben colocar coordinadamente los adoquines, ya que al terminar la jornada de trabajo no debe quedar arena expuesta que altere su estado seco.

El material de arena de soporte, debe cumplir con los requerimientos establecidos según las especificaciones técnicas de Invias (2013):

INV-E-125-07

INV-E-126-07

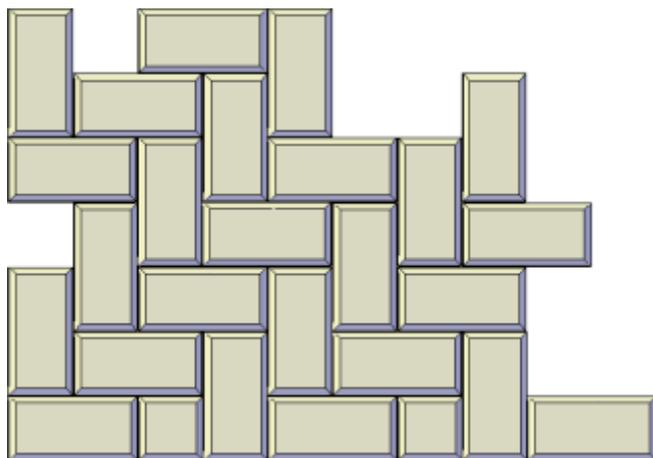
INV-E-133-07

4.2.2 Colocación de adoquines

-Para adoquines rectangulares se deben colocar adoquines en espina de pescado a 45 grados con respecto al eje de la vía, esto con el fin de evitar daños producidos por el contacto con las llantas de vehículos. Para adoquines de otras formas se colocan en hiladas perpendiculares a la dirección longitudinal de la vía. En zona de pendiente, la colocación de adoquines debe hacerse preferiblemente de abajo hacia arriba. Ver figura 41.

Figura 41

Patrón de colocación de adoquines en espina de pescado



Nota: Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano [IDU], (2013).

4.2.3 Sello de juntas

-Inmediatamente después de la colocación de adoquines, se debe realizar una compactación inicial con rana. Verificar que la arena de sello para juntas se encuentre seca para penetrar con facilidad las juntas entre adoquines. Las juntas deben tener un ancho máximo de 3 mm.

Para el proceso constructivo de la arena de sello de junta se aplica sobre la superficie de los adoquines, barriendo repetidamente y en diferentes direcciones con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras. Finalmente, luego de este proceso se realiza una compactación con rana o Vibrocompactador de placa. Se recomienda al menos 4 pasadas en diferentes direcciones.

- Si se presentan lluvias durante la instalación de adoquines o antes de realizar el sello de juntas, se debe retirar los adoquines y retirar la capa de arena de soporte y reemplazarla por arena seca para repetir nuevamente el procedimiento. -Luego de terminado el sellado de juntas se debe dejar una delgada capa de arena sobre los adoquines con el fin de conservar el sellado de juntas y el reacomodo de la arena de sello de juntas.

4.2.4 Confinamiento

-Las estructuras de confinamiento deben rodear completamente el área pavimentada, y deben penetrar, por lo menos 15 cm de la capa de base o subbase que se encuentre bajo la capa de arena de soporte.

4.3 Estabilización de suelos en vías terciarias

Según Gallardo et al. (2019), de acuerdo al tipo de suelo y tratamiento a utilizar, existe una diferencia entre mejoramiento y estabilización de suelos, ya que el mejoramiento aplica generalmente a suelos de grano fino, plásticos y con alto contenido de humedad natural y expansividad; en cambio la estabilización de un suelo se refiere al aumento en la capacidad de soporte y reducción en la sensibilidad al agua.

Con relación a la estabilización de suelos, cuando no es posible la construcción de un pavimento de tercer orden, en muchos casos se utiliza la estabilización de suelos con la incorporación de otro material de base granular, que puede estar conformado por material de cantera, como también material producto de desperdicios de construcción, entre otros, que ayuden a mejorar el comportamiento mecánico de la vía cuando está sometida a cargas vehiculares. Para realizar la estabilización de un suelo se identifican diferentes métodos que obedecen a procesos mecánicos, físicos, fisicoquímicos y químicos.

Con relación a los procesos mecánicos y físicos para la estabilización de suelos de vías terciarias, se realizan solo en determinadas áreas localizadas en donde exista presencia de material expansivo el cual el proceso constructivo corresponde a retirar el material plástico expansivo y reemplazarlo por piedra de canto liso y afirmado o recebo, para luego compactar y obtener un mejoramiento de la subrasante apropiado.

En casos en donde no solo se tengan áreas localizadas, si no gran parte de un tramo de vía con presencia de suelos expansivos y altamente plásticos, se debe evaluar el método de estabilización ya que en este caso resulta costoso aplicar un método físico-mecánico, por lo que se recomienda un método de estabilización químico mediante cementantes.

Según la investigación realizada por Álvarez M. (2015), los métodos químicos para la estabilización de suelos se dividen en dos familias, una se guía por los métodos de estabilización con productos químicos y la otra se define por la aplicación de productos solidos o en polvo. Los procedimientos estándar para la estabilización química se describen a continuación:

Estabilización de suelos con productos líquidos:

1. Escarificar la superficie o subrasante natural con el Ripper de una motoniveladora, cuando no sea posible el uso de motoniveladora se puede realizar la actividad con una retroexcavadora. Se recomienda que la capa escarificada no supere los 20 cm de espesor.
2. Aplicar estabilizantes (productos químicos a base de líquidos), mediante el uso de carrotanque con flauta para esparcir homogéneamente el líquido estabilizante.
3. Homogenizar los productos químicos líquidos con el suelo mediante el uso de una motoniveladora para enrasar la superficie.

4. Compactar con vibrocompactador y humedecer si es necesario, hasta lograr el grado de compactación deseado.

Estabilización de suelos con productos químicos:

1. Al igual que para la estabilización de suelos con productos líquidos, para el empleo de productos químicos el primer procedimiento es el mismo, por lo que se debe escarificar o abrir la vía con el Ripper de una motoniveladora a una capa de espesor máximo de $e=20\text{cm}$.

2. Aplicar estabilizantes mediante el uso de mano de obra esparciendo lo más homogéneamente productos químicos en polvo, entre los que se destacan uso de cemento en polvo y cal teniendo en cuenta que debe existir una dosificación para esparcir el cemento o la cal de acuerdo a las propiedades del suelo a estabilizar.

3. Homogenizar y seriar la vía para darle un perfil final, usando motoniveladora. No es recomendable el uso de Retroexcavadoras para esta actividad, pero en algunos casos, cuando los operarios cuentan con ardua experiencia y a falta de motoniveladora en obra, puede realizarse esta actividad con retroexcavadora, teniendo en cuenta que conlleva a mayores tiempos de ejecución por no utilizar la maquinaria idónea.

4. Realizar la compactación del suelo previamente estabilizado hasta llegar al grado de compactación deseado.

Capítulo 5. Listas de chequeo para la verificación de controles de calidad necesarios en la construcción de vías terciarias

Mediante la lista de chequeo, se puede apreciar el resultado de la investigación en donde, se define de forma fácil y práctica, cuáles son los controles técnicos necesario para la construcción mejoramiento y rehabilitación de una vía terciaria. A continuación, mediante tablas se describen los diferentes controles que se pueden aplicar para el mejoramiento o rehabilitación de vías terciarias, teniendo en cuenta que solo se hace referencia a controles durante la etapa de ejecución de procesos constructivos.

Tabla 4
Controles de calidad para bases y subbase granulares

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
Subrasante					
1	Cajeo de la vía o perfilamiento de la subrasante	No se debe desestabilizar la superficie existente de no ser necesario. Para vías rurales no se realizan cajeos de vía, solo perfilamientos para definir pendientes.		X	X
2	Localización del eje de la vía	Verificar en campo que se encuentre el equipo topográfico con instrumentos (estación total o nivel). Se debe verificar que los instrumentos cuenten con certificado de calibración de equipos vigente.	X		
3	Identificación de fallas en la subrasante	Luego de perfilada y compactada la subrasante, se debe verificar la existencia de colchones o material expansivo con alto contenido de humedad en áreas localizadas	X		

Tabla 4 Continuación

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
Base y Subbase granular					
4	Recibo de material en obra	Se debe verificar que el material de base o subbase granular recibido en obra, sea proveniente de una cantera con licencia ambiental y título minero vigente.	X		
5	Acopio de material en obra	La disposición del material en obra se debe acopiar en un lugar seco, debidamente señalizado y en caso de lluvias, se recomienda cubrir con plástico.			X
6	Instalación de base y subbase granular	Verificar el uso de motoniveladora o retroexcavadora para la actividad. Se recomienda subbase una capa no menor a 15 cm y para bases o afirmados una capa no menor a 10 cm. Debido al proceso de compactación del material se debe dejar adicionalmente de 2 a 3 cm en cada capa de material suelto.	X		
7	Verificación de compactación	Se recomienda realizar dos ensayos de densidades en campo, en los extremos de la calzada y en el centro. El grado de compactación debe ser igual o superior al 95%. Durante la toma de ensayos, se debe verificar en obra que no se esté utilizando ningún tipo de vibro compactador.	X		
8	Verificación de subbase granular	Una vez instalado y compactado el material de subbase granular, se debe verificar que no se encuentren áreas localizadas en donde el material este segregado, es decir no deben quedar áreas sobre la subbase con material granular suelto.		X	X

Nota: La tabla muestra los controles técnicos de calidad más relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de conformar la capa de soporte de una vía terciaria.

De acuerdo a la tabla 4, los criterios mencionados aplican para pavimentos en placa huella como también pavimentos articulados, por lo que a continuación mediante las siguientes tablas se relacionan los controles técnicos de calidad más relevantes para la construcción de la capa de rodadura en placa huella y en pavimento articulado.

Tabla 5

Controles de calidad para estructura de pavimento en placa huella

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
Mezcla de concreto					
1	Diseño de mezclas	Verificar la dosificación antes de iniciar actividades de fundida de concreto. La resistencia del concreto para palca huellas es a los 28 días $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	X		
2	Recibo de material en obra Agregado grueso y fino	Verificar que el material recibido en obra corresponda según el diseño de mezclas. El agregado grueso no debe ser menor a $\frac{3}{4}$ " en su tamaño mínimo nominal, y el tamaño máximo no debe superar los 38 mm. Se recomienda revisar que el agregado fino no contenga suciedad ni contaminación.	X		
3	Acopio de material en obra Agregado grueso y fino	-Verificar que el acopio del material sea un suelo estable sin contaminantes. -Se deben instalar dispositivos de señalización del material acopiado. -Verificar que se cuente con el plástico en obra para cubrir el agregado fino en caso de presentarse lluvias, esto con el fin de no alterar el contenido de humedad del material que pueda afectar la dosificación de la mezcla.	X		
4	Control de calidad de los materiales Agregado grueso y fino	Verificar que el agregado grueso y fino sean materiales provenientes de canteras con título minero y licencia ambiental.	X		
5	Control de calidad de la mezcla de concreto mezclado en obra y premezclado	-Realizar toma de muestras de cilindros de concreto in situ para verificar la resistencia del concreto de acuerdo a las especificaciones técnicas INVIAS 2013, o diseño de mezcla. -Realizar ensayo in situ de cono slump a la mezcla de concreto para verificar el asentamiento de acuerdo al diseño de mezclas.	X		

Tabla 5 Continuación

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
Acero de refuerzo					
6	Control de calidad acero de refuerzo para viga riostras y para cinta o huella	Verificar que se encuentre en obra o exigir al proveedor del material el certificado de calidad del acero de refuerzo.	X		
7	Diámetros recomendados de acero de refuerzo para vigas riostras	Acero longitudinal 4 varillas #4 con estribos #2 espaciado a cada 15 cm. Las dimensiones de la viga son de 20 x 30 cm.	X		
8	Excavación para instalación de viga riostra	Verificar que la excavación para las vigas riostras se realice después de instalada la capa de base granular.	X		
9	Instalación de acero de refuerzo para vigas riostras	-Verificar que se funda un solado en concreto pobre antes de instalar el acero de refuerzo de las vigas riostras, esto con el fin de evitar contaminación del acero de refuerzo.	X		X
10	Diámetro recomendado de acero de refuerzo para armadura o parrilla de cinta o huella	-Se recomienda acero de refuerzo #3 a cada 20 cm en ambos sentidos; cuando la pendiente es pronunciada, se reemplazarán 3 de los hierros longitudinales de #3, por #4. -Las placas de acceso llevan igualmente hierro de 3/8 de pulgada en ambos sentidos.	X		
Formaletas					
11	Control de Calidad de formaletas	-Para formaletas en madera verificar que sen encuentren en buen estado y no presenten deformaciones. -Para formaletas metálicas verificar que la cara interior este limpia libre de rugosidades.	X		
12	Instalación de formaletas para vigas riostras, huella, cuneta y bordillos	-Se debe verificar la correcta instalación de la formaleta que esté totalmente vertical en cada junta longitudinal para huella y transversal para vigas riostras. -Verificar antes de instalar la formaleta que se encuentre recubierta por un producto químico desmoldante para evitar que el concreto se adhiera a la formaleta. -Verificar que la formaleta instalada se encuentra bien anclada y sin presentar deformaciones.	X		

Tabla 5 Continuación

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
<i>Fundida de placa huella</i>					
13	Cintas o huellas de rodadura, vigas riostras	-Se recomienda que el proceso constructivo se realice fundiendo primero las cintas junto con las vigas riostras.	X		X
14	Franja central y sobre anchos	-Luego de fundida las huellas y vigas riostras, se funde la franja central y sobre anchos en concreto ciclópeo. -El tamaño máximo del agregado ciclópeo de estar entre 8 y 12 cm. -Se recomienda usar piedra de canto rodado, ya que presentan una mayor resistencia al desgaste.	X		
15	Cunetas y bordillos	-Verificar la instalación de formaletas y acero de refuerzo de acuerdo a los diseños. -Esta actividad se puede realizar antes o después de fundido los sobreamchos.	X		
16	Control de calidad de estructura de concreto	-Verificar que el espesor de la estructura de placa huella (concreto), corresponda al mismo estipulado en los diseños. -Se debe realizar el correcto curado de la mezcla de concreto.	X		

Nota: La tabla muestra los controles técnicos de calidad más relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de conformar la estructura en placa huella para vías terciarias

De acuerdo a la tabla 5, se relacionan los controles técnicos más relevantes, teniendo en cuenta que, para su desarrollo, se establecen algunos criterios basados en las especificaciones técnicas de Invias (2013).

Por otra parte, en la siguiente tabla 6, se pueden observar los controles de calidad mínimos necesarios para la instalación de la capa de rodadura en pavimento articulado.

Tabla 6*Controles de calidad para estructura de pavimento articulado*

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
Instalación de adoquines					
1	Verificación de calidad de adoquines	Verificar que el material o adoquín recibido en obra cuente con certificación de calidad del material.	X		
2	Colocación y nivelación de capa de arena de soporte	-Verificar que la capa de arena se extienda coordinadamente con la colocación de adoquines. -Verificar que la arena esta sece antes de colocarla, el espesor debe ser uniforme y varía entre 30 y 40 mm. -La granulometría de la arena de soporte debe cumplir con las especificaciones según la norma INV-E-125-07, INV-E-126-07, INV-E-133-07	X		X
3	Colocación de adoquines	-Para adoquines rectangulares se deben colocar adoquines en espina de pescado a 45 grados con respecto al eje de la vía, esto con el fin de evitar daños producidos por el contacto con las llantas de vehículos. -Para adoquines de otras formas se colocan en hiladas perpendiculares a la dirección longitudinal de la vía. -En zona de pendiente, la colocación de adoquines debe hacerse preferiblemente de abajo hacia arriba.	X		
4	Ajuste de piezas	Verificar las zonas contra estructuras de drenaje o confinamientos en donde no es posible colocar los adoquines enteros. Verificar que el ajuste se realice partiendo adoquines en piezas más pequeñas con la forma necesaria.	X		X
5	Ancho de juntas	Se recomienda que las juntas no excedan la separación de 2 a 3 mm	X		

Tabla 6 Continuación

No	Descripción	Medio de verificación	Se requiere		
			Si	No	Opcional
6	Estructura de confinamiento	-Las estructuras de confinamiento deben rodear completamente el área pavimentada, y deben penetrar, por lo menos 15 cm de la capa de base o subbase que se encuentre bajo la capa de arena de soporte.	X		
7	Sello de juntas y compactación	-Inmediatamente después de la colocación de adoquines, se debe realizar una compactación inicial con rana. -Verificar que la arena de sello para juntas se encuentre seca para penetrar con facilidad las juntas entre adoquines. -Verificar que la arena de sello se aplique sobre la superficie de los adoquines, barriendo repetidamente y en diferentes direcciones con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras. -Verificar que se aplique la compactación final con rana. Se recomienda al menos 4 pasadas en diferentes direcciones.	X		
8	Limitaciones y conservación	- Si se presentan lluvias durante la instalación de adoquines o antes de realizar el sello de juntas, se debe retirar los adoquines y retirar la capa de arena de soporte y reemplazarla por arena seca para repetir nuevamente el procedimiento. -Luego de terminado el sellado de juntas se debe dejar una delgada capa de arena sobre los adoquines con el fin de conservar el sellado de juntas y el reacomodo de la arena de sello de juntas.			X

Nota: La tabla muestra los controles técnicos de calidad más relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de conformar la estructura de pavimento en adoquines para vías terciarias.

De acuerdo a la tabla 6, la mayoría de controles para la pavimentación en adoquines, representa las actividades más generalizadas para la ejecución de los procesos constructivos de este tipo de pavimentos.

Conclusiones

Las vías terciarias en Colombia, son uno de los pilares fundamentales para el crecimiento económico y rural del país, razón por la cual esta investigación contribuye con el desarrollo en materia de construcción de vías en placa huella, pavimento articulado y estabilización de suelos implementados para vías de red terciaria, en donde se concluye que las listas de chequeo planteadas sirven de apoyo a los profesionales que se dedican a la supervisión, seguimiento y control de este tipo de proyectos.

En lo que respecta al análisis del estado actual de la red vial terciaria en el territorio colombiano, se concluye que, para el segundo semestre del año 2021, el estado actual de las vías sin pavimentar en el país según el reporte realizado por el Instituto Nacional de Vías es del 41,58% malo, 5,06% muy malo y en estado regular el 39,94%, lo cual da a entender que actualmente en el país las vías carreteables que se encuentran si pavimentar se encuentran en condiciones deficientes para prestar el servicio de transitabilidad.

Con relación a las vías pavimentadas en el territorio colombiano, el 19,46% se encuentran en mal estado, el 0,82% muy malo y 30,15% en estado regular, lo cual da a entender, que a pesar de los esfuerzos del ministerio de transporte por mejorar la movilidad en el país, aun no se logra tener una eficiencia del 100% de las vías pavimentadas, ya que el deterioro disminuye la capacidad operativa de las mismas y la falta de intervención para el sostenimiento y mantenimiento conlleva a que actualmente de acuerdo al último reporte de Invias 2021, se presente un 19,46% de las vías en el país pavimentadas en mal estado.

Según la recopilación de información referente a contratos de obra pública ejecutados dentro del territorio colombiano para la construcción y mejoramiento de vías terciarias en zonas rurales del país, se concluye que, del total de contratos recopilados, el 83% corresponden al tipo de pavimento en placa huella, y el 17% corresponde a la tipología de pavimento rígido, por lo cual se concluye que actualmente en el país predomina el uso de placa-huellas para la pavimentación de vías terciarias.

En conclusión, del análisis y recopilación de información como resultado de la investigación, se obtiene el desarrollo de una lista de chequeo que relaciona los principales controles de calidad aplicables para la ejecución de los procesos constructivos que contemplan las actividades de obra a la hora supervisar la construcción de un pavimento en placa huella o en pavimento articulado.

Referencias

- Acosta M. y Alarcón P. (2017). *Análisis de la cantidad y el estado de las vías terciarias en Colombia y la oportunidad de la ingeniería civil para su construcción y mantenimiento*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repository.ucatolica.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15205/1/AN%C3%81LISIS%20CAN T%20Y%20EST%20V3%20COLOMBIA%20OPORT%20ING%2010%2011%202017.pdf>
- Álvarez J. & Londoño C. (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. *Invias.gov*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>
- Álvarez M. (2015). *Estabilización química de suelos en proyectos de infraestructura vial en Antioquia*. [Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de Antioquía]. Repositorio eia.edu.
https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/1772/AlvarezSantiago_2015_EstabilizacionQuimicaSuelos.pdf;jsessionid=B5F137B2419FE6E9B6DDDC0A8EC20CD1?sequence=1
- Andrade L. (2017). Estrategias estatales para el mejoramiento de la red terciaria. *Revista de Ingeniería*. (45), 88-95. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121052004014>

- Baza D. (2019). Ensamblaje para corredor con Placa-huella en Civil 3D. *Autodesk*.
<https://forums.autodesk.com/t5/civil-3d-espanol/ensamblaje-para-corredor-con-placa-huella-en-civil-3d/td-p/8606762>
- Buchaar A. y Sagbini C. (2020). *Análisis del estado de funcionalidad de los pavimentos en vías terciarias en los departamentos del Magdalena y Atlántico*. Repository.ucc.edu.
https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/32874/1/2020_Analisis_Funcionamiento_Vias.pdf
- Calo D. (2016). Reparación Y Mantenimiento. https://web1.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/11_Reparacion_y_Mantenimiento-sanjuan.pdf
- Chavarro W. y Molina C. (2015). *Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito*. [Tesis de posgrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional ucatolica.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2617/1/Evaluaci%C3%B3n-alternativas-pavimentaci%C3%B3n-v%C3%ADas-bajos-vol%C3%BAmenes-de-tr%C3%A1nsito.pdf>
- Correa E. (2017). El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país. *Revista de ingeniería*. (45), 64-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121052004011>

Department of Transportation Federal Aviation Administration (2016). *Advisory Circular*.

<https://www.alacpa.org/FAA%205320-6F%20-%20TRADUCCI%C3%93N%20-%20V12%20-%202007-05-2019.pdf>

Fernández V. (2019). *Evaluación de las fallas estructurales del pavimento flexible de la avenida*

Francisco Vidal, Huacho. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional.

<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/4002/VICTOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gallardo et al. (2019). *Análisis del comportamiento de suelos de alta plasticidad estabilizados*

con cementantes. (1ª ed.). Ecoe Ediciones.

Garnica D. (2020). *Desarrollo de una guía de interventoría administrativa para la ejecución de*

contratos de obras para vías terciarias. [Tesis de posgrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional UFPSO.

<http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/600/1/33967.pdf>

Higuera C. y Pacheco O. (2010). Patología de Pavimentos Articulados. *Revista Ingenierías*

Universidad de Medellín. 09(17), 75-94.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017164013>

Higuera M. (2016). *Inspección patológica de pavimentos flexibles en un sector específico de Bogotá D.C., como fase del proyecto “comparativa patológica de pavimentos flexibles en climas extremos y la toma de decisiones asociadas” del convenio interinstitucional con la universidad federal de integración Latino-Americana – UNILA*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5071/HigueraJaimeM%C3%B3nica2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto de Desarrollo Urbano [IDU], (2013). *Guía diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.*
https://www.idu.gov.co/web/content/7455/gu-ic-019_guia_diseno_pavimentos_para_bajos_volumenes_v1.pdf

Invias (2006). *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos/file>

Invias (2015). *Guía de diseño de pavimentos con placa-huella*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/6644-guia-de-disenoo-de-pavimentos-con-placa-huella/file>

Invias (2021). *Estado de la Red Vial*. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

Jaimes Chinome A. (2020). *Guía para el diseño de pavimentos rígidos en vías urbanas con aplicación en municipios con poblaciones menores a 50.000 habitantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas Seccional Tunja]. Repositorio Institucional. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30448/2020Andresjaimes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

José Heredia & Asociados C.A. (s.f.). *Clasificación de las fallas de pavimento flexibles y rígidos*. Academia.edu. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35948966/Guia-de-Fallas-de-Pavimento-Rigido-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656368437&Signature=g4Ej8Dbzxvp0xrU9PbKX~vsj7ANAs9sFYGcLn83kRMKzQb1nHNxej~CsvNQ3tVwbBpDZ2Gd79ebyUroEG2dm1gIqmMiEf~~GU7WvpaqQA2kePly~G9Ik3ElywcsHytc2C905XriEyWbB8F32X8SMYVzE7JY TZ31YhdbOh-reROCuaAE8iV1o~wvxEACb365cfWRIN0QqPmz1w2pWiCyfuVwQJXmwb2QSdnrJ7mkVLQjBQ6c5~fqxcwrC~z5-7TE8LinM9TKKmmQ~16okYUHFJoiHQxiimt8di0IVHJo0YB5ZwwGiBbOlt-hNHnJqZBiEDSVwwmU3lWkJbPb1V5g1gQ_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Londoño C. y Álvarez J. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento [Invias.gov]. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>
- Malone C. (2019). *Niveles de severidad de las fallas en el pavimento articulado de la av. Huáscar, av. Manco cápac, av. Pachacútec y av. Wiracocha del complejo Qhapac Ñan, Cajamarca 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Perú]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14766>
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones [M.O.P.C.] (2016). *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación*. <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>
- Miranda R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. Academia.edu. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38405574/deterioros_en_pavimentos-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656341294&Signature=WbJcyKmlcX3I0Qcaz7H4oB0j0rVmIF5Q47NzidwbDbN-3ZEltE7vFeBAXyKAq8kEKszw4eYC3hd3Nt1kz6U~grVEJ5dAtp2qK5X-VTAG~rbGdXJK~RUgtLsotSikVAmV~c57nfh857pVP4t4fuMxyM6rtEdOHVFr0Arvzv rYuGkfpPhX2XBMuSOK432O4ri4du8XOC8mPx6pCnelIXQNL3xTu~jtZVDmHoT3~o

zd5WEqMByewB0RvOxy4iSHftiFIE8By3LMNunou8slVOY1mzozjVGYInFVX1wWDq
 GyIehkjQXiIuVsYcRd~Ene9-w6IL-rP-4FFl2XP5YSiG~8Tzw_&Key-Pair-
 Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Montejo A. (2010). *Ingeniería de pavimentos Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*. (3ª ed.). Universidad Católica de Colombia.

Narváez L. (2017). Vías Terciarias: motor del desarrollo económico rural. *Revista de Ingeniería*. (45), 80-87. <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co>

Ordoñez J. (2015). *Pavimentos de losas cortas de concreto para vías terciarias en Colombia*.

[Tesis de posgrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional unimilitar.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7513/ATICULO%20FINAL%202015-12-02-REPOSITORIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romero J. (2017). *Inspección y diagnóstico vial utilizando la metodología PCI, sobre la ruta de transporte escolar y colectivo utilizada en los barrios san pablo y julio caro del municipio de Zipaquirá Cundinamarca*. [Tesis de posgrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16505/ROMEROJOAQUIN2017.pdf?sequence=1&isAllowed=ysgrado>

Rondón H. y Reyes F. (2015). *Pavimentos Materiales, construcción y diseño*. (1ª ed.). Ecoe Ediciones Ltda. <https://elibro-net.sibdigital.ufpso.edu.co/es/ereader/ufpso/70435>

Sánchez X. (2003). *Diseño de pavimentos articulados para tráfico medio y alto*. [Trabajo de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/20919/u245809.pdf>