

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS PAVIMENTOS
O MANTENIMIENTO VIAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ CON LA CIUDAD DE
SAO PAULO**

**EDWIN BARAJAS REINA
BRANDON ESNEIDER BUITRAGO MARTINEZ**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2017**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS PAVIMENTOS
O MANTENIMIENTO VIAL LA CIUDAD DE BOGOTÁ CON LA CIUDAD DE SAO
PAULO**

**EDWIN BARAJAS REINA
BRANDON ESNEIDER BUITRAGO MARTINEZ**

**Monografía para Optar por el Título de
Ingeniero Civil**

**Director
ING. Jhobany Orduz D. csv**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2017**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

APROBACIÓN

El trabajo de grado titulado “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS PAVIMENTOS O MANTENIMIENTO VIAL LA CIUDAD DE BOGOTÁ CON LA CIUDAD DE SAO PAULO” presentado por los estudiantes EDWIN BARAJAS REINA Y BRANDON ESNEIDER BUITRAGO MARTINEZ, en cumplimiento parcial de los requisitos, para optar al título de ingeniero civil, fue aprobado por el Director

Ing. Jhobany Orduz D. cvs
Director

Bogotá D.C. Octubre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

En primera instancia a dios por permitir a cada uno de los padres de los autores apoyar todo el proceso académico que ha concluido con la realización de este trabajo de grado, a sus padres por mantener la confianza y el apoyo constante y creer que este día llegaría, para culminar una etapa llena de momentos, aprendizajes y personas que sin duda alguna hacen parte del proceso y en segunda instancia a la ingeniera Ingrid Silva Rojas docente de la universidad católica de Colombia y al ingeniero Jhobany Orduz D. director del trabajo de grado y director del programa de Ingeniería Civil.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. PAVIMENTO	13
2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS	14
2.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES	14
2.3 PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS	15
2.4 PAVIMENTOS RÍGIDOS	15
2.5 PAVIMENTOS ARTICULADOS	16
2.6 PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS	16
2.6.1 Patologías Pavimentos Flexibles	17
2.6.1.1 Grupo 1: Fisuras	17
2.6.1.2 Grupo 2: Deformaciones	23
2.6.1.3 Grupo 3: Pérdidas de las capas de la estructura	25
2.6.2 Patologías de Pavimentos Rígidos	30
2.6.2.1 Grupo 1: Grietas.	30
2.6.2.2 Grupo 2: Daño en juntas.	36
2.6.2.3 Grupo 3: Deterioros Superficiales	38
3. MANTENIMIENTO VIAL	45
3.1 MEDIANO Y LARGO PLAZO EN LA PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO	46
3.2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN VIAL	46
3.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO VIAL	48
3.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	48
3.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	48
3.5.1 Pavimento Flexible	49
3.5.2 Pavimento Rígido	49
4. MALLA VIAL	50
4.1 GENERALIDADES	50
4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FUNCIÓN	50
4.2.1 Malla Vial Arterial	51
4.2.2 Malla Vial Arterial de Integración Regional	51
4.2.3 Malla Vial Arterial Principal	51
4.2.4 Malla Vial Arterial Complementaria	51
4.2.5 Malla Vial Arterial Intermedia	51
4.2.6 Malla Vial Local	51

	pág.
5. SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS	54
5.1 GENERALIDADES	54
5.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS	54
5.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS BOGOTÁ, COLOMBIA BASADO EN EL MODELO HDM 4	55
5.3.1 Captura de información y parámetros generales	55
5.3.2 Identificación del deterioro	56
5.3.3 Intervenciones requeridas	56
5.3.4 Generación de alternativas	57
5.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS SAO PAULO, BRASIL, BASADO EN EL MODELO TAVAKOLI	58
5.4.1 El inventario	59
5.4.2 Levantamiento de Defectos.	59
5.4.3 Identificación de la Estrategia	59
5.4.4 Orden de prioridades y objetivos	60
5.5 OTROS MODELOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE SAO PABLO, BRASIL, PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS VÍAS A INTERVENIR	61
5.5.1 Modelo DRNA	61
5.5.2 Modelo de priorización desarrollado por Bodi y Balbo	63
6. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN HDM 4 DE BOGOTÁ, COLOMBIA Y EL MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN TAVAKOLI DE SAO PAULO, BRASIL	64
7. LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS ANALIZADOS	69
8. CONCLUSIONES	70
9. RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Gravedad de la Grieta de Esquina	31
Tabla 2. Gravedad de la Grieta Longitudinal	32
Tabla 3. Gravedad de la Grieta Longitudinal	33
Tabla 4. Gravedad de la Grieta en los Extremos de los Pasadores	34
Tabla 5. Gravedad de la Abertura de las Juntas	36
Tabla 6. Gravedad del sello	37
Tabla 7. Actividades Preventivas	48
Tabla 8. Intervalos de Índice de Condición del Pavimento	56
Tabla 9. Clasificación de las Actividades por Color	56
Tabla 10. Defectos para Diferentes Tipos de Pisos	59
Tabla 11. Intervenciones según el Estado del Pavimento	60
Tabla 12. Factores para Índice de Prioridad	61
Tabla 13. Estados de la Superficie	62
Tabla 14. Cociente de Irregularidad	62
Tabla 15. Mantenimiento Alternativo	63
Tabla 16. Comparación HDM 4 vs Tavakoli	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura del Pavimento Flexible y Rígido	14
Figura 2. Estructura Básica de un Pavimento Rígido	15
Figura 3. Elaboración de Vía con Pavimento Articulado	16
Figura 4. Fisura Longitudinal (FL)	17
Figura 5. Fisura Transversal (FT)	17
Figura 6. Fisura Longitudinal en Junta de Construcción (FCL)	18
Figura 7. Fisura Transversal en Junta de Construcción (FCT)	18
Figura 8. Fisura por Reflexión de Juntas o Grietas en Placas de Concreto (FJL Y FJT)	19
Figura 9. Fisuras en Media Luna (FML)	20
Figura 110. Fisuras en Bloque (FB)	20
Figura 11. Piel de Cocodrilo (PC)	21
Figura 12. Fisuración por Deslizamiento de Capas (FDC)	22
Figura 13. Fisuración Incipiente (FIN)	22
Figura 14. Ondulación (OND)	23
Figura 15. Abultamiento (AB)	23
Figura 16. Hundimiento (HUN)	24
Figura 17. Ahuellamiento (AHU)	25
Figura 18. Descascaramiento (DC)	25
Figura 19. Baches (BCH)	26
Figura 20. Parche (PCH)	27
Figura 21. Desgaste Superficial (DSU)	27
Figura 22. Pérdida de Agregado (PA)	28
Figura 23. Pulimento de agregado (PU)	28
Figura 24. Cabezas Duras (CD)	29
Figura 25. Exudación (EX)	29
Figura 26. Surcos (SU)	30
Figura 27. Grietas de Esquina (GE)	31
Figura 28. Grietas Longitudinales (GL)	32
Figura 29. Grietas Transversales (GT)	33
Figura 30. Grietas en los Extremos de los Pasadores (GP)	34
Figura 31. Grietas en Bloque o Fracturación Múltiple (GB)	35
Figura 32. Separación de Juntas Longitudinales (SJ)	36
Figura 33. Deterioro del Sello (DST y DSL)	37
Figura 34. Desportillamiento de Juntas (DPT y DPL)	39
Figura 35. Descascaramiento (DE)	39
Figura 36. Desintegración (DI)	40
Figura 37. Baches (BCH)	41
Figura 38. Escalonamiento de Juntas Longitudinales (EJL) y Transversales (EJT)	42
Figura 39. Levantamiento Localizado (LET, LEL)	42

	pág.
Figura 40. Parches (PCHA - PCHC)	43
Figura 41. Hundimientos o Asentamientos (HU)	44
Figura 42. Curva del Comportamiento de los Pavimentos Respecto a su Vida Útil	45
Figura 43. Implicaciones con los Distintos Mantenimientos en la Condición del Pavimento	47
Figura 44. Estructura Malla Vial Bogotá	53
Figura 45. Sistema de Gestión de Pavimentos Bogotá	57
Figura 46. Sistema de Gestión de Pavimentos Brasil	58

INTRODUCCIÓN

Para que un pavimento que se utiliza en cualquier vía vehicular cumpla con su función y así mismo con su vida útil, se debe considerar que el sistema de gestión que lo administra sea el indicado y cumpla con su función. A pesar de que un sistema de gestión de pavimentos sea teóricamente el indicado, no garantiza que no haya partes de su proceder que se puedan modificar; dicha modificación se debe realizar teniendo como referencia países y ciudades en donde el sistema vial sea similar.

El presente trabajo de consulta como monografía orientada a la transferencia tecnológica, ha tomado como puntos de partida dos ciudades, Bogotá (Colombia) y Sao Pablo (Brasil), debido a que su composición vial y sus sistemas de transporte son muy similares; se pretende comparar el sistema de gestión de Sao Pablo, que está basado en el modelo de priorización TAVAKOLI con el sistema de gestión de pavimentos de Bogotá basado en el HDM-4.

Este estudio comparativo se realiza por medio del análisis de los planes existentes para la gestión del mantenimiento de los pavimentos, para de este modo encontrar los aspectos que los sistemas manejan en común y así poderlos comparar y analizar.

Como resultado del trabajo se genera la identificación de aquellos aspectos claves que sin importar en que ciudad sean implementados se deben tener presentes en cualquier sistema de gestión de pavimentos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio comparativo de los sistemas de gestión para el mantenimiento de los pavimentos de la ciudad de Sao Paulo, Brasil, con la Ciudad de Bogotá, Colombia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los planes existentes de Gestión de Pavimentos de las ciudades de Bogotá y Sao Paulo, con el fin de desarrollar la identificación de aspectos comunes que pueden ser comparables y aspectos que no tengan lugar a comparación.
- Identificar en los planes de gestión de las dos ciudades, los modelos de priorización de detección de fallas y de intervenciones en las vías que se deben rehabilitar.
- Realizar la matriz comparativa que permita determinar en qué elementos del modelo de gestión de pavimentos de la ciudad de Bogotá se puede mejorar aplicando el modelo de gestión de la ciudad de Sao Paulo.

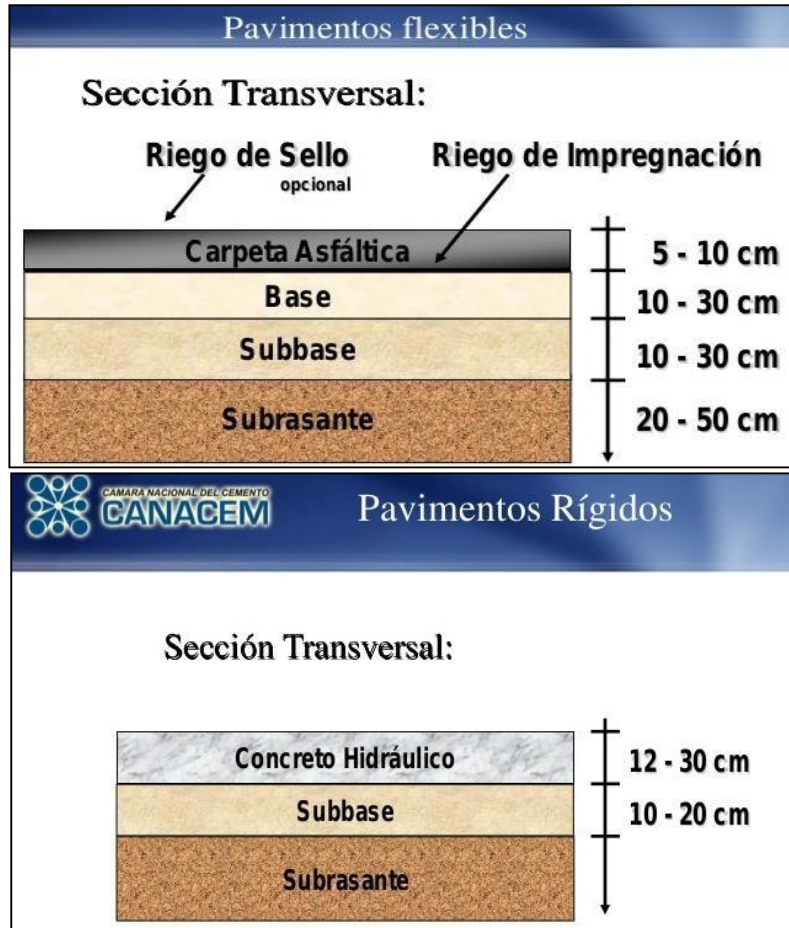
2. PAVIMENTO

Un pavimento está compuesto por un grupo de capas intercaladas, horizontalmente, que se construyen y diseñan específicamente con materiales indicados y debidamente compactados. Estas estructuras estratificadas se afirman sobre la sub-rasante de una vía. Sus funciones fundamentales son las de suministrar una superficie de rodadura uniforme, de textura y color apropiados, resistente a la intemperie, resistente al tránsito, entre otros; también debe resistir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas repetidas del tránsito y transmitirlo a la sub-rasante de manera que esta no se deforme perjudicialmente. (Montejo Alfonso, 2002)

La clasificación de los pavimentos históricamente se ha dividido en dos; los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos, pero además aparece otro tipo de pavimento llamado semi-rígido, que no es más que un pavimento a cuya base se le ha aumentado su rigidez por efecto de la adición de asfalto o cemento. (Montejo Alfonso, 2002)

De la Figura 1 se puede referenciar que el pavimento está formado por diferentes capas que entre más cerca están a la superficie de rodamiento son de mejor calidad y de mayor costo, debido a la mayor potencia en los esfuerzos que reciben. Si bien los pavimentos se diferencian principalmente por los materiales que lo constituyen, también se pueden diferenciar en la manera en que distribuyen las cargas en la sub-rasante.

Figura 1. Estructura del Pavimento Flexible y Rígido



Fuente. (Camara de comercio del cemento, 2014)

2.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

Para entender el comportamiento de los pavimentos y la importancia de su mantenimiento se debe tener en cuenta que estos se clasifican de diferentes maneras, bien sea por su uso, o por las características de sus componentes. Si bien la clasificación más común es dividir los pavimentos en rígidos y flexibles, no se debe dejar de un lado los pavimentos semi-rígidos y los pavimentos articulados.

2.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos flexibles están conformados por una carpeta bituminosa, es decir una capa elaborada a base de betum, que es el residuo del proceso de destilar el petróleo, armada habitualmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base.(Montejo Alfonso, 2002).

En la Figura 1 se mostró la estructuración del pavimento en donde bajo una capa bituminosa usualmente conformada por un agregado pétreo y un aglutinante asfáltico que hacen parte de la capa de rodadura, se encuentran dos capas claramente diferenciadas, por un lado, la base, de material granular y la sub-base, de igual manera de suelo granular. Bajo la sub-base aparece otra capa denominada, sub-rasante que es de menor calidad que las capas anteriormente mencionadas; finalmente bajo esta capa se encuentra el suelo natural que es tratado mecánicamente al compactarlo.(Montejo Alfonso, 2002).

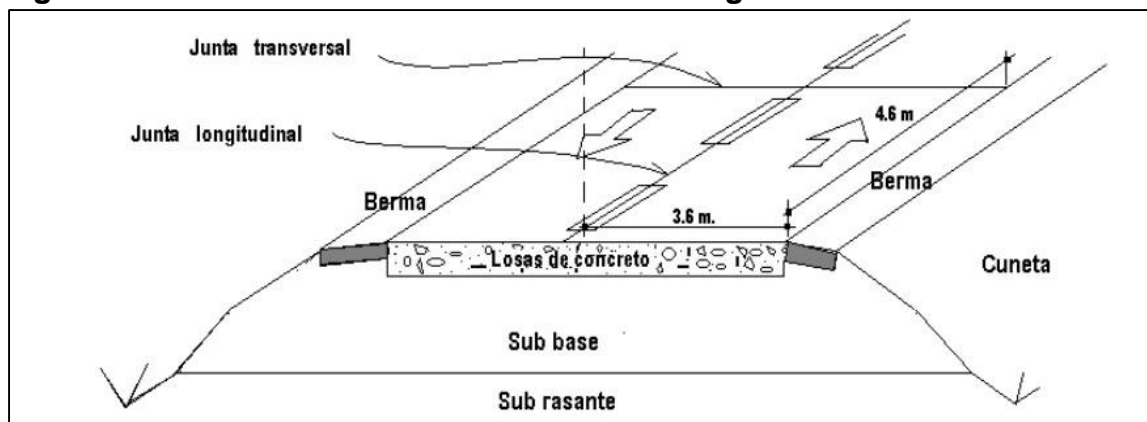
2.3 PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS

Los pavimentos semi-rígidos tienen fundamentalmente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas está rigidizada artificialmente con un aditivo el cual puede ser cemento, asfalto, químicos o emulsión. El uso de estos aditivos tiene como fin básicamente reformar o cambiar las características mecánicas de los materiales de la zona que son los adecuados para la construcción de las capas del pavimento. Este pavimento también es llamado pavimento compuesto ya que es una combinación entre el pavimento flexible y el rígido.(Montejo Alfonso, 2002)

2.4 PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los pavimentos rígidos son aquellos que básicamente están compuestos por una losa de concreto hidráulico a base de cemento portland, armada sobre la sub-rasante o sobre una capa de material escogido, la cual se conoce con el nombre de sub-base del pavimento rígido. De acuerdo a su rigidez y alto módulo de elasticidad, la repartición de los esfuerzos se produce en una zona amplia. Así mismo como el concreto está capacitado para resistir, en determinado grado, esfuerzos a tensión, la conducta de un pavimento rígido es bastante amena aun cuando hallan zonas frágiles en la sub-rasante. La potencia estructural del pavimento rígido depende de la resistencia de las losas.(Sanchez Fernando, 2009)

Figura 2. Estructura Básica de un Pavimento Rígido



Fuente. (Sanchez Fernando, 2009)

2.5 PAVIMENTOS ARTICULADOS

El pavimento articulado es una estructura conformada por capas compuestas por materiales que sirven de acabado para la vía, el objetivo es dar resistencia estructural para soportar el tránsito cotidiano. Entre los materiales que conforman la capa superior encontramos el concreto, arcilla cocida o piedras duras en su forma natural que también son cortadas según el requerimiento. (Montejo Alfonso, 2002)

La construcción de este pavimento se hace por medio del diseño de las diferentes capas que constituyen un pavimento:

- Construcción de la base
- Construcción de la capa de arena de apoyo
- Instalación de adoquines
- Compactación inicial
- Sellado de las juntas
- Compactación final y limpieza
- Mantenimiento del pavimento. (Montejo Alfonso, 2002)

Para entender mejor este proceso se ilustra mediante la Figura 3.

Figura 3. Elaboración de Vía con Pavimento Articulado



Fuente. (Sandoval Simón, 2009)

2.6 PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS

El deterioro de los pavimentos se ve reflejado por medio de diferentes patologías que van apareciendo al transcurrir el tiempo y dependiendo del tipo de pavimento.

A continuación, se muestra las posibles patologías que sufren tanto los pavimentos rígidos como los pavimentos flexibles de manera ilustrativa, para así poder tener claro la caracterización de su apariencia para poder identificarlas.

2.6.1 Patologías Pavimentos Flexibles. Los daños que se presentan en este pavimento pueden ser clasificados en cinco grupos, dentro de cada grupo existen varios tipos de deterioro causados por diferentes factores que han sido previamente establecidos mediante una evaluación en campo, ensayos de laboratorio y revisión bibliográfica, a continuación se presentan cada uno de los grupos con sus respectivos tipos de deterioro por medio de la Figura 4 a la Figura 26 (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006):

2.6.1.1 Grupo 1: Fisuras

➤ Fisuras longitudinales y transversales (FL y FT)

Figura 4. Fisura Longitudinal (FL)



Fuente. Los Autores

Figura 5. Fisura Transversal (FT)



Fuente. Los Autores

Corresponden a interrupciones en la carpeta asfáltica, en el sentido del tránsito o transversal a este. Son una señal de la presencia de esfuerzos en una de las capas de la estructura del pavimento. Ocasionadas por la rigidización de la mezcla asfáltica, esto ocurre por la pérdida de flexibilidad, que se debe a un exceso de

material mineral, no arcilloso, o también por bajas o altas temperaturas en la zona donde se encuentra el pavimento. Otra de las causas por las que se originan las fisuras longitudinales es por la fatiga de la estructura, debido a las repeticiones de carga generadas por el tránsito. Las fisuras transversales también cuentan con otras causas que pueden llegar a originarlas, como lo es, la falta de riego de liga o falta total de esto, la falta del riego produce que la carpeta asfáltica no está total mente adherida a la base. Estos tipos de fisuras podrían conllevar a que el pavimento presente otros tipos de daño como la piel de cocodrilo, fisuras en bloque, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales por el ingreso de agua y desintegración. Al ser este, un tipo de daño superficial, afecta únicamente a la capa de rodadura de manera leve, lo cual no genera alteraciones en la movilidad de la vía y en el estado de los vehículos.

➤ **Fisuras en juntas de construcción (FCL y FCT)**

Figura 6. Fisura Longitudinal en Junta de Construcción (FCL)



Fuente. Los Autores

Figura 7. Fisura Transversal en Junta de Construcción (FCT)



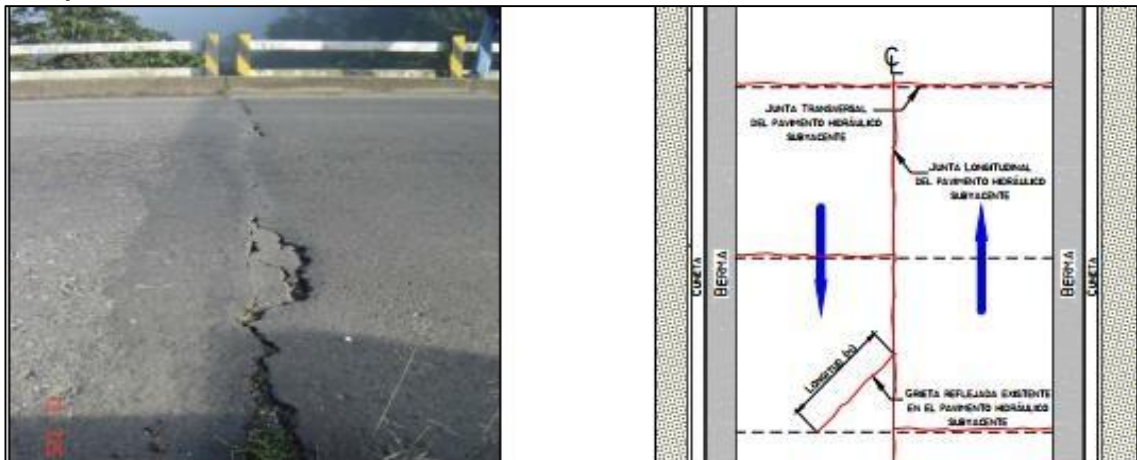
Fuente. Los Autores

Estas fisuras se relacionan a defectos ocasionados por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de aplicación. Se ven originadas por la falta de ligante en las paredes de la junta de construcción, esto quiere decir que la cantidad de liga aplicada no es la indicada para que el nuevo pavimento se adhiera al existente, la existencia de estos tipos de fisuras conllevaría a una pérdida de agregados, desportillamiento y piel de cocodrilo.

Al igual que en el caso de las fisuras longitudinales y transversales, este es un tipo de daño superficial, por consiguiente, afecta únicamente a la capa de rodadura de manera leve, lo cual no genera alteraciones en la movilidad de la vía y en el estado de los vehículos.

➤ **Fisura por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto (FJL Y FJT)**

Figura 8. Fisura por Reflexión de Juntas o Grietas en Placas de Concreto (FJL Y FJT)

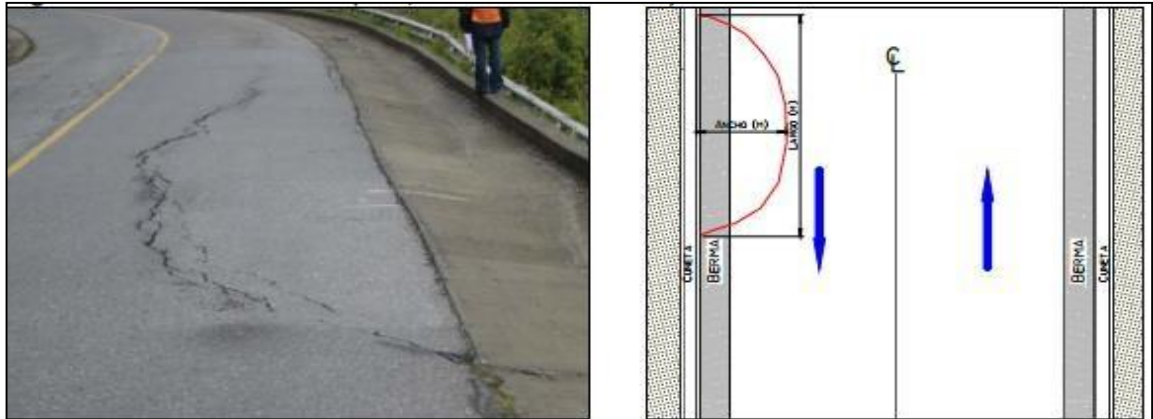


Fuente. (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Este tipo de daño se presenta cuando la capa de asfalto se encuentra sobre una base de placas de concreto rígido. Son consecuencia de los movimientos de las juntas entre las placas de concreto rígido o de bloques de grietas existente en ellas, esto se debe al cambio de temperatura y humedad. Las evoluciones probables de este tipo de daño son las fisuras en bloque, descascaramiento y baches. En este caso aplican los mismos criterios de las fisuras longitudinales y transversales tanto para la movilidad como para el daño en los vehículos, es decir, que afecta únicamente la capa asfáltica sin mayor consecuencia, sin generar problemas en los vehículos y la movilidad.

➤ **Fisuras en media luna (FML)**

Figura 9. Fisuras en Media Luna (FML)



Fuente. (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Son de forma parabólica, relacionadas al movimiento de la banca por lo que constantemente vienen acompañadas de hundimientos. Se producen por la reducción de agua en la estructura del pavimento, que es causada por la presencia de árboles cerca a la vía. La no reparación de este daño provocaría el aumento del área afectada y que el hundimiento sea mayor, lo que afectaría de manera considerable a la estructura del pavimento, ya que este perdería su capacidad de carga. Puesto que este daño se presenta usualmente acompañado por hundimiento, se presentará vibración en el vehículo, haciendo que este reduzca su velocidad y ocasionando que se presente congestionamiento en la vía.

➤ **Fisuras en bloque (FB)**

Figura 110. Fisuras en Bloque (FB)



Fuente. Los Autores

La superficie de la capa de asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular, esto es ocasionado por la contracción del asfalto, producto de la variación en la temperatura durante el día. La aparición de estas fisuras, quiere decir que el asfalto se ha endurecido de manera importante, lo cual ocurre cuando se utiliza un tipo de asfalta que no es el adecuado para la zona climática. Este tipo de lleno podría llegar a convertirse en un descascaramiento o en piel de cocodrilo. En cuanto a la movilidad y a los vehículos no tiene mayor incidencia, puesto que es un daño superficial, el cual afecta la capa de asfalto de manera mínima.

➤ **Piel de cocodrilo (PC)**

Figura 11. Piel de Cocodrilo (PC)



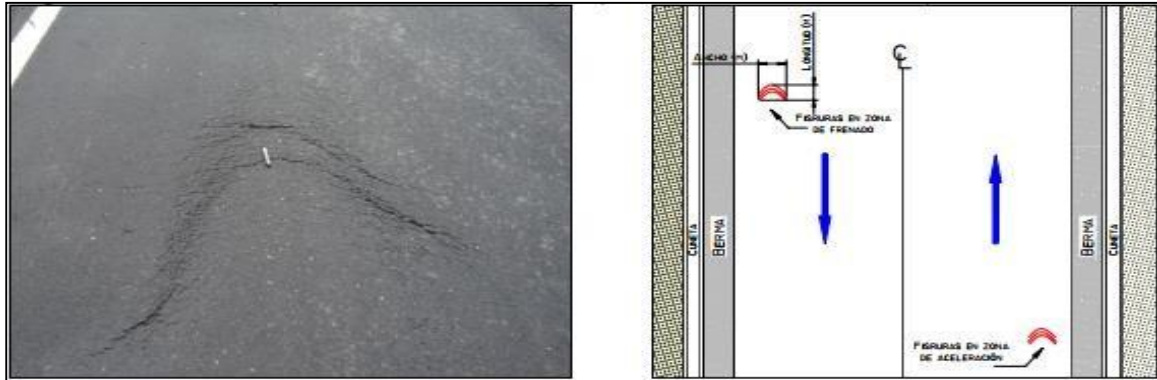
Fuente. (Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. invias, 2006)

La superficie de la capa de asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular, esto es ocasionado por la contracción del asfalto, producto de la variación en la temperatura durante el día. La aparición de estas fisuras, quiere decir que el asfalto se ha endurecido de manera importante, lo cual ocurre cuando se utiliza un tipo de asfalta que no es el adecuado para la zona climática.

Este tipo de lleno podría llegar a convertirse en un descascaramiento o en piel de cocodrilo. En cuanto a la movilidad y a los vehículos no tiene mayor incidencia, puesto que es un daño superficial, el cual afecta la capa de asfalto de manera mínima.

➤ Fisuración por deslizamiento de capas (FDC)

Figura 12. Fisuración por Deslizamiento de Capas (FDC)

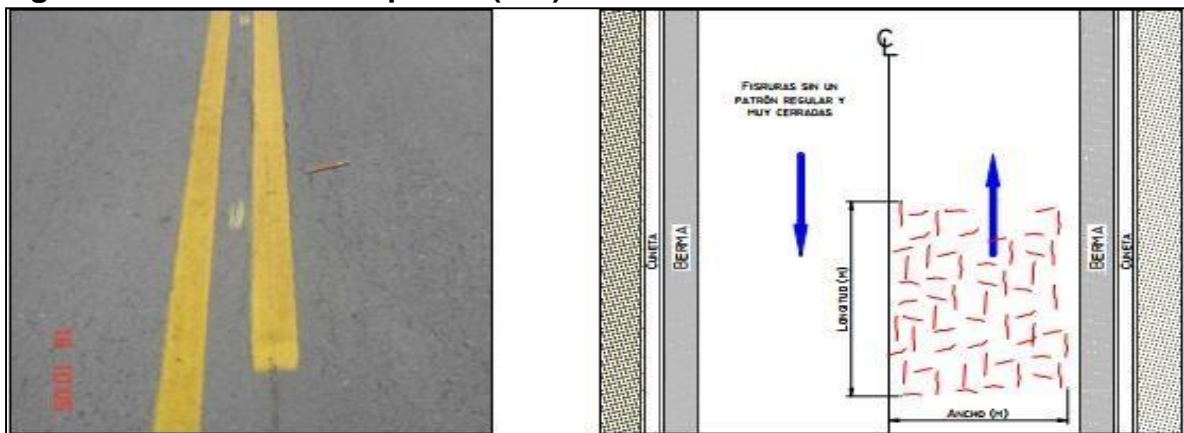


Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Fisuras en forma de medialuna o semicírculo, se presentan habitualmente cuando la adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento es insuficiente, generadas por la acción de arranque o frenado de un vehículo, el paso de tránsito muy pesado y muy lento, lo cual conlleva a que la superficie del pavimento se deslice y se deforme. Este tipo de daño puede terminar en un descascaramiento, baches, hundimientos y abultamientos. No afecta la movilidad y los vehículos, puesto que las fisuras son mínimas.

➤ Fisuración Incipiente (FIN)

Figura 13. Fisuración Incipiente (FIN)



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

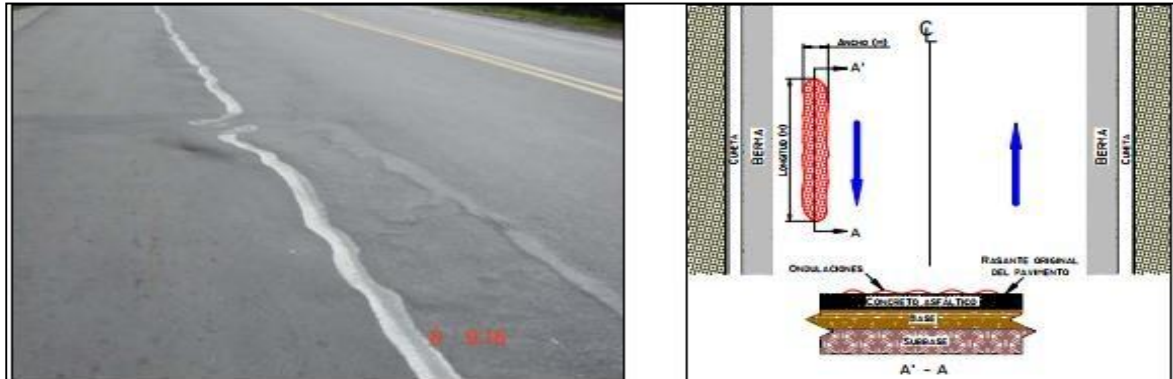
Corresponden a un conjunto de fisuras continuas y cerradas, que usualmente no se interceptan, son generadas por la desigualdad de temperatura entre la mezcla asfáltica y el medio ambiente en el momento de la instalación y por la presencia de lluvia en el momento de la instalación del concreto asfáltico, la mala reparación de

este daño conllevaría a la pérdida de agregado, fisuras en bloque y piel de cocodrilo en pequeños bloques. Al ser un daño superficial, afecta exclusivamente a la capa de rodadura y no posee efectos en la movilidad y los vehículos.

2.6.1.2 Grupo 2: Deformaciones

➤ Ondulación (OND)

Figura 14. Ondulación (OND)



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Igualmente, denominado como corrugación o rizado, se caracteriza por la aparición de ondas en la superficie de la capa de rodadura, es una deformación plástica de la capa de rodadura, comprometido habitualmente a un desgaste de la estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, estos casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos. Las posibles evoluciones son la exudación y el ahuellamiento. Este tipo de daño no tiene consecuencias en los vehículos y la movilidad, puesto que es superficial.

➤ Abultamiento (AB)

Figura 15. Abultamiento (AB)

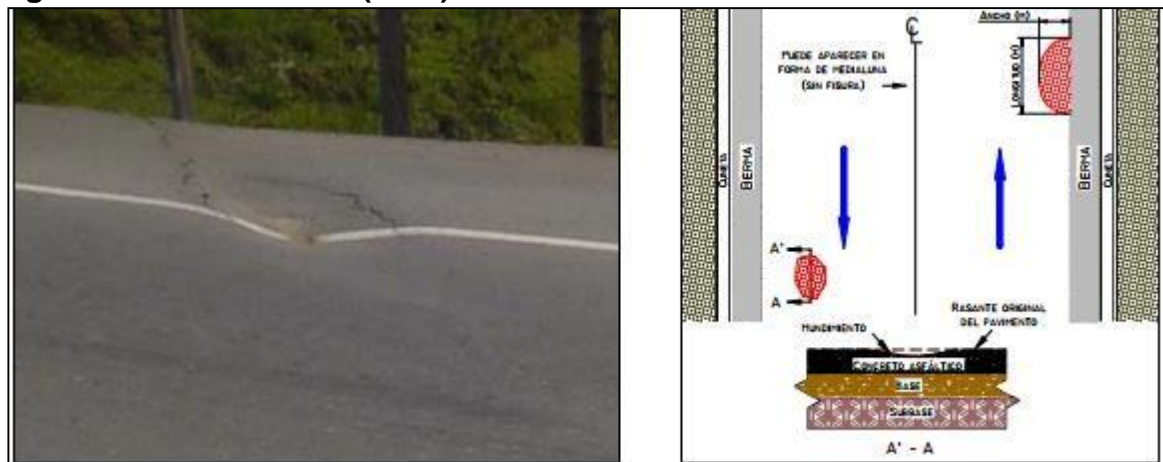


Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Se establece a los abombamientos o prominencias que se muestran en la superficie del pavimento, se forman especialmente por la expansión de la subrasante o en las capas de asfalto que tengan por base placas de concreto rígido, el cual se deforma al hallarse presiones bajo la capa asfáltica, además puede relacionarse a una ondulación localizada, formada por las mismas causas del caso anterior y llegar a convertirse en una fisuración, desprendimientos, exudación y ahuellamiento, los vehículos y la movilidad no tienen problema, puesto que este daño es superficial.

➤ **Hundimiento (HUN)**

Figura 16. Hundimiento (HUN)

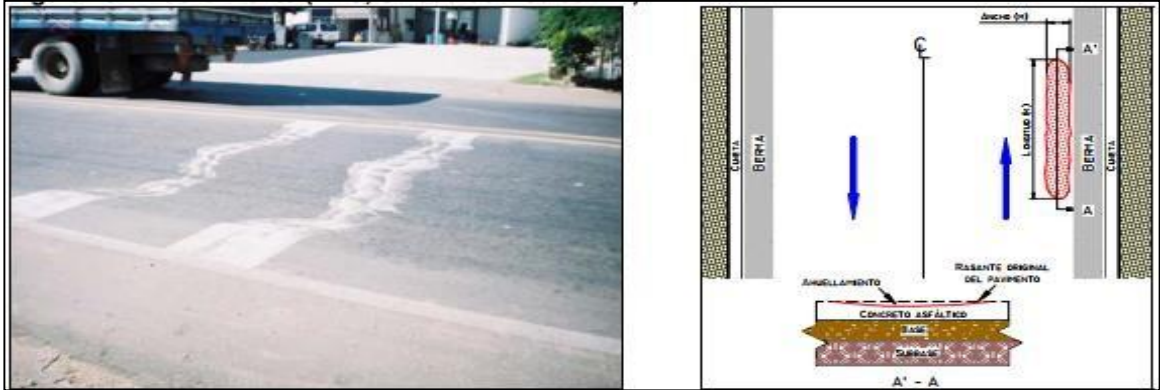


Fuente. (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Los hundimientos pueden estar orientados de manera longitudinal o transversal en la vía, o adquieren forma de medialuna, hay varias causas que los producen, las cuales están vinculadas con problemas que afligen toda la estructura del pavimento, entre las cuales se encuentran asentamientos de la subrasante, inestabilidad de la banca y circulación de tránsito muy pesado, este daño puede concebir en fisuración, desprendimientos y movimientos de masa, ocasiona inseguridad en los vehículos, principalmente cuando estos contienen agua, ya que se puede producir hidropneumático, esto conllevaría a que la vía presente congestión puesto que la velocidad deberá disminuir.

➤ Ahuellamiento (AHU)

Figura 17. Ahuellamiento (AHU)



Fuente. (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Es una depresión de la zona situada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos, se ocasiona generalmente por una deformación permanente de la subrasante o alguna de las capas de la estructura del pavimento, generada por la deformación de la subrasante comprometida a la fatiga de la estructura por la repetición de cargas o por la deformación plástica del concreto asfáltico, teniendo una probable evolución de piel de cocodrilo y desprendimientos, al igual que los hundimientos, ocasiona inseguridad en los vehículos, ya que puede llegar a facilitar el hidroplaneo por el almacenamiento de agua, por ende la velocidad deberá ser reducida y esto generaría congestión en la vía.

2.6.1.3 Grupo 3: Pérdidas de las capas de la estructura

➤ Descascaramiento (DC)

Figura 18. Descascaramiento (DC)



Fuente. Los Autores

Corresponde al desprendimiento de la capa superficial del asfalto, sin afectar las demás capas asfálticas, generada por un riego de liga deficiente, provocando que esta capa no quede bien adherida a las demás, la mala reparación de esta falla llega a provocar piel de cocodrilo o un bache, ocasiona cambios drásticos en la dirección de los vehículos, llevando a estos a reducir su velocidad y producir congestión en la vía.

➤ **Baches (BCH)**

Figura 19. Baches (BCH)



Fuente. Los Autores.

Es la desintegración total de la carpeta asfáltica, dejando expuesto los materiales granulares de la base aumentando el área afectada y el aumento de la profundidad ante la acción del tránsito, este tipo de daño puede producirse por la detención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito comprime los esfuerzos efectivos creando deformaciones y la falla del pavimento, esto sucede como la evolución de otros daños mal reparados, principalmente la piel de cocodrilo, la consecuencia de no reparar bien este daño es la destrucción de la estructura del pavimento, ocasiona cambios bruscos en la dirección de los vehículos, por consiguiente la velocidad en estos tramos deberá ser reducida, produciendo un congestionamiento vehicular.

➤ **Parche (PCH)**

Figura 20. Parche (PCH)



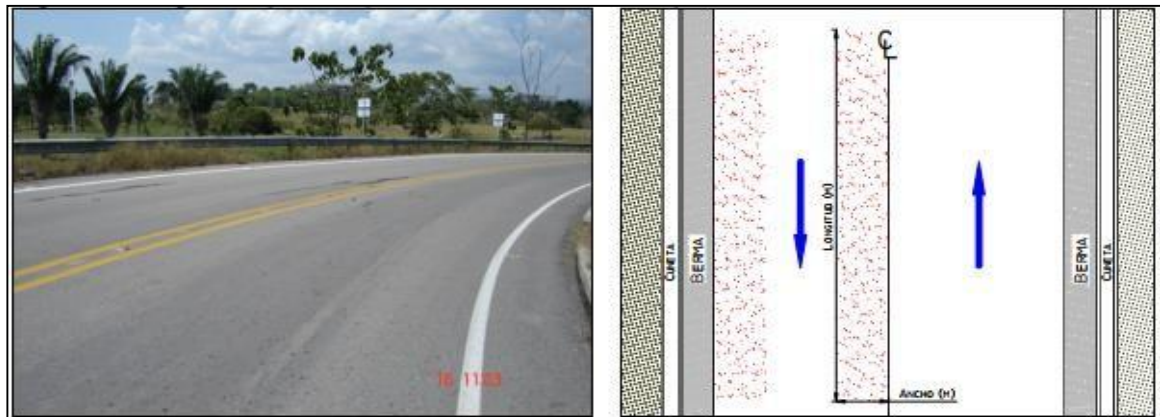
Fuente. Los Autores

Son areas en las cuales el pavimento fue reemplazado por un material similar o distinto, ya sea para reparar la estructura del pavimento o para la instalación o reparacion de alguna red de servicios públicos, cuando la intervención realizada implica el cambio del espesor parcial o total del asfalto, es conocido como parcheo y cuando la intervención realizada implica el cambio parcial o total de granulares, es conocido como bacheo, no tiene ninguna consecuencia vehicular y tampoco afecta la movilidad.

2.6.1.4 Grupo 4: Daños Superficiales

➤ **Desgaste superficial (DSU)**

Figura 21. Desgaste Superficial (DSU)



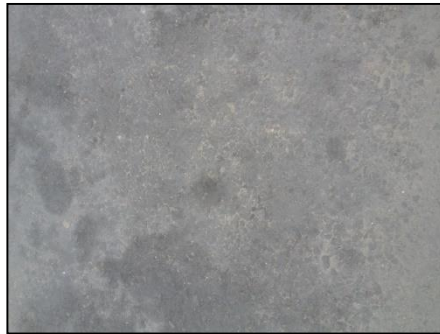
Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Concierne al deterioro del pavimento generado usualmente por acción del transito. Se presenta como perdida de ligante y mortero, generalmente es un deterioro natural del pavimento o tambien puede verse producido por la falta de adherencia

del asfalto con los agregados, la evolución posible de este daño es la pérdida de agregado. Se siente vibración en los vehículos y una diferencia de sonido en las llantas, pero no afecta la movilidad.

➤ **Pérdida de Agregado (PA)**

Figura 22. Pérdida de Agregado (PA)

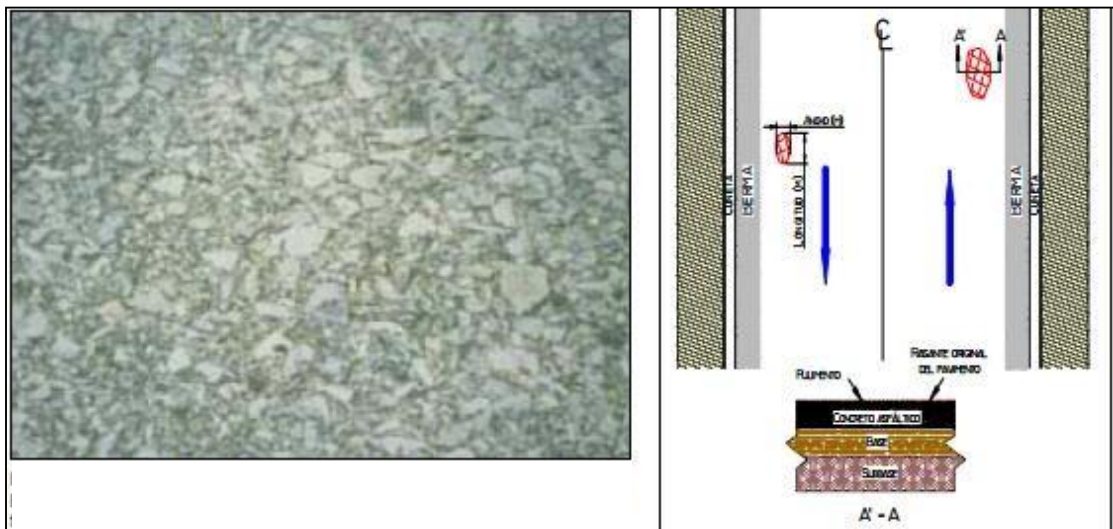


Fuente. Los Autores

También conocida como desintegración, concierne a la desintegración superficial de la capa de rodadura generado por una pérdida gradual de agregados, haciendo que la superficie sea más rugosa y exteriorizando los materiales de manera sucesiva a la acción del tránsito y los agentes climáticos, se debe reparar de la mejor manera puesto que si no se hace, esto puede llegar a convertirse en exudación, descascamientos y aumentarle la permeabilidad a la estructura. No afecta la movilidad, pero en el vehículo se sienten leves vibraciones.

➤ **Pulimento de agregado (PU)**

Figura 23. Pulimento de agregado (PU)



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. invias, 2006)

Se manifiesta por la apariencia de agregados con caras planas en la superficie o por la falta de agregados angulares, en los 2 casos llegar a afectar la resistencia al deslizamiento. No afecta la movilidad y los vehículos.

➤ **Cabezas duras (CD)**

Figura 24. Cabezas Duras (CD)

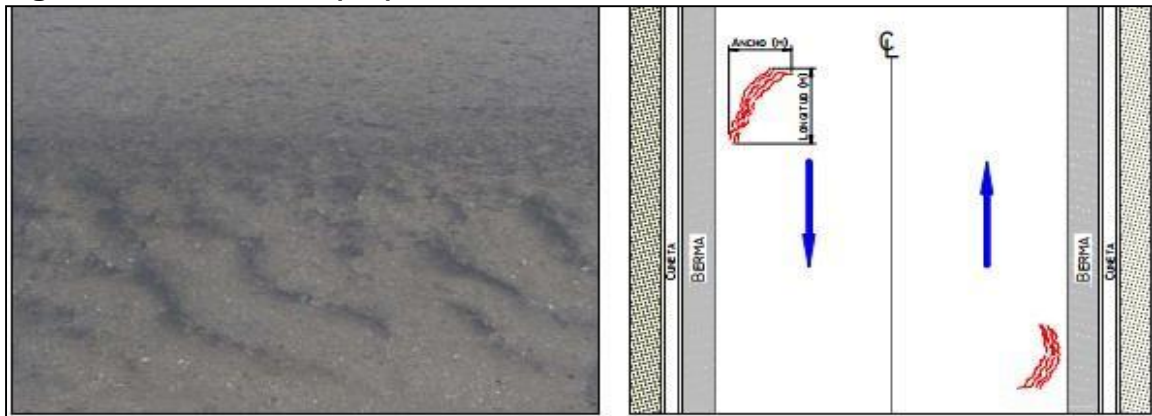


Fuente. Los Autores

Se relaciona a la aparición de agregados fuera del mortero, que pueden llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, esto ocurre por el uso de agregados gruesos con un tamaño inadecuado, produce ruidos excesivos para el conductor, pero no afecta la movilidad.

➤ **Exudación (EX)**

Figura 25. Exudación (EX)



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias, 2006)

Se presenta con una película o afloramiento del ligante sobre la capa de rodadura, usualmente brillante, resbaladiza y pegajosa, se ocasiona cuando la mezcla tiene un exceso de asfalto provocando que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo; ocurre principalmente en zonas o épocas calurosas, no afecta los vehículos y la movilidad.

➤ **Surcos (SU)**

Figura 26. Surcos (SU)



Fuente. Los Autores

Se refiere a franjas o canales longitudinales en los cuales se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica, se genera por la repartición transversal incorrecta del ligante bituminoso o del agregado, lo cual ocasiona desprendimiento de los agregados, en concreto asfáltico se refiere a la erosión de agua en zonas de alta pendiente, no tiene consecuencias en los vehículos y la movilidad.

2.6.2 Patologías de Pavimentos Rígidos. Los daños que se presentan en este pavimento pueden ser clasificados en cinco grupos, dentro de cada grupo existen varios tipos de deterioro causados por diferentes factores que han sido previamente establecidos mediante una evaluación en campo y una revisión bibliográfica, a continuación, se presentan cada uno de los grupos con sus respectivos tipos de deterioro, por medio de la figura 32 a la figura 54 (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006):

2.6.2.1 Grupo 1: Grietas.

➤ **Grietas de Esquina.** Generan un bloque de forma triangular en la losa, que generalmente aparece en las intersecciones de las juntas (ver figura 27). Este daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado y Según el ancho que tenga la grieta tendrá una severidad diferente. (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Gravedad de la Grieta de Esquina

GRAVEDAD	ANCHO
BAJA	Abertura menor a 3 mm
MEDIA	Abertura entre 3-10 mm
ALTA	Abertura mayor a 10 mm

Fuente. Los Autores

Figura 27. Grietas de Esquina (GE)



Fuente. Los Autores

Una mala compactación en el proceso de elaboración de la vía, ocasiona que con el tiempo la base y la subrasante sufran de un asentamiento, el cual es un motivo de agrietamiento en las esquinas.

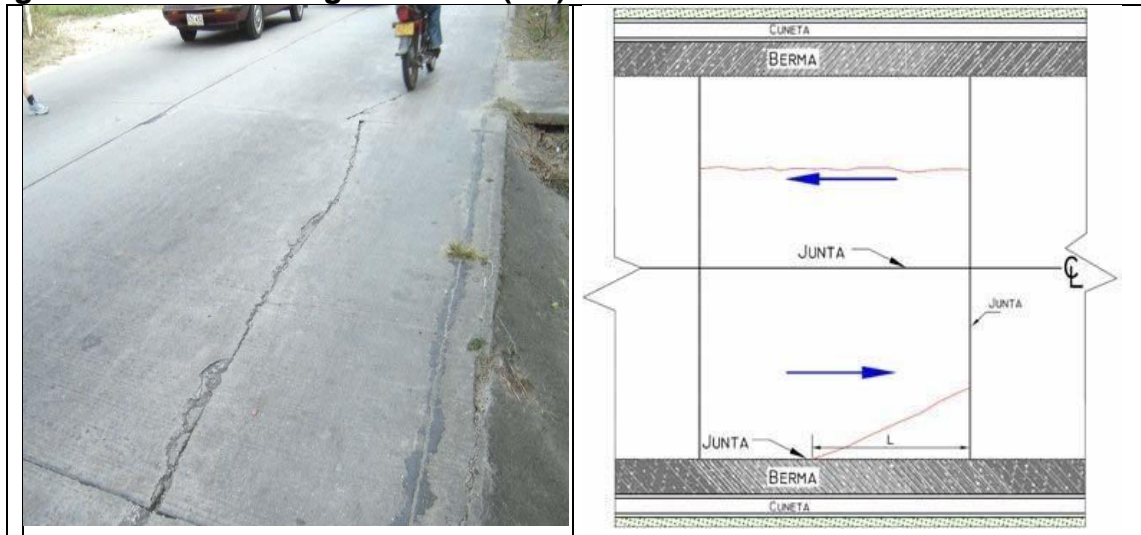
Otro aspecto que incentiva la aparición de estas grietas, es la falta de apoyo de la losa, esto es, que cuando en la base se genera bombeo, se produce una serie de vacíos bajo la losa por la pérdida de agregado sobre ella, hasta que la losa va quedando sin apoyo; este proceso es llamado erosión.

Entre las principales causas de la grieta de esquina también se encuentra el alabeo térmico, la sobre cargas en las esquinas de la losa y la mala transmisión de cargas entre las losas continuas.

Esta serie de motivos que hacen defectuosa la vía generan un escalonamiento en las losas, lo cual hace que la vía se vuelva irregular e inestable además de que se produzcan múltiples fracturas en las losas. Al existir escalonamientos pronunciados los vehículos que transitan las vías se ven obligados a frenar ante esos defectos, lo cual ocasiona molestias en la movilidad, además aquellos vehículos que no se percatan de estos escalonamientos, sufrirán choques bruscos entre losa y las llantas.

➤ **Grietas longitudinales.** Comúnmente aparecen paralelas al eje de la calzada o desde una junta transversal hasta el borde de la losa (véase la Figura 38), similar a las grietas de esquina, la severidad es medida según la medición de su ancho, así como se muestra en la siguiente tabla:

Figura 28. Grietas Longitudinales (GL)



Fuente:(Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. INVIAS, 2006)

Tabla 2. Gravedad de la Grieta Longitudinal

GRAVEDAD	ANCHO
BAJA	Abertura menor a 3 mm escalonamiento imperceptible
MEDIA	Abertura entre 3-10 mm
ALTA	Abertura mayor a 10 mm, si supera los 15 mm se presenta escalonamiento

Fuente. Los Autores

Los aspectos que dan origen a este defecto son:

- ✓ Asentamiento de la base o la subrasante.
- ✓ Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- ✓ Alabeo térmico.
- ✓ Losa de ancho excesivo.
- ✓ Carencia de una junta longitudinal.
- ✓ Mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje.
- ✓ Aserrado tardío de la junta.
- ✓ Contracción del concreto

Por motivos climáticos los bordes de las losas tienden a tomar una forma curvada, lo cual genera una separación entre la losa y la base, ocasionando una pérdida de

apoyo en las esquinas, las cuales inician un agrietamiento al recibir las cargas pesadas del tránsito.

La gravedad de este defecto, llega a su punto crítico cuando se produce un escalonamiento pronunciado, el cual ocasiona congestión vehicular debido a que los vehículos tienen que desacelerar de manera imprevista para no alterar bruscamente el movimiento del vehículo y su entorno.

➤ **Grietas transversales.** Estas grietas se presentan perpendiculares al eje de tránsito de la vía (véase la Figura 34). Pueden ir desde la junta transversal hasta la junta longitudinal.

Figura 29. Grietas Transversales (GT)



Fuente:(Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. INVIAS, 2006)

La severidad en el daño es evaluada por la siguiente tabla, entendiendo que la severidad se encuentra entre baja y alta pasando por la media.

Tabla 3. Gravedad de la Grieta Longitudinal

GRAVEDAD	ANCHO
BAJA	Abertura menor a 3 mm escalonamiento imperceptible
MEDIA	Abertura entre 3-10 mm
ALTA	Abertura mayor a 10 mm, si supera los 6 mm se presenta escalonamiento

Fuente. Los Autores

Las causas principales que conllevan a la aparición de las grietas transversales son:

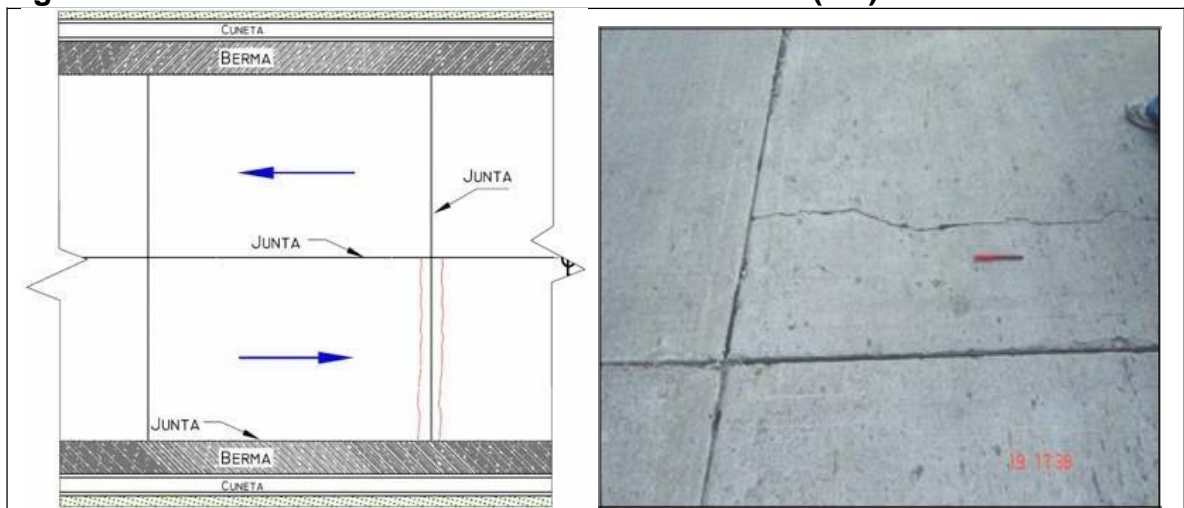
- ✓ Gradiente térmico que origina alabeos.
- ✓ Problemas de drenaje.
- ✓ Cargas excesivas
- ✓ Asentamiento de la base o la subrasante.
- ✓ Losas de longitud excesiva.
- ✓ Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- ✓ Espesor de la losa insuficiente para soportar las sollicitaciones

Cuando en la construcción de la vía no se respeta el espesor de las placas, ya sea por escases de material o por un ahorro económico, la losa pierde la capacidad de soportar las cargas para la cual fue diseñada por lo cual la losa reacciona por medio de la aparición de las grietas longitudinales.

La complicación de esta grieta es importante cuando se produce un escalamiento ya que la fisura como tal al ser superficial no interviene en el movimiento de los vehículos ni en la movilidad de la vía, en cambio al ser el escalonamiento un levantamiento de la losa genera que los vehículos se vean afectados directamente, haciéndolos frenar o chocar directamente con el defecto.

➤ **Grietas en los extremos de los pasadores.** Grietas cercanas al extremo de las dovelas, pueden ser ocasionadas por su ubicación o por su movimiento durante el proceso constructivo, este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado (véase la Figura 30).

Figura 30. Grietas en los Extremos de los Pasadores (GP)



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. INVIAS, 2006)

Tabla 4. Gravedad de la Grieta en los Extremos de los Pasadores

GRAVEDAD	ANCHO
BAJA	Abertura menor a 3 mm escalonamiento imperceptible
MEDIA	Abertura entre 3-10 mm
ALTA	Abertura mayor a 10 mm, si supera los 6 mm se presenta escalonamiento

Fuente. Los Autores

Al ubicarse de manera equivocada los pasadores en los extremos, la carga que recibe la vía no es soportada por estos y genera debilidad en los extremos al haber una errónea transferencia de la carga; a esto se le suma el tránsito de las cargas muy altas para las cuales posiblemente no se diseñó, esto por falta de control y

supervisión. Otras causas que también pueden intervenir en la aparición de estas grietas son:

- ✓ Corrosión de los pasadores
- ✓ Movimiento durante el proceso constructivo
- ✓ Diámetros de barras muy pequeños y cargas de tráfico muy altas.

➤ **Grietas en bloque.** Se ven reflejadas por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques y las grietas en “Y”. Es más común verlas en placas de concreto simple y reforzado (véase la Figura 31).

Figura 31. Grietas en Bloque o Fracturación Múltiple (GB)



Fuente. Los Autores

La severidad de esta grieta no está clasificada ya que al ver su presencia se debe considerar como un riesgo alto para la vía; debido a la repetición de cargas pesadas se genera una fatiga en el concreto, es decir una fracturación múltiple. Es la evolución del proceso de fisuración, inicia formando una malla, que gracias al tránsito y la continua flexión de las losas agilizan la subdivisión en bloques más pequeños, ocasionando el desportillamiento de sus bordes.

Estas implicaciones generan pérdida en la capacidad estructural de la vía, formando hundimientos y deterioros totales, lo cual genera interrupción el flujo normal de vehículos, ya que estos tendrán que detenerse constantemente para evitar algún tipo de riesgo.

2.6.2.2 Grupo 2: Daño en juntas.

➤ **Separación de juntas longitudinales.** Consiste en una abertura en la junta longitudinal del pavimento (véase la Figura 32).

Figura 32. Separación de Juntas Longitudinales (SJ)



Fuente. (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006)

La severidad de esta separación se mide por la abertura extra a la normal de la junta (véase la Tabla 5).

Tabla 5. Gravedad de la Abertura de las Juntas

GRAVEDAD	ANCHO
BAJA	Abertura menor a 3 mm (desportillamiento mínimo)
MEDIA	Abertura entre 3-25 mm
ALTA	Abertura mayor a 25 mm, se presenta diferencia de alturas entre losas o con respecto al nivel del suelo mayor a 10mm

Fuente. Los Autores

Si existe una severidad media o alta, se debe reconstruir el tramo, recompactando la subrasante y colocando barras de amarre en la junta longitudinal.

Los principales motivos que llevan a esta separación de juntas son:

- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclaje entre carriles adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Ausencia de bermas.

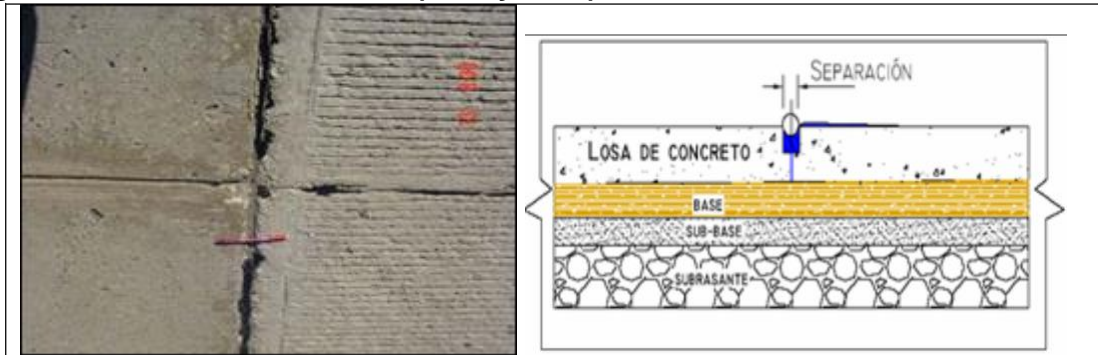
➤ Asentamiento diferencial de la subrasante.

Las losas sufren de un desplazamiento lateral debido a un asentamiento producido; los desplazamientos en sentidos contrarios entre las losas continuas provocan esfuerzos que las juntas no pueden soportar generando la fracturación y desprendimiento. Esta acción afecta a la transmisión de las cargas, si el daño es leve se puede sellar o de lo contrario habrá que corregir con el cambio de las losas. Así mismo se perderá el perfil longitudinal de la vía.

Si las losas se levantan, los vehículos deberán disminuir su velocidad para evitar cualquier riesgo, con esto provocan que el tráfico baje la velocidad y no fluya de manera correcta.

➤ **Deterioro del sello.** El sello de las juntas longitudinales o transversales se desprende, permitiendo la entrada de materiales incompresibles y de agua de manera superficial (véase la Figura33).

Figura 33. Deterioro del Sello (DST y DSL)



Fuente: (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006)

La severidad de este daño se evaluará dependiendo de la longitud de la junta así (véase la Tabla 6).

Tabla 6. Gravedad del sello

GRAVEDAD	ANCHO
BAJA	Longitud con deficiencia de sellado menor al 5% de la longitud de la junta y no existe riesgo de entrada de agua o material incompresible.
MEDIA	Longitud con deficiencia de sellado entre 5 y el 25% de la longitud de la junta, y el resto del material sellante se encuentra en condición regular.
ALTA	Longitud con deficiencia de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato.

Fuente. Los Autores

Dentro de las principales causas que ocasionan este deterioro encontramos:

- ✓ Endurecimiento del sello: producto de mala calidad, envejecimiento.
- ✓ Extrusión del material del sello: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, incremento severo de temperatura que provoca el movimiento de las losas y el ablandamiento del material, puesta en servicio de la vía antes del fraguado del sello.
- ✓ Pérdida de adherencia entre el sello y la placa: producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada, paredes sucias en el momento de aplicar el sello.
- ✓ Pérdida de sello: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, movimiento relativo excesivo entre losas aledañas, poca consistencia del material desello.
- ✓ Incrustación de material incompresible: ocasionada por la cercanía de bermas no pavimentadas o la caída de materiales de vehículos que transitan por la vía.
- ✓ Crecimiento de la vegetación: humedad en la junta.

Este deterioro afecta la movilidad y los vehículos en la medida que se generan levantamiento de las losas ya que sobre pasan el nivel y generan riesgo al contactar los vehículos, ya que estos tendrán que frenar de manera inesperada o simplemente desacelerar generando una lentitud en la movilidad.

2.6.2.3 Grupo 3: Deterioros Superficiales

➤ **Desportillamiento de juntas.** Desintegración de una junta, con pérdida de trozos, que puede afectar a lado y lado de la junta (véase la Figura 34).

Figura 34. Desportillamiento de Juntas (DPT y DPL)



Fuente. Los Autores

Estos desportillamientos son ocasionados por el debilitamiento de los bordes de las juntas debido a defectos en su construcción, cuando el material empleado es de mala calidad el concreto experimenta una desintegración y cuando hay material que no se puede comprimir, se genera una concentración de esfuerzos que provocan la falla al transitar los vehículos.

Al ser un deterioro superficial la movilidad solo se ve afectada cuando los vehículos desaceleran por prevención y experimentan movimientos no habituales en el transitar.

➤ **Descascaramiento.** Es el rompimiento de la superficie de la losa con una profundidad que oscila de 5 a 15 mm (véase la Figura 35).

Figura 35. Descascaramiento (DE)



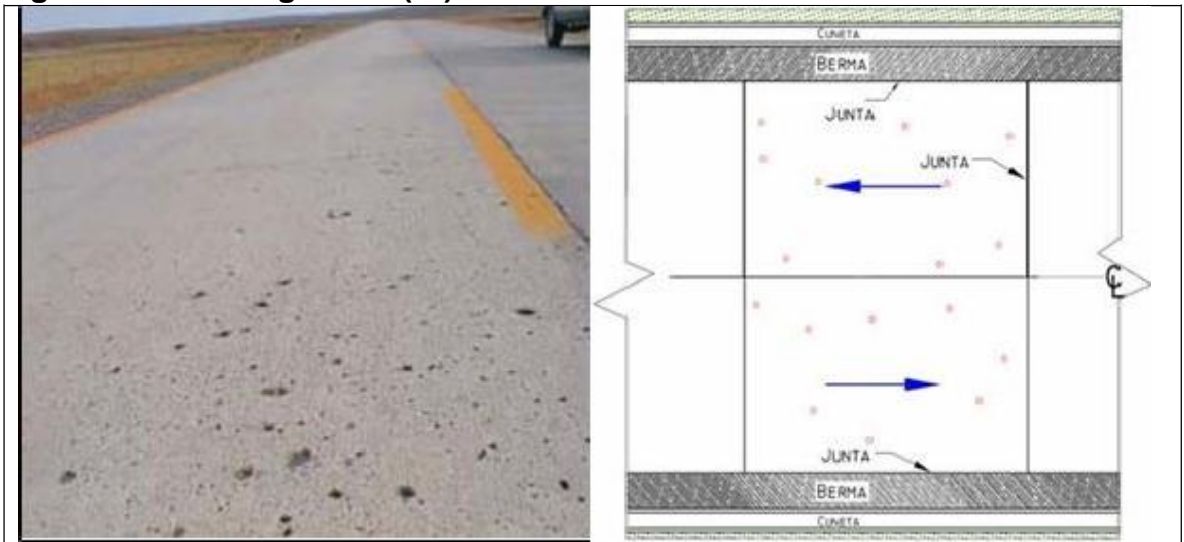
Fuente. Los Autores

Generalmente este tipo de defectos son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, lo que produce exudación del mortero y agua, provocando que la superficie sea muy débil, de este modo al paso de los vehículos la superficie se empieza a levantar. Si se deja avanzar este defecto puede llegar a producir una desintegración en la estructura.

Un descascamiento leve no ocasiona problemas en el vehículo o en la movilidad, pero cuando el material que se remueve es de área considerable, ocasiona que los vehículos tengan movimiento brusco, pierdan adherencia al suelo y así mismo intervengan en la movilidad.

➤ **Desintegración.** Al dejar avanzar el descascamiento surge este defecto, que consiste en la pérdida de agregado grueso en la superficie, provocando una superficie con pequeñas cavidades (véase la Figura 36).

Figura 36. Desintegración (DI)



Fuente: (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006)

La desintegración es causada por el efecto abrasivo del tránsito, esto hace alusión al desgaste que sufre la vía por causa del tránsito, más que todo sobre concretos de calidad pobre; otras causas de este deterioro son:

- ✓ Mortero poco homogéneo.
- ✓ Reparaciones hechas sin seguir recomendaciones técnicas.
- ✓ Deficiente calidad de los materiales.
- ✓ Agregados expansivos o de baja durabilidad.
- ✓ Material inapropiado en el interior del hormigón tal como terrones de arcilla ó cal viva.

Estructuralmente esta desintegración provoca filtración de agua, pérdida de agregados y formación de baches. En su etapa inicial no interviene directamente en la movilidad ni en la condición de los vehículos.

➤ **Baches.** Por causa de la desintegración de la losa de concreto, se remueve cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares que puede dejar a la vista el material de base (véase la Figura 37).

Figura 37. Baches (BCH)



Fuente. (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006)

Los baches son provocados por la combinación de varios factores, la retención de aguas en partes desintegradas más el efecto abrasivo del tránsito provocan un deterioro mayor hasta convertirse en huecos, cuyo estado crítico se presenta cuando su profundidad supera los 50 mm, además a esto se le suma la inestabilidad de las capas inferiores y los espesores estructuralmente deficientes.

Este deterioro es el que comúnmente afecta a la ciudad de Bogotá, ya que en la mayor parte de las vías se pueden identificar diferentes bache que tienen diferentes consecuencias, una de ellas es que en días lluviosos estos baches suelen camuflarse, lo cual hace que los vehículos caigan en ellos causando pinchazos, movimientos bruscos que pueden terminar en choques o simplemente un descontrol del vehículo; además de esto ocasionan que la movilidad se vea interrumpida por tratar de esquivarlos o simplemente por desacelerar para no sufrir ningún daño.

➤ **Escalonamiento.** Es una falla que consiste en un desnivel en la junta de una losa con respecto al adyacente (véase la Figura 38).

Figura 38. Escalonamiento de Juntas Longitudinales (EJL) y Transversales (EJT)



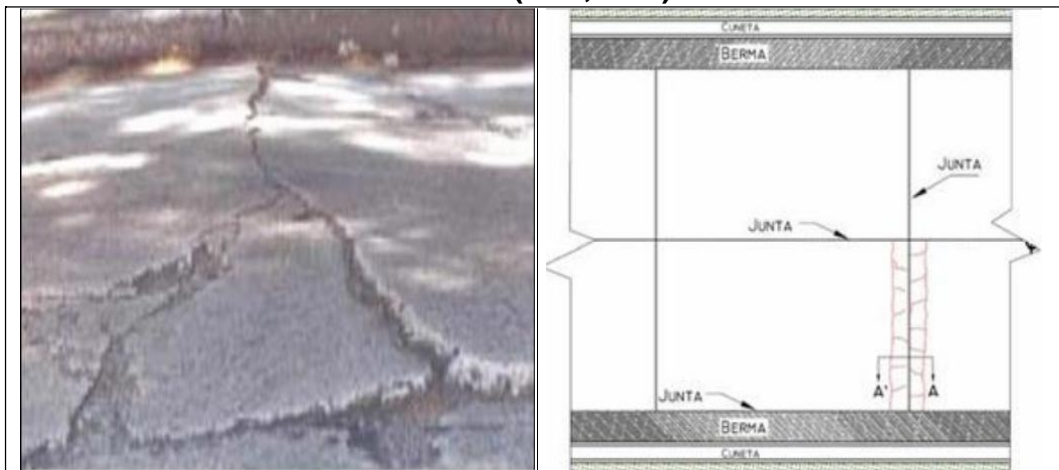
Fuente. Los Autores

Cuando la junta entre la losa falla deja en completa vulnerabilidad la estructural superficial, es aquí donde la erosión de la base que se va produciendo genera el desnivel entre las losas o asentamiento diferencial, que a su vez provoca una pérdida en la capacidad de soporte de la subrasante.

Esta falla afecta directamente a la movilidad ya que los vehículos tienen que desacelerar completamente para no afectar el vehículo, por esto el flujo normal será más lento. Además, el vehículo sufrirá de saltos y choques entre las llantas y los escalones.

➤ **Levantamiento localizado.** Es una sobre-elevación de la superficie del pavimento, generalmente se encuentra en zonas contiguas a una junta o una grieta, provocando que el concreto se quiebre (véase la Figura 39).

Figura 39. Levantamiento Localizado (LET, LEL)



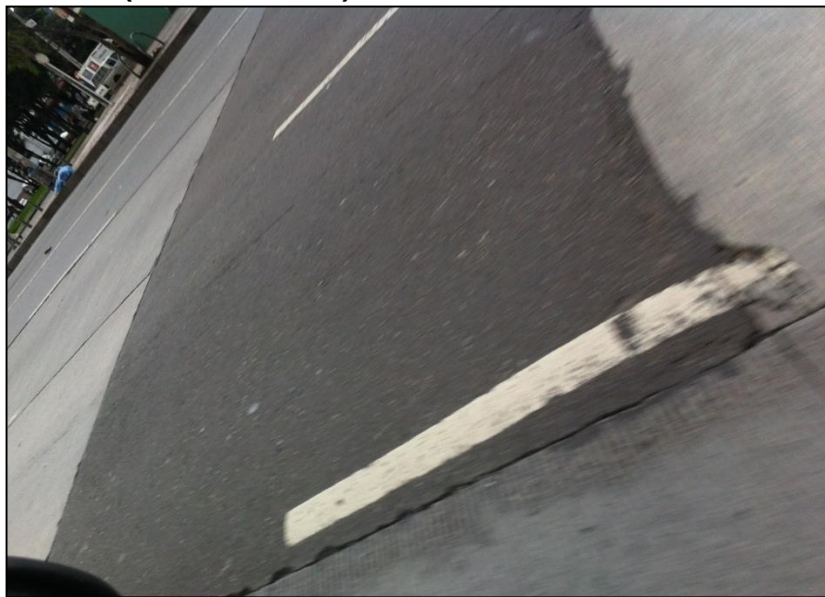
Fuente: (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006.

La falta de libertad de movimiento de las losas de concreto y la restricción a la expansión de las losas originan fuerzas de compresión sobre la junta, las cuales provocan el levantamiento de las losas continuas. La mala colocación de barras de transferencia, la presencia de un estrato de suelos expansivos y variaciones térmicas también son causantes de estos levantamientos.

Estas fallas reducen la velocidad en la movilidad que ya inevitablemente el vehículo tendrá que desacelerar para evitar algún riesgo, en los casos donde el conductor no se percata de este defecto o se percata sobre el tiempo, una frenada inesperada podría causar un choque y el no frenar causaría un salto y descontrol del vehículo dependiendo la velocidad con la que se transite.

➤ **Parches.** Es un segmento en donde el pavimento ha sido removido y reemplazado para reparar el pavimento existente. Las secciones con parches disminuyen el nivel de servicio de la vía, así mismo indican la necesidad de reforzar la estructura. En muchos casos, los parches por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas (véase la Figura 40).

Figura 40. Parches (PCHA - PCHC)



Fuente. Los Autores

Este parche en las losas afecta directamente en la transmisión de la carga ya que habrá una falta de dovelas o amarres, además de esto le quita homogeneidad a la estructura, física como funcionalmente, es así como muchas veces el parche queda funcionando estructuralmente por aparte del resto del segmento vial.

Por lo general los parches son de dimensiones pequeñas, es por esto que simplemente genera movimientos leves en los vehículos y difícilmente generar

tropiezos en la movilidad, ya que los usuarios toman los parches y la vía como un solo conjunto.

➤ **Hundimientos.** Es una depresión de la superficie del pavimento; puede estar acompañado de agrietamiento, debido al asentamiento de las losas (véase la Figura 41).

Figura 41. Hundimientos o Asentamientos (HU)



Fuente. (INVIAS. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2006)

Estas deformaciones ocurren cuando se produce asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en zonas cercanas a una estructura de drenaje, También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de losas.

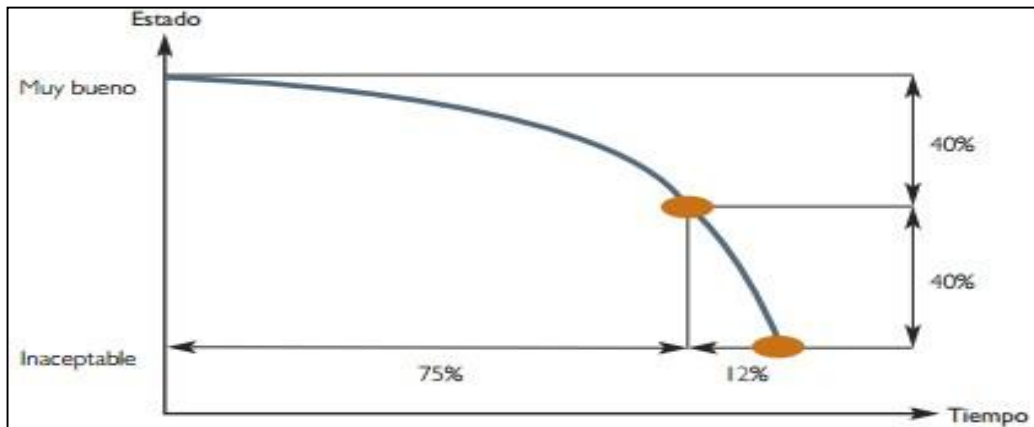
Estos hundimientos generan obstáculos en la movilidad, ya que frente a estos el conductor reaccionara mediante la desaceleración inmediata, para no provocar riesgos propios ni a su alrededor, ya que se experimentan movimientos bruscos en el vehículo.

3. MANTENIMIENTO VIAL

“La infraestructura vial tiene una notable influencia en el desarrollo de una nación o región. Sin embargo, la condición de la vía resulta un aspecto clave para que la inversión en infraestructura obtenga los resultados en términos de rentabilidad socioeconómica y de desarrollo”. Lo anterior indica que si una nación o región cuenta con vías en condiciones aceptables de servicio esto lograra que obtengan un desarrollo económico bueno, ya que las personas que viajan buscan movilizarse por vías en buen estado. (Coorporacion Andina de Fomento, 2010)

El comportamiento de los pavimentos sigue, en general, una curva: curva del comportamiento de los pavimentos respecto a su vida útil (figura 55), puede observarse que una vez diseñado y construido el pavimento para una determinada vida útil, la calidad del servicio que brinda al usuario disminuye conforme el mismo es utilizado; el servicio se va deteriorando con el tiempo, desmejorando su estado o condición, se han definido dos condiciones, relacionados con el nivel de servicio brindado en cada caso por la infraestructura al usuario del camino: una condición inicial indicada como “muy buena” y una condición final indicada como “inaceptable”, que dependen fundamentalmente de la exigencia de los usuarios. (Coorporacion Andina de Fomento, 2010)

Figura 42. Curva del Comportamiento de los Pavimentos Respecto a su Vida Útil



Fuente. (Coorporacion Andina de Fomento, 2010)

Esta curva indica es que un pavimento que fue diseñado para cierta vida útil, después de haber transcurrido el 75% de su vida útil, este pasa de un esta bueno a un estado aceptable y cuando llega a un 87% de su vida útil ya entra en un estado inaceptable, ahí es cuando se debe realizar su respectivo mantenimiento.

3.1 MEDIANO Y LARGO PLAZO EN LA PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento vial demanda una orientación de mediano y largo plazo. Por lo tanto, resulta necesario que las entidades que manejan las vías, tengan capacidades apropiadas para la planificación a largo plazo, y permitan identificar las insuficiencias en elemento de inversión en obras de recuperación. La planificación a mediano plazo ofrecerá las herramientas para evaluar dichas inversiones, y tomar medidas para disponer de dineros y elaborar los diseños, con el objetivo de ejecutar las obras en el instante adecuado, y maximizar su rentabilidad. En el corto plazo, la planificación y programación anual de acciones deberá enfocarse en el mantenimiento preventivo para de ese modo evitar llegar a utilizar el mantenimiento correctivo que requiere de más tiempo y costo.(Cooperacion Andina de Fomento, 2010)

Para una explícita red vial, es deseable contar con herramientas de planificación que puedan saber con anticipación el tipo y la suma de dinero que será inevitable reservar, para desarrollar los trabajos adecuados que permitan conservar la estructural vial en buen estado, en dependencia con los beneficios deseados.(Cooperacion Andina de Fomento, 2010)

Es necesario también, conservar la red en una situación “estacionaria”, es decir que la red sea conservada con el mantenimiento preventivo, en donde el dinero disponible sea auto sustentable para su conservación. A pesar de esto las vías suelen tenerse por debajo de estas condiciones, llegando a requerir de un mantenimiento correctivo a falta del mantenimiento preventivo.(Cooperacion Andina de Fomento, 2010)

3.2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN VIAL

Un proceso de planificación y gestión del mantenimiento vial requiere de las siguientes acciones:

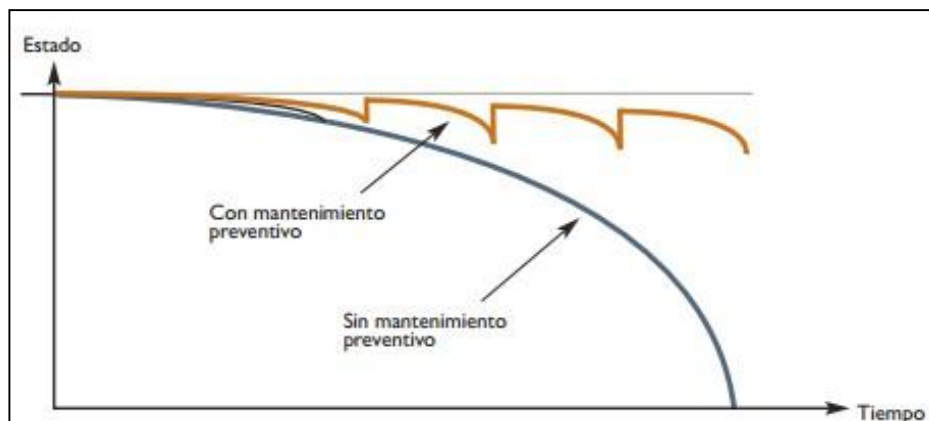
- Esclarecimiento de metas y objetivos
- Caracterización de insuficiencias en la red vial
- Priorización y optimización de acciones
- Esclarecimiento de una estrategia
- Estudio y establecimiento de planes de financiamiento
- Planeación de acciones y manejo de recursos
- Realización, persecución y control

La planificación del mantenimiento solicita una interacción repetida, en distintos de sus pasos o fases, a fin de afirmar la estabilidad del plan desarrollado con las metas y objetivos propuestos y la firme virtud en el mantenimiento de situaciones mínimas aceptables en la red vial.(Cooperacion Andina de Fomento, 2010)

Para cumplir con lo planteado en la planificación se debe llevar un estricto control sobre esta planeación, con esto se podrá cumplir no solo con el tiempo estimado de la obra si no también asegurar que los recursos serán los suficientes para la culminación de nuestro mantenimiento.(Coorporacion Andina de Fomento, 2010).

“El Sistema Integrado de Transporte Público es una red de transporte articulada que permite fácil acceso, cobertura y calidad en toda la ciudad. La idea es que los usuarios se puedan movilizar en los distintos modos de transporte (Transmilenio, buses, busetas, colectivos y Metro)”. Este sistema permite movilidad por la ciudad de forma rápida, económica y segura. Además de que el sistema contribuye con el desarrollo de la ciudad, ya que este genera empleo, además de que sus tarifas son las mismas en todas las partes de la ciudad.(Coorporacion Andina de Fomento, 2010).

Figura 43. Implicaciones con los Distintos Mantenimientos en la Condición del Pavimento



Fuente. (Coorporacion Andina de Fomento, 2010)

Como podemos observar en el figura 56, se observa que si se realiza un mantenimiento preventivo en el pavimento esto ayuda a que este se encuentre en mejores condiciones por más tiempo, si las actividades de mantenimiento preventivo son bien seleccionadas y realizadas de manera correcta, esto traerá beneficios económicos considerables con respecto a no hacerlas.(Coorporacion Andina de Fomento, 2010)

Existen entonces diferentes posibles tácticas relacionadas con la realización del mantenimiento:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Rehabilitación
- Reconstrucción. (Coorporacion Andina de Fomento, 2010)

3.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO VIAL

Cuando el pavimento se ve afectado necesita un mantenimiento adecuado, esto se logra identificando sus defectos para de tal manera determinar qué tipo de mantenimiento necesita, ya que según la afección el pavimento requiere diferentes tratos para poder cumplir su función como materia prima de una vía.

3.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este mantenimiento está dirigido a la conservación vial, cuya finalidad es detener deterioros leves, retardar fallas progresivas y reducir la necesidad de intervenir por medio de obras de reconstrucción o rehabilitación correctiva de la estructura a nivel general.(Sanchez Fernando, 2006).

Este mantenimiento se efectúa de manera planeada y realizándolo en forma cíclica, con la intención de prolongar la vida útil de las vías para mantener el nivel del servicio adecuado y que garantice las condiciones de movilidad de la malla vial. Es así como este tipo de mantenimiento se ve reflejado en actividades como como las presentadas en la tabla 1.(Sanchez Fernando, 2006).

Tabla 7. Actividades Preventivas

ÁREA DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Entorno de la vía	*Rocería y limpieza *Remoción de derrumbes *Jardinería y riego de plantas ornamentales
Calzada pavimentada	*Sello de fisuras y grietas *Reposición de sello de juntas en pavimentos rígidos *Bacheo *Riego en negro *Enarenado *Sello de arena asfalto *Reparación de bordes de pavimentos asfálticos
Drenaje	*Limpieza obras de drenaje superficial longitudinal *Limpieza obras de drenaje transversal *Limpieza de subdrenes
Estructuras viales	*Mantenimiento rutinario de las estructuras viales
Señalización y ayuda a la vialidad	*Limpieza de la calzada y las bermas *Limpieza y reparación de señales verticales, postes de referencia, defensas metálicas y barandas *Mantenimiento rutinario de líneas de demarcación y de marcas viales

Fuente. (Sanchez Fernando, 2006)

3.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Este mantenimiento está compuesto por una serie de actividades superficiales que no comprometen las capas de la estructura del pavimento, las más representativas se mencionan a continuación:(Sanchez Fernando, 2006)

3.5.1 Pavimento Flexible.

- **Bacheo.** Es una reparación localizada, que se debe a daños estructurales o a problemas con el material implementado. Se utiliza en deformaciones menores de la superficie y normalmente no se necesita remover el pavimento existente, solo se necesita una mezcla asfáltica en caliente.(Sanchez Fernando, 2006)
- **Fresado.** Este procedimiento consiste en levantar la carpeta asfáltica por medio de la ayuda de la fresadora, este proceso se complementa con la colocación de una capa que cumple la función de nivelar el espacio perdido.(Sanchez Fernando, 2006)
- **Sello de arena-asfalto.** Se aplica una emulsión de rotura seguida de una capa delgada de arena, esto con el fin de impermeabilizar las capas de rodadura que presenten vacíos con aire en exceso.(Sanchez Fernando, 2006)
- **Lechada asfáltica:** se utiliza para rejuvenecer la superficie de la vía y mejorar sus características de fricción, de igual modo también se puede usar para sellar grietas con poca abertura. (Sanchez Fernando, 2006)
- **Sobre capa asfáltica.** Es usada para corregir los defectos de la superficie de la vía para mejorar la comodidad de circulación y la resistencia al deslizamiento, así mismo ayuda en su capacidad estructural.(Sanchez Fernando, 2006).

3.5.2 Pavimento Rígido

- **Reparación en profundidad parcial:** esta actividad se ve reflejada cuando se nota un descascaramiento en las juntas transversales de las losas, se puede realizar por medio del concreto convencional.(Sanchez Fernando, 2006).
- **Reemplazo de losas:** se remueven las losas que se hayan deteriorado, bien sea por razones estructurales, calidad de material o motivos constructivos, para cambiarlas por unas losas nuevas.(Sanchez Fernando, 2006).
- **Subsellado:** por medio de la lechada de cemento o asfalto sólido se rellenan los vacíos existentes en las esquinas o en las juntas de las losas.(Sanchez Fernando, 2006).
- **Restauración de la transferencia de carga:** se instalan pasadores en las grietas o en las juntas que no los posean, es así como se mejora la capacidad estructural de la losa.(Sanchez Fernando, 2006).
- **Sobre capa asfáltica:** se emplea para mejorar el confort de la vía, aun así sirve para mejorar la capacidad estructural y las propiedades de fricción.(Sanchez Fernando, 2006).

4. MALLA VIAL

Por medio de este capítulo se pretende contextualizar al lector acerca de las características de una malla vial, y sus diferentes componentes y clasificaciones, esto con el fin de entender la importancia del mantenimiento y definir la manera adecuada como debe funcionar un sistema de gestión para el mantenimiento de los pavimentos.

4.1 GENERALIDADES

La malla vial es un conjunto de vías que conectadas entre sí permiten el tránsito y comunicación de diferentes locaciones. Las vías que conforman una malla vial pueden ser primarias, secundarias o terciarias, cada una cumple una función diferente según el tráfico para el cual se haya diseñado o la capacidad portante que se haya requerido.

4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FUNCIÓN

La clasificación de las vías según su función contempla las características de una red vial, es decir, si su disposición contribuye a la movilidad, a la conectividad y a la accesibilidad local, son vías que pueden garantizar las condiciones deseables para la operación vial. Este prototipo de clasificación se ha establecido como una significativa herramienta en términos de organización territorial y de movilidad, ya que el concepto de funcionalidad de la vía accede a generar vínculos respecto a otras variables como: las actividades predominantes, los niveles de tráfico, las restricciones de tránsito por tipo de vehículo y velocidad, entre otros. (La corporación Andina de Fomento, 2012)

Esta clasificación está ligada con unos conceptos generales los cuales son: movimiento principal, transición, distribución, recolección y terminación. El movimiento principal se refiere a un viaje ininterrumpido de larga distancia y alta velocidad, para a continuación pasar a una zona que admite cambiar las velocidades (generalmente son intersecciones o rampas de salida), y así entrar a otro tipo de uniones cuyo oficio es de distribución; en este proceso con viajes de media distancia y velocidades que permiten movilidad intermedia ágil para la zona, accediendo a un enlace con escalas zonales. Consecutivamente se entra en los espacios de recolección que proporcionan el ingreso a los barrios y, por último, se ejecuta la unión a las vías locales que suministran el ingreso directo a las viviendas o punto final del viaje. (La corporación Andina de Fomento, 2012).

De acuerdo con lo anterior se estableció que el subsistema vial urbano está compuesto por los siguientes componentes:

4.2.1 Malla Vial Arterial. Es el grupo de vías de notable función que basa la organización del área urbana, de expansión y rural. Está conformada por las mallas de integración regional, principal y complementaria e intermedia. La actividad primordial de estos corredores viales es la movilidad de altos volúmenes de tráfico.(La corporación Andina de Fomento, 2012).

4.2.2 Malla Vial Arterial de Integración Regional. Es la red vial que vincula directamente el sistema vial urbano con el sistema vial regional. Este sistema lo componen los corredores con volúmenes de carga y pasajeros más altos y los trayectos de viajes más largos. Sin embargo, este nivel funcional da prolongación a las vías rurales, regionales y nacionales que interceptan la frontera urbana, y que necesariamente, deberían estar establecidos de tal manera que no pasen por el centro de la ciudad y que únicamente se deleguen a conectar con las vías de la red Arterial Principal.(La corporación Andina de Fomento, 2012).

4.2.3 Malla Vial Arterial Principal. Es la red vial que opera como respaldo de la movilidad y la accesibilidad regional y urbana. Esta malla resiste el subsistema de transporte en su mecanismo de transporte masivo. Este sistema lo componen los corredores con volúmenes de tránsito altos y los trayectos de viaje de larga distancia, dentro del área urbana. De igual forma en el caso anterior, este tipo de corredores deberían estar establecidos de tal manera que no pasen por el centro de la ciudad y que únicamente se deleguen a conectar con las vías de menor grado que se incorporan a las áreas con los niveles más altos de atractivo de viajes, como lo son los grandes centros residenciales y los centros de negocios.(La corporación Andina de Fomento, 2012).

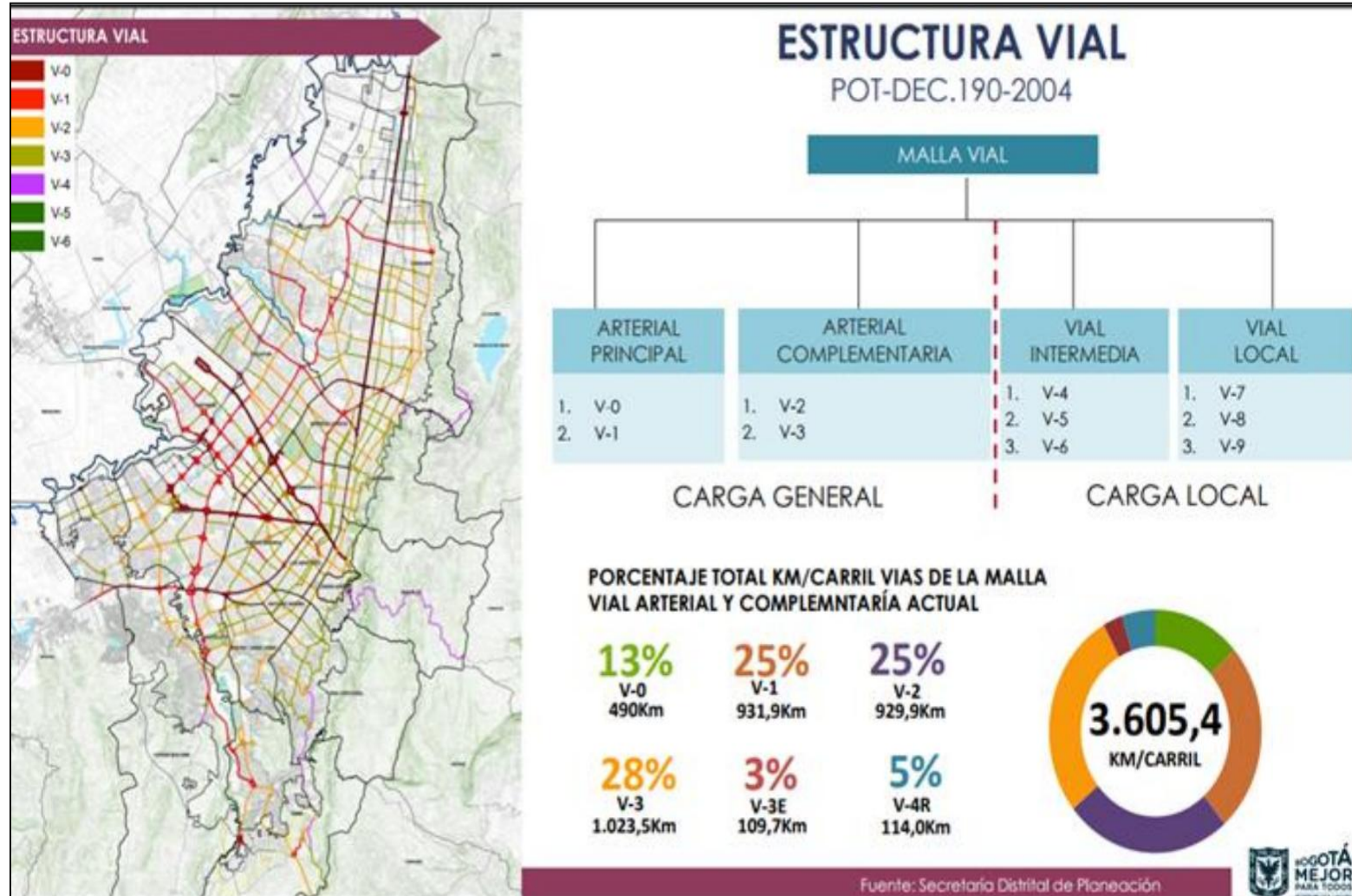
4.2.4 Malla Vial Arterial Complementaria. Es la red vial que vincula los subsistemas de la malla arterial principal, simplifica la movilidad de mediana y larga distancia en el área urbana. Este sistema comprende una disposición de movilidad comparativamente menor que la arteria principal y sirve como zona de seducción y generación de viajes con requerimientos menores a las del caso anterior. Sin embargo este tipo de sistema no entra a los barrios.(La corporación Andina de Fomento, 2012).

4.2.5 Malla Vial Arterial Intermedia. Está compuesta por una sucesión de corredores viales que permean la red que conforman las mallas arteriales principales y complementarias, utilizada como opción de circulación a éstas. Admite el paso y la facilidad de la ciudad a nivel zonal. Estos corredores, también llamados colectores, son alimentados por los ingresos locales y se encomiendan de comercializar los flujos hasta las redes arteriales.(La corporación Andina de Fomento, 2012).

4.2.6 Malla Vial Local. Está compuesta por los tramos de las vías cuya principal actividad es la de permitir el acceso a las viviendas. Esto quiere decir que son

aquellas vías que permiten transitar por los alrededores de las viviendas o más bien aquellas vías que conforman los barrios. (La corporación Andina de Fomento, 2012).

Figura 44. Estructura Malla Vial Bogotá



Fuente. (Secretaria distrital de planeación de Bogotá, 2015)

5. SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

Un Sistema de Gestión de Pavimentos, es un conjunto de actividades relacionadas con la planificación, el diseño, la construcción y el mantenimiento del pavimento, cuyo principal objetivo es producir un camino que genere los máximos rendimientos con los recursos existentes.(Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012).

En el presente capitulo se muestra de forma general de cómo funciona un sistema de gestión de pavimentos y así mismo se explicara qué sistema de gestión se utiliza en la ciudad de Bogotá, en Colombia y la ciudad de sao pablo, en Brasil; además se explica su funcionamiento en cada ciudad.(Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012)

5.1 GENERALIDADES

Una buena gestión de pavimentos es de vital importancia en las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de los mismos, ya que de este modo se podrá garantizar que la vida útil del pavimento no se vea reducida por el deterioro que este sufre a través del tiempo.(Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012).

La principal función de un sistema de gestión de pavimentos es salvaguardar la inversión inicial de cualquier pavimento que se utilice en las vías, por medio de tratamientos adecuados y oportunos. Las estrategias de mantenimiento y rehabilitación varían desde la corrección de defectos superficiales hasta acciones que incluyan reconstrucción para garantizar la capacidad estructural del tramo vial.

En general un sistema de gestión está basado en un ciclo que comprende los siguientes ítems:

- Planeación.
- Programación.
- Ejecución y Control.
- Evaluación de Resultados / Retroalimentación. (Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012)

5.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

Un sistema de gestión de suelo se compone de un amplio conjunto de actividades relacionadas con la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento y la evaluación de la vía, tales como:

- Identificar deficiencias del pavimento
- Establecer prioridades entre las deficiencias
- Recopilación de información acerca de los materiales, el tráfico, el tiempo y lo costos

- Análisis de las estrategias de mantenimiento
- Organización del cronograma y elaboración del presupuesto.(Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012)

La suma de estas actividades lleva a evaluar las deficiencias a mejorar y establecer prioridades para eliminar o minimizar estas deficiencias, así mismo se indaga sobre las alternativas a utilizar para subsanar estas fallas, dicha indagación está comprendida por la optimización y el costo de los recursos. De este modo se logra programar el mantenimiento de la vía, basándose en una serie de datos anteriormente recopilados y analizados, el fin de la generación de esta información, comprende la priorización de los planes de manejo, dado que la información con la que se trabaje debe ser previamente levantada, analizada y priorizada para dar el mejor manejo a los programas de inversión que beneficien de la mejor forma la movilidad urbana.(Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012).

5.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS BOGOTÁ, COLOMBIA BASADO EN EL MODELO HDM 4

En la búsqueda del mejor sistema para la gestión de los pavimento el Instituto de Desarrollo Urbano del Distrito Capital, IDU, decidió enfocar sus actividades de mantenimiento basándose en el sistema HDM-4, cuyas siglas significan, Highway Design and Maintenance Standars Model, que es el modelo utilizado por el banco mundial y que permite realizar una evaluación técnica y económica de los proyectos.(Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012).

El HDM-4 realiza su gestión de pavimentos por medio de las siguientes actividades secuenciales:

5.3.1 Captura de información y parámetros generales. Recolecta información de los elementos que conforman la malla vial o el espacio público a intervenir y asigna los recursos disponibles. Esta captura de información contiene los siguientes parámetros recolectados en campo:

➤ **Definición de la vía (nombre, tipo, año de construcción):** cuando se hace referencia a la definición de la vía se pretender dar a entender que en esta captura de información de debe tener caridad que tipo de vías es, de que material esta hecho, que longitud tiene y en qué año se construyó esto con el fin de tenerla plenamente descrita e identificada.

➤ **Características geométricas de la vía:** para definir las características geométricas de la vía es necesario tener una base de datos en donde se refleje la velocidad específica, la intensidad del tráfico, tiempos de reacción y percepción, máximas aceleraciones y coeficientes de rozamiento, con las cuales se diseñó la vía, esto por si en algún caso la vía necesite de una reconstrucción. (Belda Enrique, 2003).

➤ **Daños superficiales:** aquí se pretende identificar todos los defectos que posee la vía, para así poder identificar qué tipo de intervención requiere y que tan crítico es su estado.

➤ **Rugosidad:** se debe calcular, en términos coloquiales aquel defecto natural con el cual queda la última capa de la vía, esto depende de la calidad del acabado e influye en la rodadura de la misma.

➤ **Deflexiones:** se toman los datos sobre deformaciones que tiene la vía por causa del tránsito al cual está expuesta, en estos datos debe quedar explícito todo aquel factor de la deformación tanto cuantitativa como cualitativamente.

5.3.2 Identificación del deterioro. Este ítem es de gran importancia ya que es en este contexto donde se realiza una evaluación superficial del pavimento (*Pavement Condition Index PCI*), dicha evaluación se hace por medio del índice de condición de pavimento, que está basado en la condición superficial y estructural del pavimento, que podrá ser estudiada por medio de la norma ASTM 6433-07, la cual generara los criterios para poder evaluar el índice de la condición del pavimento dependiendo del caso; lo que se busca mediante este análisis es calcular el valor del índice de condición del pavimento para poder utilizarlo en la definición del estado de las vías como se muestra en la tabla 2. (Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012) (véase la Tabla 8).

Tabla 8. Intervalos de Índice de Condición del Pavimento

PCI	
0-25	ROJO
26-55	NARANJA
56-85	AMARILLO
86-100	VERDE

Fuente. (M.Y Shahim, 2012)

5.3.3 Intervenciones requeridas. Una vez establecidas las condiciones del pavimento según el color que se seleccionen dependiendo el índice de condición de pavimento, PCI, se generan las actividades de mantenimiento (véase la Tabla 3), esto teniendo en cuenta que va dirigido a pavimentos rígidos y flexibles.

Tabla 9. Clasificación de las Actividades por Color

RECONSTRUCCION	ROJO
REHABILITACION	NARANJA
M. PERIODICO	AMARILLO
M. RUTINARIO	VERDE

Fuente. (Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, 2012)

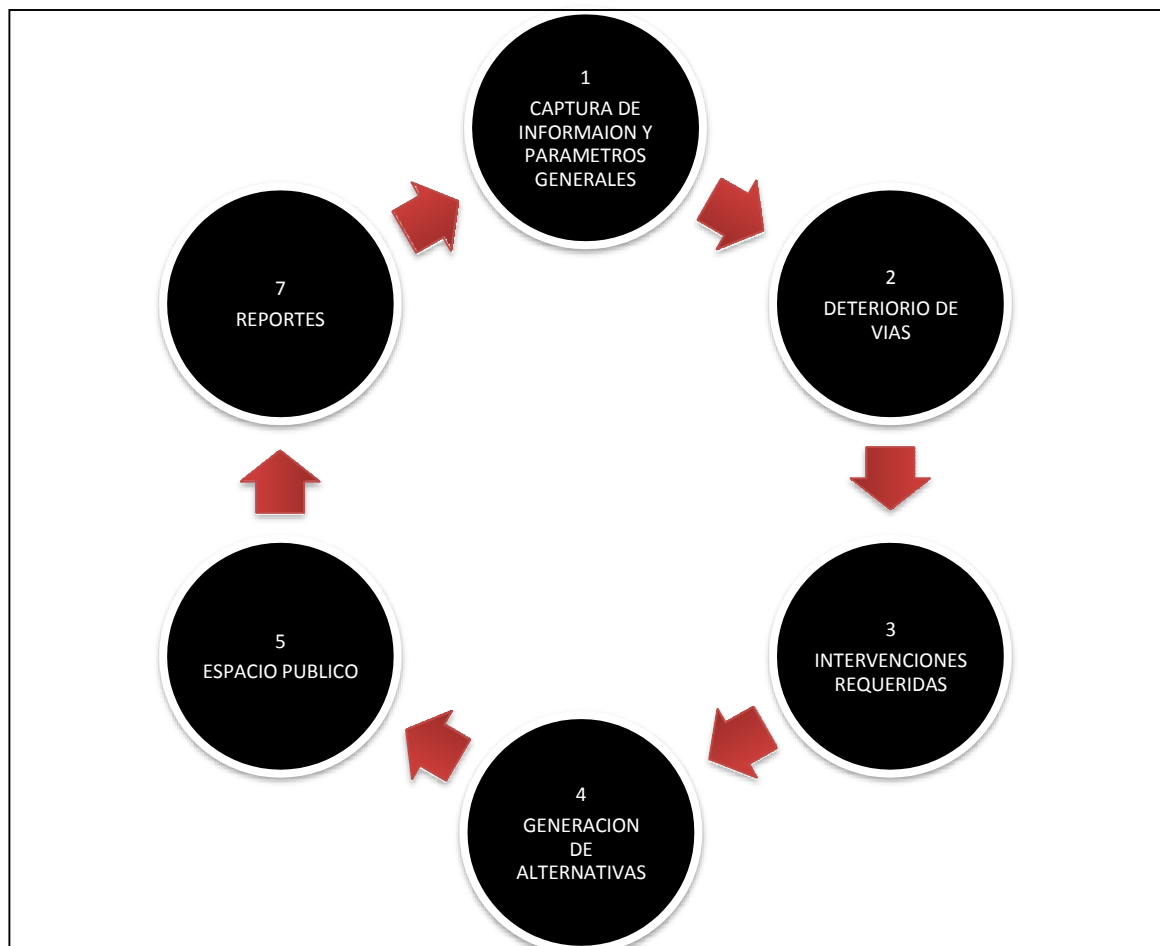
5.3.4 Generación de alternativas. Aquí se realiza una selección de la alternativa más adecuada evaluando su funcionamiento técnico, teniendo en cuenta que para cada tipo de actividad se encuentran diferentes acciones que se deben emplear.

➤ **Espacio Público.** Se busca generar las alternativas y los costos para las intervenciones necesarias para las estructuras que hacen parte del espacio público, tanto para los vehículos como para los peatones.

➤ **Reportes.** Generación de reportes de las actividades realizadas, que debe ser actualizado anualmente para que los encargados de los mantenimientos y estudios trabajen con información vigente y verídica.

Con la intención de comprender mejor el sistema de gestión de pavimentos aplicado por Bogotá se presenta en el gráfico 1 un esquema que sintetiza este proceso (véase la Figura

Figura 45. Sistema de Gestión de Pavimentos Bogotá



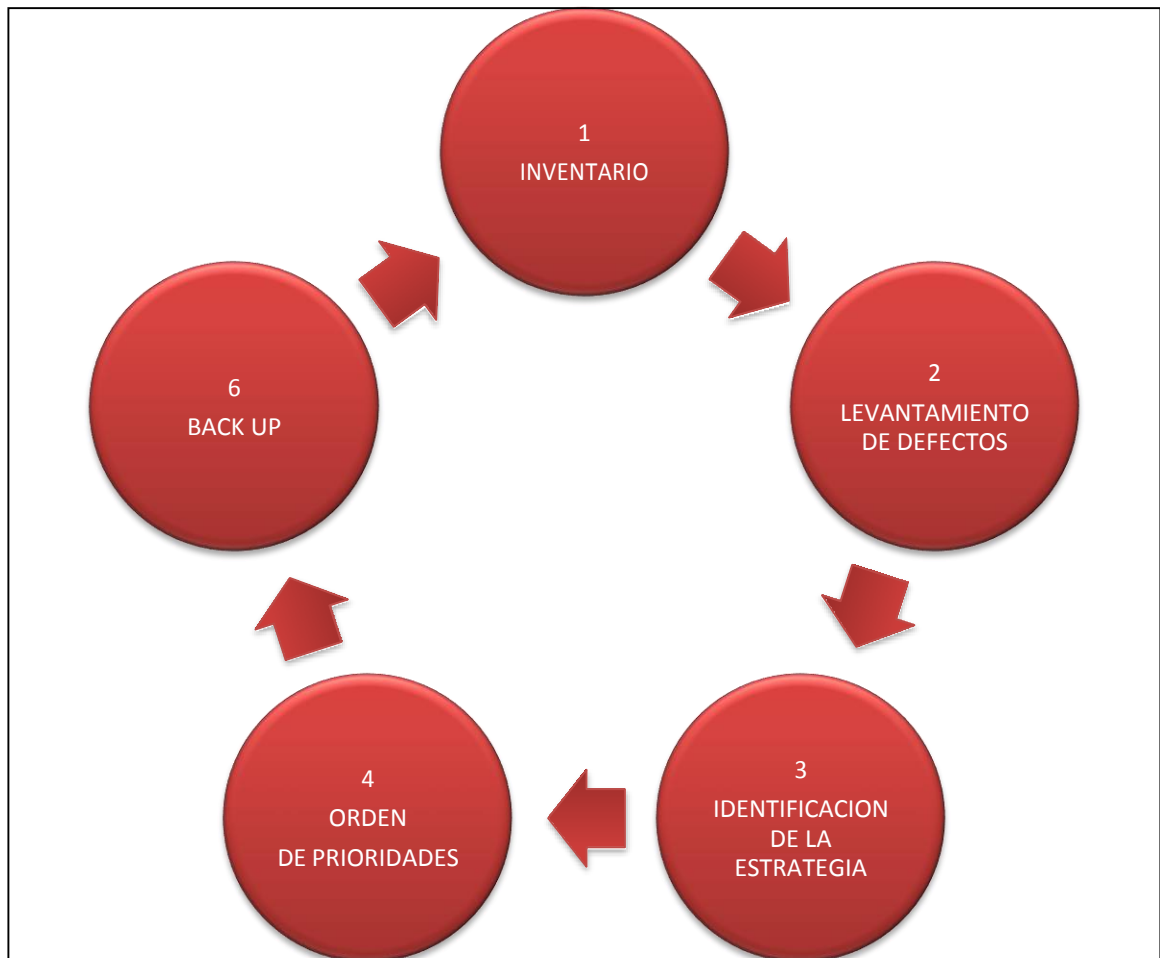
Fuente. Los Autores

5.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS SAO PAULO, BRASIL, BASADO EN EL MODELO TAVAKOLI

El modelo Tavakoli es un modelo de sistema de gestión que se desarrolla para identificar el estado del pavimento utilizado en las vías, para así poder identificar qué obra de mantenimiento vial necesita dicha vía o tramo vial; se priorizara por medio del modelo las necesidades de las vías para de tal modo poder intervenirlas. Cabe resaltar que este es uno de los modelos utilizado en la ciudad de Sao Paulo, Brasil, para la gestión de los pavimentos.(Gueller Virginia, 2012).

Este sistema además de comparar, priorizar y asignar recursos a las diferentes alternativas de mantenimiento, tiene como objetivo la optimización de los fondos y los recursos de mantenimiento, para garantizar una alta calidad en el suelo. Este modelo consta de seis módulos representados en el grafico 2.(Gueller Virginia, 2012) (véase la Figura 46).

Figura 46. Sistema de Gestion de Pavimentos Brasil



Fuente. Los Autores

5.4.1 El inventario. Este módulo está compuesto de un inventario urbano de vías, un inventario de vías sin pavimentar y de un inventario resumido de mantenimientos. En este módulo se busca identificar completamente la vía que se va a intervenir, por medio de la recopilación de datos relacionados con su geometría, estructura, funcionamiento y las características del material que la compone. Este inventario es actualizado cada cinco años.(Gueller Virginia, 2012)

5.4.2 Levantamiento de Defectos. Este sistema de gestión se basa en las normas de 062/2004-pro y 008/2003-pro del departamento nacional de infraestructura de transporte (DNIT), que son normas de inspección visual para identificar los deterioros que sufre la vía.(Gueller Virginia, 2012).

A continuación, en la tabla 10 se ilustran los defectos para los tipos de suelo (véase la Tabla 10).

Tabla 10. Defectos para Diferentes Tipos de Pisos

TIPOS DE PAVIMENTOS	DEFECTOS
Pavimento asfáltico	Aflojamiento de pista de rueda, desgaste u oxidación, exudación, coronas, piel de cocodrilo, fisuras transversales o longitudinales y agujeros.
Pavimento rígido	Alzamiento, escamación o delaminación, fisuras en mapa, fisuras longitudinales y transversales, escalón de junta, pérdida de sellante en las juntas.
Pavimento compuesto	Alza, pérdida de adherencia entre capas, fisura por reflexión de grietas, fisura por deslizamiento de masa, desgaste u oxidación.
Pavimento de bloques de concreto o paralelepípedo	El desplazamiento, los agujeros, el hundimiento de la pista de rueda, los receptáculos y la elevación.
Pavimento de grava	El hundimiento de la pista de rueda, coronas, agujeros, pérdida de agregado, deslizamientos, erosión superficial y formación de polvo.

Fuente. (Gueller Virginia, 2012)

Además de identificar los defectos de la vía, este módulo exige que se realice una evaluación del área afectada, para saber el porcentaje de afectación y la necesidad de la intervención.

5.4.3 Identificación de la Estrategia. El modelo sólo permite la selección de las estrategias adecuadas para el valor del índice de condición de pavimento (PCI) calculado con la norma ASTM D6433 (American Society of Testing Materials), en donde según el estado del pavimento se escoge una acción a ejecutar.(Ver tabla 5).(Gueller Virginia, 2012) (véase la Tabla 11).

Tabla 11. Intervenciones según el Estado del Pavimento

RANGO	CLASIFICACIÓN	SIGLA	ACCIÓN
86-100	Excelente	1A	NO HACER NADA
71-85	Muy bueno	A	MANT. RUTINA
56-70	Bueno	B	MANT. PREVENTIVO
41-55	Regular	C	ACCION DE EMERGENCIA
26-40	Malo	D	REHABILITACION
0-25	Muy malo	E	RECONSTRUCCION

Fuente. Los Autores

5.4.4 Orden de prioridades y objetivos. Se debe realizar una priorización de las vías o secciones de vía a intervenir por medio de un índice de prioridad que apoyara al índice de condición del pavimento para tener claro que vías necesitan una intervención urgente. (Gueller Virginia, 2012).

El índice de prioridad se calcula después de que todos los parámetros necesarios son incorporados en el inventario, el levantamiento de defectos, la identificación de los deterioros y la selección de la estrategia a utilizar. El índice de prioridad es calculado con la ayuda de la ecuación 1:(Gueller Virginia, 2012)

$$PI = \frac{1}{PCI} \times TF \times FC \times TR \times MF$$

Ecuación 1

Dónde:

PI = el índice de prioridad
PCI = Índice de condición del pavimento
TF = factor de tráfico
FC = factor de clasificación funcional
TR = factor de ruta
MF = factor de mantenimiento

Este cálculo es soportado por la Tabla 12, en donde se encuentran los parámetros necesarios para dicho calculo:

Tabla 12. Factores para Índice de Prioridad

Factor	Datos
PCI	PCI=100-total de puntos de defecto
TF	Tráfico Diario Medio (TDM) TDM = 0-99 TF= 10; TDM =100-499 TF= 20; TDM =500-999 TF= 30; TDM =1000-1999 TF= 40; TDM =2000-4999 TF= 50; TDM ≥ 5000 TF= 100;
FC	Arterial = 1,2 Colectora =1,1 Local = 1,0
TR	Tráfico= 1,0 Escolar=1,1
MF	$MF = \frac{1 + \text{índice de mantenimiento}}{10}$

Fuente:(Gueller Virginia, 2012)

5.5 OTROS MODELOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE SAO PABLO, BRASIL, PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS VÍAS A INTERVENIR

A continuación se presenta una breve explicación de otros modelos del sistema de gestión de Sao Paulo, Brasil, que se utilizan para la priorización de las vías pertinentes a intervenir.(Gueller Virginia, 2012)

5.5.1 Modelo DRNA. Este modelo es Desarrollado por el anterior Departamento Nacional de Carreteras, ahora llamado Departamento Nacional de Infraestructura de Transporte; en este modelo se presenta un índice de prioridad, que relaciona el índice de estado de la superficie y el costo de funcionamiento de los vehículos. La Tabla 8 muestra cómo se determina el índice de estado de la superficie en función del índice de severidad global y el Valor actual de la utilidad, además la Tabla 9 sirve para determinar el cociente de irregularidad y el volumen de tráfico diario medio.(Gueller Virginia, 2012) (véase las Tablas 13 y 14).

Tabla 13. Estados de la Superficie

concepto	IG G	VSA <2,5 2,5 <VSA <3 <3 VSA <3,5 3,5 <VSA <4				VSA > 4
excelente	<15	*	*	5	3	0
bueno	> 15 y <30	*	6	6	4	2
regulares +	> 30 y <60	8	7	7	5	4
Regular -	> 60 y <80	9	8	8	6	*
malo	> 80 y <120	10	9	9	*	*
malo	> 120	10	10	*	*	*

Fuente. (DRNA 1993)

Tabla 14. Cociente de Irregularidad

(Puntuaciones de CI / Km)	VDM <8000	8000 <VDM <12000	12000 <VDM <25000	VDM > 25000
CI <22	0	2	4	6
22 <CI <40	1	3	5	7
40 <CI <55	2	4	7	9
CI > 55	3	5	8	10

Fuente. (Gueller Virginia, 2012)

A través de los costos de funcionamiento y el estado de la superficie se determina el Índice de prioridades utilizando la ecuación 2:

$$IP = \frac{p_1 \cdot IC + p_2 \cdot IES}{p_1 + p_2}$$

Ecuación 2

Dónde:

"IP" es el índice de priorización

"IC" es el índice de costes de funcionamiento

"ESI" es el índice de estado de la superficie

"P1" y "P2" son los pesos de ponderación a asignar.

5.5.2 Modelo de priorización desarrollado por Bodi y Balbo. Este modelo fue desarrollado por el Departamento de Ingeniería de Transporte de la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo en conjunto con el Municipio de Sao Paulo entre 1991 y 1994.(Gueller Virginia, 2012).

En este modelo se utilizan el volumen medio diario y las partes de la vía a analizar. En el modelo utilizado en la ciudad de Sao Paulo sólo se le dio prioridad a las intervenciones plantas de refuerzo, como la utilización de capas de refuerzo con o sin molienda en los mantenimientos periódico. Según Bodi y Balbo, prioriza opciones optimizadas de mantenimiento 3, 4, 6, 7 y 8 que se enumeran en la Tabla 10.(Gueller Virginia, 2012).

Tabla 15. Mantenimiento Alternativo

número alternativo	Especificando el tipo de servicio mantenimiento
1	<u>Fresado (5 cm) + aglutinante (5 cm) + de la cubierta (5 cm)</u>
2	<u>Fresado (5 cm) + aglutinante (5 cm) + de la cubierta (4 cm)</u>
3	Carpeta con el refuerzo (5 cm) + de la cubierta (5 cm)
4	Carpeta con el refuerzo (5 cm) + de la cubierta (4 cm)
5	Fresado (3 cm) + de cubierta (5 cm)
6	Fresado (3 cm) + de la cubierta (4 cm)
7	Cubrir con refuerzo (5 cm)
8	Refuerzo con la cubierta (4 cm)
9	no intervenir

Fuente. (Bodi y Balbo 1998).

6. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN HDM 4 DE BOGOTÁ, COLOMBIA Y EL MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN TAVAKOLI DE SAO PAULO, BRASIL

Para entender cada uno de los sistemas de gestión de pavimentos tratados en este trabajo, se hace necesario la representación y estudio esquemático de los aspectos más relevantes entre los dos sistemas, los cuales son analizados y comparados por medio de una matriz comparativa (ver tabla 11), para identificar beneficios que el sistema de gestión utilizado en Colombia pueda obtener al analizar el proceder del sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo.

Los aspectos que tendrán lugar a comparación fueron seleccionados por su importancia en cada sistema y por su indispensabilidad siendo así los siguientes:

- Factor equivalente de carga
- Recopilación de datos
- Identificación del tipo de deterioro en la vía
- Asignación de la intervención requerida
- Priorización de vías

Es necesario aclarar que no son los únicos aspectos que trabajan en el funcionamiento de cada uno de los sistemas de gestión de pavimentos, pero sin duda son aquellos aspectos que bien manejados garantizan el éxito en el funcionamiento del Sistema (véase la Tabla 16).

Tabla 16. Comparación HDM 4 vs Tavakoli

SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS DE BOGOTÁ, COLOMBIA, BASADO EN EL MODELO DE PRIORIZACIÓN HDM 4	SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS DE SÃO PAULO, BRASIL, BASADO EN EL MODELO DE PRIORIZACIÓN TAVAKOLI
<p>Recopilación de datos:</p> <p>Esta recopilación es denominada comúnmente inventario ya que por medio de éste se realiza una recolección de características geométricas, daños superficiales, rugosidad, deflexiones, geo radar y tránsito de la vía. Este inventario será actualizado, con el fin de trabajar con una información traída al presente, anualmente, sin embargo esta información se actualiza con respecto a las vías ya intervenidas y no de la malla vial total.</p>	<p>Recopilación de datos:</p> <p>Este modelo abarca para el sistema de gestión de pavimentos los datos de un inventario compuesto por; la definición de la sección o tramo vial, la clasificación del tramo por su funcionalidad, características del pavimento como tipo, longitud y número de carriles, sistema de drenaje y tráfico. Este inventario será actualizado de manera periódica cada 5 años para que así la información con la cual se pretenda trabajar sea vigente, la información evaluada es sobre el total de vías de la malla vial.</p>
<p>Factor equivalente de carga:</p> <p>Se establece un eje patrón al cual se le asigna una carga determinada, la cual está definida como 8,2 Ton para el eje sencillo de llanta doble; debido a la gran cantidad de cargas que transitan en una vía.</p>	<p>Factor equivalente de carga:</p> <p>Al tratarse de un método empírico se toma como referencia el ensayo vial AASHTO para determinar un factor de carga que permita garantizar la resistencia de la vía a las elevadas cargas que esta recibe, definiendo el factor como 8,2 Ton.</p>
<p>Identificación del tipo de deterioro en la vía:</p> <p>Para identificar los diferentes deterioros presentes en una vía hay que tener en cuenta las patologías que se presentan en la misma, este modelo toma como referencia los manuales de inspección visual del INVIAS para los pavimentos rígidos y flexibles, ofreciendo al usuario los criterios para la identificación de los deterioros.</p>	<p>Identificación del tipo de deterioro en la vía:</p> <p>Teniendo como soporte las normas 062/2004-pro y 008/2003-pro del departamento nacional de infraestructura de transporte (DNIT) se realiza una identificación visual del deterioro de la vía, dando criterios para identificar que deterioro sufren la misma.</p>
<p>Asignación de la intervención requerida:</p> <p>Con el índice de condición del pavimento (PCI) de acuerdo a los criterios de la norma ASTM 6433-07 de la sección vial trabajada, asignar un color que representa el estado del pavimento, directamente asignado a una acción de mantenimiento.</p>	<p>Asignación de la intervención requerida:</p> <p>Ya calculado el índice de condición del pavimento (PCI) se localiza el estado del pavimento de acuerdo a los criterios de la norma ASTM 6433-07 para asignarle una sigla que representa la estrategia de mantenimiento o rehabilitación necesaria, según los criterios del modelo.</p>
<p>Priorización de vías:</p> <p>La priorización de las vías se realiza por medio de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de condición del pavimento - Movilidad <p>Red vial (vías indispensables ante situaciones de emergencia)</p>	<p>Priorización de vías:</p> <p>La priorización de las vías se realiza por medio de un índice de prioridades, el cual de manera cuantitativa nos dará claridad de cual vía o sección de vía es totalmente urgente intervenir, ya que en este análisis cuantitativo representado por una ecuación evalúa factores determinantes como lo son: índice de condición del pavimento, factor del tráfico, factor de la clasificación funcional, factor de ruta y factor de mantenimiento.</p>

Fuente. Los Autores

Como se observa en la matriz comparativa, la recopilación de datos es la base con la cual un sistema de gestión de pavimentos inicia el proceso de identificación de las vías que requieren algún tipo de mantenimiento. En este contexto las condiciones del proceso son similares en el modelo de TAVAKOLI y HDM4, sin embargo, la periodicidad propuesta en el modelo usado en Brasil demarca un criterio que puede ser muy útil, puesto que si bien las condiciones de análisis en el modelo aplicado en la ciudad de Bogotá, puede tener presencia en periodos inferiores a los 5 años, es claro que se pueden presentar debilidades cuando en algunos sectores se demora mucho más en realizar las actividades de levantamiento de la información, por lo que la base de datos no queda correctamente alimentada.

Luego de analizar el módulo de recopilación de datos del sistema de gestión de pavimentos de Bogotá, Colombia y del sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo, Brasil, se puede ver que en ambos casos la intención es tener completa claridad de la definición de la vía que se va a intervenir por medio de su visualización. Cuando se habla de definición se hace alusión a entender como está compuesta la vía, que diseño geométrico tiene, para qué función fue diseñada, que pavimento se utilizó para su construcción y que tráfico está presente en la vía.

A pesar de que la intención en ambos sistemas es la misma, se encontró una diferencia entre los dos; el sistema de gestión de Bogotá realiza una actualización anual de la información para que así mismo los encargados de ejercer el mantenimiento tengan información lo más vigente posible, mientras que el sistema de gestión de Brasil maneja una actualización cada 5 años de su base de datos. Una vez identificadas y caracterizadas las vías se deben evaluar los deterioros que estas presentan, se debe tener presente los criterios de la determinación de los tipos de las patologías que sufren los diferentes pavimentos que se colocan en las ciudades, así mismo al momento de evaluarlos se deben realizar diferentes tipos de mediciones para poder identificar la gravedad del deterioro.

Ambos sistemas realizan una identificación visual de los diferentes deterioros, pero aun así basan esta visualización en diferentes criterios proporcionados por manuales y normas. El sistema de gestión de pavimentos de Bogotá se basa en los criterios proporcionados por dos manuales del INVIAS, el primero de ellos llamado MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, muestra una explicación tanto teórica como visual de las diferentes patologías que este tipo de pavimento puede sufrir, y el segundo es llamado MANUAL PARA LA INSPECCION VISUAL DE PAVIMENTOS RIGIDOS, el cual igual que el primero presenta una amplia información acerca de los deterioros que este tipo de pavimento sufre. Ambos documentos se apoyan por medio de imágenes que ilustran las diferentes apariencias de los deterioros y parámetros que caracterizan cada uno. El mismo soporte visual utiliza el sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo, el cual se apoya en dos normas del departamento nacional de infraestructura de

transporte, la 062/2004-pro y la 008/2003-pro, una para pavimentos flexibles y la otra para pavimentos rígidos.

Al analizar estos diferentes manuales y normas se puede notar que la base del proceso de identificación de deterioros presenta grandes similitudes en el contexto de la administración de los pavimentos y la generación de los modelos de gestión, en donde lo único diferente es la documentación de soporte que utilizan.

Luego de identificar el deterioro de la vía se debe generar una priorización de la misma para asignar el mantenimiento requerido. En este caso los dos sistemas de gestión utilizan una mezcla cualitativa y cuantitativa por medio de una norma para la identificación del estado de la vía.

Ambos sistemas utilizan la norma ASTM 6433-07 titulada “Standard Practice for Roads and Parking Lots pavement Condition Index Surveys” para calcular el índice de condición del pavimento y poder evaluar su estado, (escala estándar del índice de condición del pavimento), que genera la identificación del estado de la vía.

El sistema de gestión de pavimentos de Bogotá además de utilizar el cálculo del índice de condición de pavimento, también utiliza otros dos parámetros para la priorización de las vías, el primero es la movilidad que tiene la vía, analizando que la demanda de movilidad recibe, sabiendo que a mayor demanda más necesario se hace, tener dicha vía en excelente condición y el segundo es el análisis de la importancia que tiene la vía para situaciones de emergencia.

El sistema de gestión de Brasil difiere con el de Bogotá, en que soporta el cálculo del índice de condición de pavimento, PCI, con el cálculo de un índice de prioridades, esto con el fin de detectar las vías en estado más crítico, ya que, si el índice de prioridades da como resultado 0,01, se debe realizar una acción inmediata, lo contrario pasa cuando el resultado es 0, ya que no es necesario ejercer ninguna acción.

Es así como se entiende que ambos sistemas utilizan el cálculo del índice de condición de pavimento para identificar el estado de deterioro de la vía, pero el sistema de gestión de pavimentos de Brasil se complementa por medio del cálculo del índice de prioridades.

Otro aspecto que tuvo lugar de comparación en este estudio fue la manera en que estos sistemas asignan la acción de mantenimiento necesaria.

El sistema de gestión de Bogotá asigna un color para cada estado del pavimento y así mismo asigna una acción para cada color. Por otro lado, el sistema de gestión de Sao Paulo en vez de asignar colores asigna una serie de siglas que se relacionan directamente con el índice de condición del pavimento (ver tabla 2).

Es así como se denota la diferente manera de asignar la acción necesaria, por un lado, se encuentran colores característicos y por el otro, siglas definidas; aun así, se debe mantener en claro que ambas maneras de asignar la acción van soportadas en el cálculo del índice de condición del pavimento.

En última instancia se decide comparar un factor presente en el diseño de las vías en pavimento, llamado factor de carga equivalente. Se decide comparar este parámetro debido a que su influencia en la capacidad de carga de una vía es muy importante; en ambos sistemas se encontró que diseñan para un factor de carga equivalente de 8.2 TON, lo cual muestra y da a entender que las vías de Sao Paulo y las de Bogotá son diseñadas para resistir la misma proporción de carga debido al factor equivalente de carga ya mencionado. Esto se debe a que ambas ciudades soportan sus diseños viales en la norma AASHTO-93.

7. LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS ANALIZADOS

Además de los aspectos comparados anteriormente y para ejercer una correcta aplicación de los sistemas de gestión de pavimentos, se debe tener claridad de hasta donde me permite trabajar cada sistema.

El sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo se ve limitado en la medida que el modelo TAVAKOLI solo puede ser utilizado en ciudades de bajo y medio porte, lo que indica que en ciudades como Tokio este sistema no tendría lugar de aplicación, además de esto el hecho de ser un modelo empírico, no ofrece las garantías necesarias y el factor a seguridad que ofrece el modelo mundial HDM-4 utilizado en la ciudad de Bogotá.

En cuanto al modelo HDM-4 utilizado por el sistema de gestión de pavimentos de Bogotá, la limitación se ve reflejada en que este sistema se aplica con una base de datos de solo las vías ya intervenidas, por lo que hay vías que quedan por fuera de este sistema y que igualmente necesitan intervención.

técnicamente no se ve reflejada ninguna limitación, pero aun así prácticamente la aplicación del sistema en general, se percibe de alguna forma con debilidades dado el mal estado de la malla vial y las características de las intervenciones que se hacen en las calles de la ciudad.

Tanto el sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo como el de Bogotá experimentan una limitación bastante común que es la de presupuesto, la cual reduce la capacidad para intervenir un numero amplio de vías por lo que se aplica una priorización para seleccionar las vías con estado más crítico y así poder darle un correcto uso al presupuesto disponible.

8. CONCLUSIONES

- La ciudad de Bogotá utiliza el modelo de priorización HDM-4, debido a que este modelo es direccionado por el Banco Mundial, por lo cual es un modelo de uso internacional soportado por investigaciones e investigadores que garantizan el total funcionamiento y la total confianza en el uso de este sistema.
- Sao Paulo utiliza el modelo de priorización TAVAKOLI, ya que este modelo es aplicable en ciudades de medio porte, aun así esta ciudad también utiliza el modelo internacional HDM-4 del banco mundial.
- La aplicación del sistema de gestión de Bogotá, se debe mejorar en función del inventario de la base de datos, apoyando la recopilación de datos anual de las vías ya intervenidas, con una recopilación de datos cada 5 años, similar al sistema de gestión de Sao Paulo, del total de las vías de la malla vial.
- El Sistema de Gestión de pavimentos de Sao Paulo, Brasil, basado en el modelo de priorización TAVAKOLI, es de mayor confiabilidad en cuanto a la priorización de las vías a intervenir, ya que además de priorizar basado en el índice de condición del pavimento, se apoya en un índice de prioridades, es decir que apoya su manera cualitativa de analizar las vías con un índice cuantitativo.
- El índice de prioridades utilizado en el sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo, se puede implementar en el sistema de gestión de pavimentos de Bogotá, ya que complementaria el módulo de priorización de las vías trabajando de la mano con el índice de condición del pavimento, sin embargo, el uso del modelo HDM4 sigue siendo muy útil, aunque puede mejorar los resultados con estrategias que garanticen la obtención de recursos para el mantenimiento.
- Debido a que el modelo TAVAKOLI se puede utilizar en ciudades de pequeño o medio tamaño, se puede concluir que este modelo es posible implementarlo en la ciudad de Bogotá.
- El sistema de gestión de pavimentos de Bogotá proporciona seguridad en los resultados debido a que está basado en un modelo de priorización mundial como lo es el HDM-4, mientras que el sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo está basado en un modelo de priorización empírico llamado TAVAKOLI.
- El sistema de gestión de Bogotá trabaja con información más vigente que el sistema de gestión de Sao Paulo, lo cual proporciona mayor confiabilidad de los resultados.
- El modulo referente a La identificación del deterioro es indispensable en ambos sistemas de gestión de pavimentos, ya su correcta implementación garantiza el éxito del sistema.

➤ Analizando en general los dos sistemas de gestión de pavimento, el sistema de Sao Paulo no se recomendaría implementar completamente en Bogotá, debido a su característica empírica.

9. RECOMENDACIONES

- Con respecto al sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo, Brasil, se recomienda complementar el tiempo en el que se actualiza la base de datos del inventario y tomar como referencia el tiempo de un año que es utilizado para las vías ya intervenidas, por el sistema de gestión de pavimentos de Bogotá, para garantizar vigencia en los datos; por otro lado el sistema de gestión de pavimentos de Bogotá maneja un inventario año de las vías intervenidas, es por esto que se debería incluir un estudio cada 5 años de la malla vial en su totalidad así como lo hace el modelo el sistema de gestión de pavimentos de Sao Paulo.
- Así mismo en el sistema de gestión de Bogotá se recomienda incluir el índice de prioridades para localizar con más detalle las vías que más afectan el funcionamiento de la malla vial de Bogotá y que necesitan una intervención inmediata.

BIBLIOGRAFÍA

Akishino, Jorge. 2008. Departamento de estradas de rodagem. [En línea] julio de 2008. [Citado el: 18 de octubre de 2017.]
http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/RHTemp/ConservacaodeRodovias_JorgeAkishino.pdf.

Alvarez , Jorge, Londoño , Cipriano y Betancur, Gabriel. s.f.. INVIAS. [En línea] s.f. [Citado el: 19 de Octubre de 2017.]
<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>.

Belda Enrique. 2003. [En línea] 2003.
<https://es.scribd.com/doc/68363296/Vialidad-Caracteristicas-geometricas-de-una-via>.

Camara de comercio del cemento. 2014. [En línea] 2014.

capital, El consejo de distrito. 1999. alcaldia de bogotá. [En línea] 1999. [Citado el: 19 de octubre de 2017.]
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=608>.

Cooperacion Andina de Fomento. 2010. *Mantenimiento vial.* s.l. : CAF, 2010. págs. 9-11.

Gueller Virginia. 2012. 2012.

Instituto Boliviano del cemento y hormigón. 2006. *diseño de pavimentos - AASHTO 93.* 2006.

Instituto de desarrollo urbano. gobierno de bogota. [En línea] [Citado el: 19 de octubre de 2017.]
http://www.old.gobiernobogota.gov.co/Documentacion/Escuela_de_Gobierno/26.Conservacion%20Estrategica%20del%20Subsistema%20Vial%2020-5-16%20Dra.%20Yaneth%20Mantilla.pdf.

Instituto nacional de vías. 2010. invias. [En línea] 2010. [Citado el: 18 de octubre de 2017.] <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/986-guia-metodologica-para-el-diseno-de-obras-de-rehabilitacion-de-pavimentos-asfalticos-de-carreteras>.

IPR, Directoria de planejamento e Pesquisa/. 2004. Pavimento Rígido - Procedimiento. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. [En línea] 25 de Noviembre de 2004. [Citado el: 18 de Octubre de 2017.] http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit062_2004_pro.pdf.

IPR, Diretoria de Planejamento e Pesquisa /. 2003. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de avimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimiento. *Departamento Nacional de Infraestrutura*. [En línea] 06 de Agosto de 2003. [Citado el: 18 de Octubre de 2017.] http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit008_2003_pro.pdf.

La corporación Andina de Fomento, el Instituto de Desarrollo Urbano, la Universidad Nacional de Colombia. 2012. Guia para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C. [En línea] 2012.

—. *Guia para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C.* Bogotá, Colombia : s.n. págs. 28-30.

M.Y Shahim. 2012. [En línea] 2012.

Miler , John. y Belliger , William. 2003. Distress identification manual. [En línea] junio de 2003. [Citado el: 19 de octubre de 2017.] <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWVpbnxp bmdlcGF2fGd4OjY4YzdmNjBmYzRjMDQ5OTk>.

Montejo Alfonso, Ing. 2002. *Ingenieria de pavimentos para carreteras tomo I.* Bogota D.C : s.n., 2002. pág. 1. Vol. Agora editores.

Posada, John. 2005. Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras con el HDM-4. *Biblioteca digita universidad nacional de colombia*. [En línea] 2005. [Citado el: 18 de Octubre de 2017.] http://www.bdigital.unal.edu.co/12214/6/9789588256160_1.pdf.

Rafael, OSUNA. 2008. Apache. [En línea] 2008. [Citado el: 19 de Octubre de 2017.] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2547/0/sunaruiz.pdf?sequence=1>.

Rios Jose Gonzalo y Martinez Ivan Dario, ings. 2012. Sistema de Administracion de Pavimentos sobre la ciudad de Bogota. [En línea] 2012.

—. **2012.** Sistema de Administracion de Pavimentos sobre la ciudad de Bogota. [En línea] 2012.

—. *Sistema de Administracion de Pavimentos sobre la ciudad de Bogota.*

Ríos Marín, José Gonzalo y Martínez Arias, Iván Darío . s.f.. *Sistema de administración de pavimentos sobre la ciudad de Bogotá.* Bogotá, Colombia : s.n., s.f. págs. 2-3.

Sanchez Fernando, ing. 2006. Mantenimiento rutinario de vias pavimentadas. [En línea] 2006.

<https://mail.google.com/mail/u/0/#search/tesis+y+avances/15e02b5be77ba16c?projector=1>.

—. Mantenimiento rutinario de vias pavimentadas. [En línea]

<https://mail.google.com/mail/u/0/#search/tesis+y+avances/15e02b5be77ba16c?projector=1>.

Sanchez Fernando, ingeniero. 2009. [En línea] 2009.

http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%201.pdf.

—. [En línea]

http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%201.pdf.

Sefarini, Alonzo. 2005. Universidade de passo fundo. [En línea] 2005. [Citado el: 18 de octubre de 2017.] <http://ppgeng.upf.br/download/2003LausonSerafini.pdf>.

Technology and Management. 2000. Instituto de desarrollo urbano. [En línea] 2000. [Citado el: 18 de octubre de 2017.]

<https://www.idu.gov.co/web/content/7451/IDU-834-1999.pdf>.

Universidad Nacional de Colombia sede Bogota. invias. 2006. [En línea] 2006.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>.

Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. INVIAS. 2006. Invias. [En línea] octubre de 2006. [Citado el: 18 de octubre de 2017.]

<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>.

—. **2006.** Invias. [En línea] octubre de 2006. [Citado el: 18 de octubre de 2017.]

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>.

Velasquez , Luis. 2002. Pavement Condition INDEX (PCI). *Máster Sergio J. Navarro Hudiel*. [En línea] 2002. [Citado el: 19 de octubre de 2017.]
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>.

Velasquez, Jorge y Vera, Edgar. 2013. Sistema De Administración De Pavimentos Colombiano SAPCOL. *Universidad Militar*. [En línea] 2013. [Citado el: 19 de octubre de 2017.]
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10845/1/VeraRodriguezEdgar2013.pdf>.