

“ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD EN LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ALGUNOS TRAMOS DE VÍAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA OPTIMIZAR SU MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN”.



TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN

I.C. IVÁN DARÍO MARTÍNEZ ARIAS

**UNIVERSIDAD MILITAR “NUEVA GRANADA”
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ, D.C.
2011**

“ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD EN LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ALGUNOS TRAMOS DE VÍAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA OPTIMIZAR SU MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN”.



I.C. IVÁN DARÍO MARTÍNEZ ARIAS

INFORME FINAL COMO AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN, PRESENTADO EN REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

TUTOR UMNG: ING. JOSÉ GONZALO RÍOS MARÍN

**UNIVERSIDAD MILITAR “NUEVA GRANADA”
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ, D.C.
2011**

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

Mayor General (R) EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL
Rector

Brigadier General (R) ALBERTO BRAVO SILVA
Vicerrector General

Dra. MARTHA LUCÍA BAHAMÓN JARA
Vicerrector Académico

Mayor General (R) EDGAR CEBALLOS MENDOZA
Vicerrector Administrativo

Ing. D. Alexander Garrido R. M.Sc.
Director Postgrados de Ingeniería

Bogotá, D.C. 01 de Agosto de 2011

Señores
COMITÉ DE OPCIÓN DE GRADO
Facultad de Ingeniería
Especialización en Ingeniería de Pavimentos
Universidad Militar Nueva Granada Ciudad

Ref.: presentación Informe Final

En cumplimiento a las disposiciones reglamentarias de la facultad, me permito presentar el informe final del proyecto de grado denominado: **“ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD EN LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ALGUNOS TRAMOS DE VÍAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA OPTIMIZAR SU MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN.”**. El proyecto se desarrolló mediante la modalidad **“Auxiliar de Investigación”**, para el grupo ROMA, adscrito al programa de Ingeniería Civil, al cual le fue aprobado por la Vicerrectoría de Investigaciones el **POST ING 480** para su ejecución. El tutor y asesor metodológico del proyecto es el Ingeniero José Gonzalo Ríos Marín, quien es Líder del grupo de investigación y además Director del programa de Ingeniería Civil.

Atentamente,

Iván Darío Martínez Arias
Código: 6100065

Ing. José Gonzalo Ríos Marín
Tutor UMNG

Observaciones:

APROBACIÓN

El informe final como auxiliar de investigación al proyecto denominado “**ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD EN LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ALGUNOS TRAMOS DE VÍAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA OPTIMIZAR SU MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN**”, presentado por Iván Darío Martínez Arias en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, fue aprobado.

JOSÉ GONZÁLO RÍOS MARÍN.
I.C. M.Sc – Investigador Principal
Tutor del Proyecto
Líder Grupo de Investigación “**Roma**”

Bogotá, D.C. Agosto de 2011

**POR MI DIOS MI
PATRIA Y MI
HOGAR.....**

Iván Casanare....

AGRADECIMIENTOS

REALMENTE NO SON MUCHAS LAS PERSONAS QUE DEBO NOMBRAR COMO AGRADECIMIENTO EN LA OBTENCIÓN DE ESTE NUEVO LOGRO EN MI VIDA; UNO PENSARÍA QUE DETRÁS DEL DESARROLLO DE UN PROYECTO DE GRADO COMO ESPECIALISTA, ESTÁN MUCHAS PERSONAS, PERO ESTE NO ES EL CASO.

PRIMERO QUE TODO AGRADEZCO A PAPÁ DIOS POR DARME LA OPORTUNIDAD DE VIVIR, DE TENER SALUD PARA PODER ENFRENTARME CADA DÍA A LOS RETOS QUE ESTE MUNDO TAN COMPLEJO ME PLANTEA, EN UN SEGUNDO RENGLÓN DEFINITIVAMENTE, NO PUEDO OLVIDAR A MAMÁ, MUJER LUCHADORA INCANSABLE QUE ME ACOMPAÑA DONDE QUIERA QUE YO VAYA, QUE SIEMPRE ME HA APOYADO EN LO ECONÓMICO Y EN LO EMOCIONAL PARA SEGUIR ADELANTE CON MIS PRETENSIONES COMO PROFESIONAL, SIN MI MADRE QUERIDA, HOY NO ESTARÍA ESCRIBIENDO ESTA DEDICATORIA, HOY NO SERÍA UN PROFESIONAL DE LA INGENIERÍA CIVIL Y MUCHO MENOS HABRÍA CURSADO ESTA ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS, POR LO ANTERIOR, ES MAMÁ QUIEN SE DEBE LLEVAR TODOS LOS HONORES, ES A ELLA A QUIEN DEBEMOS FESTEJAR, GRACIAS A TI MAMITA HOY MÁS QUE AYÉR ESTOY PREPARADO PARA SERVIR A MI GENTE.

POR OTRA PARTE Y PARA TERMINAR, EL ULTIMO AGRADECIMIENTO, ES PARA EL INGENIERO GONZALO RÍOS "**CHALO RÍOS**" COMO DE CONFIANZA LE DIGO, EL CON SU PACIENCIA Y SABIDURÍA, HA SABIDO GUIARME EN CADA PASO QUE SE DIO EN EL DESARROLLO DE ESTE PROYECTO Y A NIVEL PERSONAL ES MI AMIGO, MI COMPAÑERO, MI GUÍA DESDE EL DÍA EN QUE ME GRADUÉ COMO INGENIERO CIVIL.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.1 ANTECEDENTES	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3 JUSTIFICACIÓN	20
1.4 OBJETIVOS	21
<i>1.4.1 Objetivo General</i>	<i>21</i>
<i>1.4.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>21</i>
1.5 DELIMITACIÓN O ALCANCE	22
<i>1.5.1 Geográfica</i>	<i>22</i>
<i>1.5.2 Cronológica.....</i>	<i>24</i>
<i>1.5.3 Conceptual.....</i>	<i>24</i>
1.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	25
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	30
2.1 LOS SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA Y LA DINÁMICA DEL DESARROLLO SOCIAL	30
2.2 QUE SE ENTIENDE POR INFRAESTRUCTURA VIAL.....	30
2.3 LOS PAVIMENTOS COMO ELEMENTO BÁSICO DE LA INF. VIAL	31
2.4 ALGO DE HISTORIA ACERCA DE LOS PAVIMENTOS DE SUS SISTEMAS DE GESTIÓN	32
2.5 LOS PAVIMENTOS INSERTOS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE	35
2.6 TIPOS DE PAVIMENTOS	35
2.7 LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS: EL PRIME PASO	37
2.8 LOS PAVIMENTOS Y SU NECESIDAD DE CONSERVACIÓN	38
2.9 CONCEPTOS BÁSICOS ACERCA DE LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS	39
2.10 GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL.....	41
2.11 CAUSAS DEL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS	42
2.12 PLAN DE ACCIÓN	43

2.13	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	44
2.14	REGULARIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO	45
2.15	DAÑOS EN EL PAVIMENTO - AUSCULTACIÓN	45
2.16	DRENAJE	48
2.16.1	<i>Sistema de Drenaje</i>	48
2.16.2	<i>Drenaje Superficial</i>	48
2.16.3	<i>Drenaje Subterráneo</i>	48
2.16.4	<i>Importancia del Drenaje</i>	49
2.17	DIAGNÓSTICO ESTABLECIMIENTO DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	49
2.18	MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS	51
2.18.1	<i>Modelos de Deterioro de Pavimentos Asfálticos (HDM III)</i>	51
2.18.2	<i>Evaluación Económica en HDM</i>	56
3.	CALIDAD	57
3.1	SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	57
3.2	PROCEDIMIENTO DE CALIDAD	57
3.2.1	<i>Establecimiento de un procedimiento de calidad</i>	57
3.2.1.1	<i>Procedimiento de Calidad en la Admón. de Pavimentos</i>	58
3.3	PROCESO DE CALIDAD ENFOQUE ADMINISTRATIVO DE PAVIMENTOS	59
3.4	PROCEDIMIENTOS DE CHEQUEO REVISIÓN E INSPECCIÓN EN PROYECTOS DE OBRA CIVIL	61
4.	RESÚLTADOS DE ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO SOBRE TRAMOS DE VÍA EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY BOGOTÁ D.C.	63
4.1	PROCEDIMIENTO EJECUTADO EN CAMPO	63
4.2	DATOS Y CÁLCULOS	68
4.3	MEDICIONES DE DEFLEXIONES	70
4.3.1	<i>Resultados del análisis estadístico</i>	71
5.	IDU Y SU SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS IMPLEMENTADO	76
5.1	IDU	76
5.2	POT – BOGOTÁ D.C.	76
5.2.1	<i>El Sistema Vial</i>	77
5.2.1.1	<i>Objetivos del IDU frente al Sistema Vial</i>	77

5.3 MANTENIMIENTO MALLA VIAL BOGOTÁ	78
5.3.1 <i>Distritos de Conservación</i>	79
5.3.2 <i>Características de las Zonas escogidas como Distritos</i>	81
5.3.3 <i>Beneficios esperados con los Distritos de Conservación</i>	81
5.4 INVENTARIO MALLA VIAL DE BOGOTÁ	81
5.5 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS A IMPLEMENTAR POR EL IDU	84
5.5.1 <i>RD (Deterioro de la Carretera)</i>	85
5.5.2 <i>WE (Efecto de las Obras)</i>	85
5.5.3 <i>RUE (Efectos para los Usuarios)</i>	86
5.5.4 <i>SEE (Efectos Sociales y Medioambientales)</i>	86
5.5.5 <i>Análisis Económico</i>	87
5.6 IMPLEMENTACIÓN	87
5.6.1 <i>Módulos del Sistema de Gestión Actual</i>	88
5.6.2 <i>Captura de Información</i>	88
5.6.3 <i>Parámetros Generales</i>	88
5.6.4 <i>Deterioro</i>	89
5.6.5 <i>Intervenciones Requeridas</i>	89
5.6.6 <i>Generación de alternativas, Evaluación Económica y Optimización</i>	89
5.6.7 <i>Espacio Público</i>	89
5.6.8 <i>Puentes</i>	89
5.6.9 <i>Reportes</i>	89
5.7 MÓDULOS DEL MODELO HDM 4 VS MÓDULOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN IDU	90
5.7.1 <i>Módulo de deterioro</i>	90
5.7.2 <i>Módulo de Efecto de las Obras</i>	91
5.7.3 <i>Módulo de Efecto para los usuarios</i>	91
5.7.4 <i>Módulo de Efectos Sociales y Medioambientales</i>	91
5.7.5 <i>Módulo de análisis económico</i>	91
5.7.6 <i>Módulo de modelos de priorización</i>	91
5.8 PROYECCIONES PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN	92

5.8.1 Efectos para los usuarios	92
5.8.2 Modelos de Priorización	92
5.8.3 Análisis Económico.....	93
5.8.4 Efectos Sociales y Medioambientales.....	93
5.9 METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO DE UN PAVIMENTO EN LA MALLA VIAL DE BOGOTÁ	93
5.9.1 Evaluación Superficial.....	93
5.9.2 Levantamiento de Fallas y Cálculo del Pavement Condition Index (PCI)....	95
5.9.3 Consideraciones que se deben tener en cuenta.....	95
5.9.4 Estudio de Tránsito	95
5.9.5 Evaluación Estructural	95
5.9.6 Condición del Pavimento	98
6. PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS EN EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA MALLA VIAL LOCAL DE KENNEDY	111
6.1 ARCHIVOS FOTOGRÁFICOS	111
6.2 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EVALUAR LAS VÍAS POR LOS CONTRATISTAS	113
6.2.1 Evaluación	113
6.2.2 Valoración de daños y reparación	114
6. PROPUESTA PLAN DE CONSERVACIÓN PREVENTIVO	115
7.1 MANTENIMIENTO RUTINARIO	115
7.1.1 Rocería	115
7.1.2 Alcantarillas.....	115
7.1.3 Reconstrucción de Obras de Drenaje.....	115
7.1.4 Construcción de Obras de Protección u Drenajes Menores	115
7.1.5 Reparación de Baches en afirmado y/o Parcheo en pavimento	116
7.1.6 Riegos de Vigorización del Pavimento.....	116
7.2 MANTENIMIENTO PERIÓDICO	116
8. CONCLUSIONES	117
9. BIBLIOGRAFÍA.....	120
ANEXOS	121

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Barrio Alquería La Fragua.....22
Figura 2	Barrio Castilla y Barrio Bavaria23
Figura 3	Barrio Mandalay23
Figura 4	Algunos elementos de la Infraestructura vial.....31
Figura 5	Vía Apia, y su corte típico (Ashworth, 1979)33
Figura 6	Corte de camino de diseño34
Figura 7	Sección y transversal de pavimento rígido.....36
Figura 8	<i>Sección de pavimento rígido de variedades JPCP, JRCP, Y CRCP</i> .36
Figura 9	<i>Sección transversal de pavimento flexible</i>37
Figura 10	Ejemplo de secciones transversales de pavimento compuesto ...37
Figura 11	Esquema de deterioro de un pavimento en el tiempo (Schuessler, 1992).....39
Figura 12	Diagrama simplificado de principales actividades que componen un sistema de gestión de pavimentos, [Haas, 1993].....40
Figura 13	Proceso de selección para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento43
Figura 14	Interacción entre los distintos modelos de deterioro para predecir la progresión de la irregularidad superficial en HDM-III54
Figura 15	Centro de gravedad y correcta posición la Viga Benkelman64
Figura 16	Ubicación de la Viga Benkelman con la ayuda de una varilla65
Figura 17	Condición estructural de un buen pavimento75
Figura 18	Condición estructural de un mal pavimento75
Figura 19	Preclasificación estructural en la condición estructural de un pavimento 102
Figura 20	Diagrama para diagnóstico de pavimentos flexibles 110

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Tramos para ensayo de Viga Benkelman	22
Tabla 2	Características de las irregularidades de un pavimento	45
Tabla 3	Clasificación general de los deterioros de los pavimentos asfálticos	46
Tabla 4	Comparación de los niveles de gravedad de algunos tipos de deterioros de pavimentos asfálticos según diferentes agencias ..	47
Tabla 5	Características de los distritos de conservación	81
Tabla 6	Rangos del PCI.....	94
Tabla 7	Preclasificación por estado superficial	100
Tabla 8	Calificación condición del pavimento	103
Tabla 9	Código para clasificación estructural	104
Tabla 10	Código para clasificación superficial	104
Tabla 11	Códigos de CLASE	105
Tabla 12	Clasificación de las actividades por color.....	106

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Relación de tramos viales analizados	70
Cuadro 2	Resumen de resultados por barrio	71
Cuadro 3	Resultados estadísticos de deflexiones	72
Cuadro 4	Resultados estadísticos de radio de curvatura	72
Cuadro 5	Resumen de resultados por tramo	73
Cuadro 6	Matriz de clasificación e intervención para pavimentos flexibles	109
Cuadro 7	Definición de los estados de condición	114
Cuadro 8	Alcance de los estados de condición.	114

RESUMEN

El trabajo que a continuación se presenta, informa sobre las actividades que se cumplieron como auxiliar de investigación dentro del grupo **Roma – Infraestructura Vial y Transporte** del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada en el **“ESTUDIO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD EN LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN ALGUNOS TRAMOS DE VÍAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, PARA OPTIMIZAR SU MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN”**, donde se participó de manera activa en tareas técnicas y conceptuales. En el trabajo se presentan los conceptos básicos que tienen que ver con el área de la Administración de Pavimentos, calidad enfocada a este tipo de proyectos de obras civiles; también se presentan los resultados de un “Análisis Deflectométrico por medio de la Viga Benkelman sobre algunos tramos de vía en la localidad de Kennedy” con el fin de observar su evolución una vez fueron rehabilitados y puestos nuevamente en servicio, verificando así la operación del actual sistema de Administración de Pavimentos que tiene el Instituto de Desarrollo Urbano **IDU** para mantener en **“ÓPTIMAS CONDICIONES”** toda la malla vial de la ciudad de Bogotá; de igual forma, se presenta el Sistema de Administración de Pavimentos implementado por el IDU para la malla vial de Bogotá D.C. y finalmente se muestra el desarrollo y/o los procedimientos que se han llevado a cabo en el mantenimiento y rehabilitación de la malla vial de la localidad de Kennedy. Para lo anterior, se trabajaron documentos importantes como planeación para la conservación de la malla vial local del IDU, el plan de sostenibilidad de la malla vial local del IDU, normas de ensayo INV- E 2007, toda la documentación presentada por el IDU representando su actual Sistema de Administración de Pavimentos que opera en la ciudad de Bogotá D.C., la Página Web de IDU, el libro Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, de Hernán de Solminihac T, entre otros.

INTRODUCCIÓN

La importancia de fomentar la conservación y el mejoramiento de la red vial en la ciudad de Bogotá D.C., resulta de la necesidad que tienen las autoridades y la sociedad de impulsar el crecimiento y el desarrollo de las diferentes localidades de la capital del país. Se debe mencionar que las vías son una condición necesaria para el desarrollo económico y social de una región o nación, ya que sirven de enlace en el **intercambio de bienes y personas**, así como de la **cultura**, dando con ello origen a las relaciones de producción y a las relaciones sociales necesarias para el progreso.

Al contar con mejores vías de comunicación, las regiones, localidades, municipios, departamentos, etc. tendrán mayores posibilidades para integrarse a los mercados, favoreciendo sus ventajas comparativas, lo que contribuirá a fortalecer su productividad y aumentar su capacidad de desarrollo.

El que un país o como en este caso, la ciudad más importante de Colombia Bogotá D.C., cuente con la suficiente infraestructura vial le facilitará alcanzar mayor eficiencia en la movilidad de sus productos, generando en su interior grandes beneficios a nivel económico y social.

Al existir una adecuada red vial, la distancia entre las regiones y localidades se reduce, generándose una disminución en el costo del transporte. En consecuencia, habrá mejor competencia regional y local.

Lo anterior, **necesariamente debe** ir ligado a un adecuado sistema de Administración Vial, que logre una adecuada mantención en el tiempo de antedicha RED VIAL O MALLA VIAL, logrando optimizar los recursos que se invierten para este tipo de proyectos, así como la eficiencia y funcionalidad de las vías en mención.

El presente informe final de opción de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, en la modalidad de Auxiliar de Investigación del Grupo “**Roma**” adscrito al programa de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, se refiere al estudio de los procedimientos de calidad y Sistema de Administración para los pavimentos de la malla vial en la ciudad de Bogotá D.C. haciendo énfasis sobre la red vial de la localidad de Kennedy.

Las actividades de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras de pavimento se van haciendo cada vez más importantes, a medida que ellas se deterioran con el tiempo y con el tránsito. **El énfasis en la administración de pavimentos** es la preservación de la inversión inicial mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la vida del pavimento. De particular interés para el ente administrador es establecer la oportunidad de la aplicación de un tratamiento particular de mantenimiento o rehabilitación en función de la condición del pavimento.

El mantenimiento y la rehabilitación de un pavimento cubre un rango muy amplio de actuaciones, que varían desde la simple corrección de defectos superficiales para mejorar la calidad de la circulación vehicular, hasta las operaciones de reconstrucción, destinadas a recuperar totalmente la capacidad estructural de la calzada.”¹

Este tema se origina dentro del grupo de Investigación “**ROMA**”, con el propósito de dar continuidad a un proyecto “Macro” que se diseñó a comienzos del 2007 dentro de una línea de Investigación denominada **ADMINISTRACIÓN VÍAL** y que busca en un futuro no muy lejano elaborar un modelo que garantice la eficiencia y funcionalidad de las vías en el país a través de una política de calidad y rehabilitación.

¹ Guía Metodológica para el diseño de Obras de Rehabilitación, De pavimentos Asfálticos de Carreteras, (INVIAS).

Como antecedentes, se tienen los resultados finales de un proyecto denominado “ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO A TRAVÉS DE LA VIGA BENKELMAN EN TRAMOS DE VÍAS SELECCIONADOS EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY” que buscaba realizar un análisis estructural de algunas vías sobre la localidad de Kennedy en Bogotá D.C. y que también serán tratadas dentro de esta investigación.

La decisión de analizar las vías de la localidad de Kennedy nació de la necesidad que tuvo en su momento la Universidad Militar Nueva Granada representada por su Asociación de Ingenieros “ASICUM”, de realizar la Interventoría a todos los procedimientos de Construcción, Rehabilitación y Mantenimiento para algunos tramos de la Red Vial de este sector de la ciudad.

Para efectos metodológicos, en el aspecto de técnico de ingeniería se siguió la base teórica que presenta el Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, donde da a conocer el sistema de Administración de Pavimentos que funciona en la ciudad además de varios conceptos que se encuentran instaurados en el libro Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, de Hernán de Solminihac T; para la parte formal, se atendieron las recomendaciones de la norma ICONTEC, NTC-1486, **“Presentación de Tesis – Trabajos de Grado y otros Proyectos de Investigación”** en su sexta actualización.

Este informe final, consta de siete capítulos:

1. Descripción y formulación del problema
2. Fundamentación teórica
3. Calidad
4. Análisis Deflectométrico **“Viga Benkelman”**
5. IDU y su Sistema de Administración de Pavimentos implementado
6. Procedimientos desarrollados en el mantenimiento y rehabilitación de la malla vial local de Kennedy
7. Propuesta plan de conservación preventivo

1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo, se desarrollarán los antecedentes al desarrollo del proyecto, justificando la intervención del estudiante, planteando los objetivos y dejando en claro la delimitación y el alcance del proyecto.

1.1 ANTECEDENTES

El tema de este proyecto es originado dentro del grupo de Investigación “ROMA”, con el propósito de dar continuidad a un proyecto “Macro” que se diseñó a comienzos del 2007 dentro de una línea de Investigación denominada **ADMINISTRACIÓN VÍAL** y que busca en un futuro no muy lejano elaborar un modelo que garantice la eficiencia y funcionalidad de las vías en el país a través de una política de calidad y rehabilitación. En Junio de 2009, se presentaron los resultados finales de un proyecto denominado “ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO A TRAVÉS DE LA VIGA BENKELMAN EN TRAMOS DE VÍAS SELECCIONADOS EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY” que buscaba realizar un análisis estructural de algunas vías que también serán tratadas dentro de esta investigación. La información recopilada por dicho análisis nos servirá de apoyo para todas las actividades que emprenderemos con este proyecto. Es importante aclarar que la decisión de analizar las vías de la localidad de Kennedy nació de la necesidad que tuvo en su momento la Universidad militar Nueva Granada representada por su Asociación de Ingenieros “ASICUM”, de realizar la Interventoría a todos los procedimientos de Construcción, Rehabilitación y Mantenimiento para algunos tramos de la Red Vial de este sector de la ciudad.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras del pavimento son de vital importancia a lo largo de su vida útil, ya que éstas se van deteriorando con el tiempo y con el tránsito. El objeto de la administración de pavimentos es la preservación de la inversión inicial mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la vida del pavimento. El mantenimiento y rehabilitación cubren un rango de actividades bastante extenso, que varía desde la corrección de defectos superficiales para mejorar la calidad de la circulación vehicular, hasta las operaciones de reconstrucciones, destinadas a recuperar totalmente la capacidad estructural de la calzada. Debe considerarse que un Sistema de Administración de Pavimentos, como todo sistema de administración, está fundamentado en un ciclo que comprende las etapas siguientes:

- Planeación.
- Programación.
- Ejecución y Control.
- Evaluación de Resultados / Retroalimentación.

El Sistema de Administración de Mantenimiento Vial debe tener implícito un Análisis de Factibilidad Técnico - Económico - Financiero y Ambiental, para evaluar, lo más aproximado posible, el monto de las acciones que se requieran para el mejoramiento del pavimento de las vías. Las acciones propuestas para esta área específica están enfocadas a preservar las inversiones en la infraestructura vial y reducir los costos de operación de los vehículos. No existen formulas o software que proporcionen soluciones exactas o satisfactorias a cualquier situación que deba enfrentar un diseñador, por ésto el estudio de dichos problemas requiere una combinación de análisis y criterio, junto con algunos parámetros establecidos por las entidades relacionadas con el tema, que

ayudaran al ingeniero a encontrar la mejor solución a cada inconveniente; por tal motivo este proyecto de investigación tiene como fin analizar la calidad de cada uno de estos procesos y el efectivo cumplimiento de los parámetros establecidos por entidades como el INVIAS o el IDU para el tema de la administración vial.

En concordancia con lo anterior, por el alto desarrollo urbanístico de la ciudad y el daño ocasionado en las vías por la temporada invernal, es necesario mantener en óptimas condiciones de calidad la malla vial de Bogotá, debido a esto es necesario realizar un estudio a los procedimientos de calidad en la administración de las vías que estén en asfalto en caliente inicialmente en la localidad de Kennedy, teniendo en cuenta que la infraestructura vial es fundamental para el desarrollo del comercio, la industria y la economía en general de cualquier ciudad. En consecuencia, el mal estado de las vías genera graves problemas de orden económico e interfiere en el curso normal de las actividades de sus habitantes, por lo que es de vital importancia su eficiente administración. Por lo anterior, es necesario preguntarnos:

¿Qué tipo de procedimientos de calidad se están llevando a cabo en la Administración de Pavimentos flexibles sobre la malla vial de la localidad de Kennedy en la ciudad de Bogotá D.C. que optimicen su mantenimiento y rehabilitación? Y ¿bajo qué sistema de administración de Pavimentos se están desarrollando?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se busca determinar y analizar la información obtenida con relación al manejo de la administración de pavimentos tanto a nivel local y nacional, con el fin de emitir un juicio de tipo técnico, que permita mejorar y optimizar los estándares de calidad utilizados hasta hoy para administrar los pavimentos flexibles a lo largo y ancho de nuestro país, por las entidades encargadas. El desarrollo de este proyecto beneficiará en primer lugar a todos

aquellos entes locales y nacionales encargados de la regulación de las vías construidas en pavimento flexible; el informe final les servirá como fuente de apoyo para mejorar todos los procedimientos que están utilizando para preservar y administrar este tipo de pavimentos. Por otra parte, se busca como en todo proyecto de Ingeniería civil, beneficiar a la sociedad que en últimas son los principales implicados en el tema, pues son los que en el día a día utilizan el sistema vial esperando siempre encontrarlo en óptimas condiciones, que permita un adecuado desarrollo de tipo socioeconómico en general.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Estudiar los procedimientos que permiten garantizar la eficiencia y funcionalidad de las vías en la ciudad de Bogotá, especialmente en la localidad de Kennedy, a través de una política de calidad y rehabilitación.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar información normativa y conceptual tanto nacional como internacional sobre la administración vial.
2. Seleccionar, monitorear y evaluar, diferentes tramos de vías seleccionados en la ciudad de Bogotá, con el fin de realizar ensayos y tomar evidencias del estado del pavimento.
3. Analizar la información obtenida de los tramos de vías donde se identifiquen las normas mínimas del estado del pavimento y establecer el tipo de tratamiento requerido.
4. Proponer diferentes estrategias de administración vial capaces de garantizar la calidad del diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación.
5. Elaborar un plan de conservación preventiva que permita generar un mantenimiento ordenado y sistemático en pavimentos existentes.

1.5.2 Cronológica.

Este proyecto se desarrolló dentro del Grupo de Investigación “**Roma**” adscrito al programa de Ingeniería Civil dentro de una línea de Investigación denominada “Administración Vial” bajo la modalidad de **Auxiliar de Investigación**, una vez la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada aprobó los recursos financieros necesarios para la resolución de este mismo; teniendo en cuenta lo anterior, se programó un periodo de 12 meses, un año para la entrega de este informe final.

1.5.3 Conceptual.

Con la primera fase de este proyecto se pretende hacer una recopilación de todos los antecedentes sobre el tema, tanto nacional como internacional para tener una idea general de cómo se está llevando a cabo cada una de los procesos de la administración Vial; la información obtenida será clasificada mediante la implementación de métodos de investigación documental; una vez clasificada se analizará de tal forma que se tenga una perspectiva amplia del manejo de la administración de pavimentos flexibles específicamente en la ciudad de Bogotá focalizado hacia la localidad de Kennedy, logrando así **determinar el Sistema de Administración de Pavimentos que opera sobre la ciudad.**

Como herramienta de apoyo a lo anteriormente dicho, en este informe se presentan los resultados de un **análisis deflectométrico por medio de la Viga Benkelman sobre algunos tramos de vía seleccionados de la malla vial de la localidad de Kennedy** con el fin de monitorear y evaluar su capacidad estructural después de haberlos puesto en servicio una vez que fueron rehabilitados; lo anterior nos sirve como evidencia clara del proceso y manejo de los procedimientos de calidad en la Administración de Pavimentos que operan en la ciudad de Bogotá, para poder emitir las conclusiones y juicios finales del presente proyecto.

Dentro del alcance de este proyecto, también se puede evidenciar la **concepción clara de lo que significa un procedimiento de calidad en proyectos de infraestructura vial**, que se encuentran enmarcados dentro de los sistemas de gestión que hoy por hoy constituyen una sociedad consumista mucho más exigente.

1.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

En este aparte del informe, se definirán algunos términos básicos que se emplearán en el desarrollo del trabajo; estos términos fueron tomados de la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras del INVIAS y el nuevo Manual de Interventoría en la versión 01 de Marzo de 2007 dado por INVIAS.

Agente de reciclado. Sustancia que se agrega y mezcla con los materiales de un pavimento asfáltico recuperado para mejorar su resistencia o sus propiedades químicas.

Ajustes. Es la diferencia de precios que se genera por la variación de los índices de costos establecidos entre la fecha de presentación de la propuesta y la fecha de ejecución.

Auscultación. Recolección de información sobre la condición estructural y funcional de un pavimento.

Bordillo. Elemento de concreto, mezcla asfáltica, piedra u otros materiales, que se construye al borde de la carretera con el fin de encauzar el agua superficial proveniente de la calzada, de manera de impedir que ella escurra hacia el talud inferior.

Carga equivalente de diseño. Carga de 80 KN por eje simple con sistema de rueda doble utilizada como referencia para la evaluación y diseño de pavimentos asfálticos.

Carril de diseño. Carril por el cual se espera la circulación del mayor número de cargas de diseño. Normalmente es cualquiera de los dos en una vía de dos carriles o cualquiera de los exteriores en una vía de carriles múltiples.

Concreto asfáltico. Mezcla de alta calidad y perfectamente controlada, de cemento asfáltico y agregados bien gradados, que se elabora, extiende y compacta en caliente para formar una masa densa, estable y uniforme.

Contratación Directa. Proceso de selección para la contratación prescindiendo de las formalidades establecidas para el proceso licitatorio o concursal contractual, en los casos enumerados taxativamente por la ley, garantizando el cumplimiento de los principios consagrados en el Estatuto de Contratación y decretos reglamentarios.

Contratista. Persona natural o jurídica (consorcio o unión temporal a quien se le ha adjudicado una licitación, concurso o convocatoria y contratación directa) con quien se celebra el respectivo contrato.

Contrato de Obra. Es el que celebre una entidad determinada, para la construcción, mantenimiento, mejoramiento, rehabilitación etc., instalación y en general para la realización de cualquier otro trabajo material sobre bienes inmuebles, cualquiera que sea la modalidad de ejecución y pago.

Control de Calidad. Es el proceso mediante el cual se verifican las condiciones de los materiales, elementos, métodos, modelos, normas, etc., que se utilizan, de acuerdo con las especificaciones requeridas para la ejecución del contrato.

Deflexión. Deformación vertical elástica que representa la respuesta del pavimento y la subrasante a la carga aplicada.

Deformación. Cambio de la forma de un material o una estructura por la aplicación de un esfuerzo mecánico.

Deformación admisible. Máxima deformación que puede sufrir un material por determinado concepto sin fallar.

Degradación. Proceso de desgaste por el cual disminuyen las capacidades funcional y estructural de una calzada, debido a los efectos del tránsito y los agentes ambientales.

Depresión. Hundimiento localizado de un pavimento asfáltico, de forma circular o parecida a ella, sin pérdida de material.

Desintegración. Separación progresiva de los materiales que componen el pavimento, desde la superficie hacia debajo o desde los bordes hacia el interior.

Desprendimiento. Pérdida de material superficial que generalmente afecta pequeñas aéreas de un pavimento.

Eje de diseño. Eje utilizado como referencia para la conversión de las cargas reales del tránsito, con fines de evaluación o diseño de pavimentos. Generalmente es un eje simple de 80 KN.

Esquema itinerario. Diagrama en el cual se representa la condición funcional y estructural de un tramo de pavimento en un determinado instante.

Extensión. Porcentaje de la longitud de un tramo de carretera en el cual se presenta un determinado deterioro.

Factor camión. Numero de ejes simples de 80 kN que producen un daño equivalente al producido por un vehículo comercial en un pavimento, cuando se han considerado todos los tipos de vehículos comerciales que circulan por él.

Falla. Defecto en la superficie de rodamiento de un pavimento que puede afectar adversamente su estabilidad y la seguridad, comodidad y rapidez de la circulación del tránsito.

Falla estructural. Defecto en la superficie de rodamiento, causado por el colapso de una más de las capas constitutivas del pavimento.

Falla funcional. Defecto en la superficie de rodamiento, producido por fallas de la capa superficial, que no afecta el comportamiento estructural de la calzada, pero que se traduce en incomodidades para el tránsito, debido al aumento de rugosidad.

Fatiga. Reducción progresiva de la resistencia de un material debido a la aplicación repetida de esfuerzos sobre él.

Fisura. Línea de rotura de un pavimento, caracterizada por una abertura no mayor de 3 mm.

Fisuras de reflexión. Fisuras en la sobrecapas asfálticas que reflejan las trayectorias de las grietas existentes en la estructura del pavimento subyacente. Son causadas por movimientos verticales u horizontales de la estructura subyacente, debido a expansiones y retracciones por cambios de temperatura o humedad.

Geotextil. Los geotextiles son cualquier textil permeable usado en fundaciones, suelos, roca o cualquier otro material relacionado con ingeniería geotécnica como una parte integral de un proyecto, estructura o sistema hecho por el hombre. Los geotextiles cumplen básicamente con cinco funciones, que son las siguientes: Separación, Refuerzo, Filtración, Drenaje Planar y Protección.

Impacto Ambiental. Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Índice de deformación. Valor numérico que combina la extensión u la gravedad de las deformaciones de origen estructural de un tramo de pavimento asfáltico.

Índice de deterioro superficial. Valor numérico a través del cual se califican las fisuraciones, agrietamientos y deformaciones de origen estructural de un tramo de pavimento asfáltico, según su gravedad y extensión.

Índice de fisuración. Valor numérico que combina la extensión y la gravedad de las fisuraciones y agrietamientos de origen estructural de un tramo de pavimento asfáltico.

Índice de servicio presente. Valor numérico, que oscila entre cero y cinco, obtenido mediante una ecuación de regresión que incluye la rugosidad y eventualmente otros deterioros del pavimento, el cual da una indicación del comportamiento del pavimento desde el punto de vista del usuario. Se conoce normalmente por sus siglas en inglés, PSI.

Índice de servicio terminal. Menor índice de servicio presente que puede ser tolerado antes de que un pavimento requiera refuerzo, rehabilitación o reconstrucción. El valor generalmente adoptado es 2.0.

Lechada asfáltica. Mezcla, en proporciones adecuadas, de agregado fino bien gradado, llenante mineral, agua, emulsión asfáltica de rotura lenta y eventualmente aditivos, que da lugar a un producto fluido, homogéneo y cremoso que, al ser aplicado sobre una superficie, proporciona un sello impermeable y antideslizante después de la evaporación del agua que contiene.

Licencia Ambiental. La licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de ésta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección,

compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada.

Licitación Pública. Proceso público de selección que se aplica para la contratación en general salvo para las consultorías, a las cuales aplica el concurso de méritos.

Mantenimiento. Conjunto de actividades destinadas a prevenir daños o reparar defectos específicos de los componentes de una carretera, incluyendo calzada, bermas, zonas laterales, dispositivos de drenaje, estructuras y elementos de control de tránsito.

Medidas de Mitigación. Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente.

Medidas de Prevención. Son las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que puedan generar un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente.

Medioambiente. Sistema compuesto por los elementos naturales, sociales y culturales que existen en la tierra, sus permanentes interacciones y los resultados que de ellas se derivan.

Mezcla asfáltica. Material utilizado en la construcción de pavimentos, formado por una combinación de agregados pétreos y un producto asfáltico, de suerte que las partículas queden cubiertas de manera homogénea por éste. La mezcla se realiza de forma mecánica, bien en una planta fija o móvil, debiendo ser transportada después a la obra, donde se extiende y compacta, o bien puede ser elaborada directamente en la vía.

Modulo resiliente. Modulo que caracteriza el comportamiento a una deformación elástica de suelos y materiales granulares. En un ensayo triaxial de carga repetida a presión de confinamiento constante, es el modulo secante en la descarga, es decir, la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación elástica unitaria axial.

Perdida de agregados. Desprendimiento de agregados de un tratamiento superficial caracterizado por la aparición de una o más líneas descubiertas, paralelas a la dirección de aplicación.

Perdida de película de ligante. Separación de la película de ligante de la superficie de los agregados en una mezcla asfáltica, producida por la acción del agua y el tránsito.

Período de análisis. Lapso para el cual se efectúa el análisis económico, el cual incluye, por lo general, provisiones para la renovación periódica de la superficie o la rehabilitación del pavimento, de manera de extender su vida de servicio.

Período de diseño. Lapso transcurrido desde que un pavimento nuevo o recién rehabilitado se da al servicio, hasta que alcanza su índice de servicio terminal.

Plan de Manejo Ambiental. Es el conjunto detallado de actividades, que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad.

Reciclado. Reutilización de parte de las capas de la estructura existente, para mejorar su capacidad estructural. La adición de nuevos materiales es necesaria para mejorar la resistencia y el comportamiento del pavimento mejorado.

Reconstrucción. Remoción de capas y reemplazo parcial o total del pavimento, para mejorar su capacidad estructural, adaptándolo a las necesidades del tránsito futuro.

Refuerzo. Colocación de capas de pavimento que proporcionan capacidad estructural adicional o mejoran la serviciabilidad.

Rehabilitación. Trabajo que se realiza para prolongar la vida de un pavimento, que puede incluir la colocación de una o más capas de restauración o refuerzo y otros trabajos necesarios de acondicionamiento, como la reparación de defectos localizados, el mejoramiento del drenaje y la reconstrucción de bermas, el reciclado o la remoción y remplazo parcial de la estructura existente.

Renivelación. Actuación destinada a restaurar el perfil longitudinal y transversal de un pavimento.

Restauración. Ejecución de trabajos que mejoran la condición superficial del pavimento, pero no aumentan su capacidad estructural.

Riesgo. Es la coincidencia de un grado de peligrosidad con un grado de vulnerabilidad que nos indica la probabilidad de pérdidas futuras que sufriremos cuando la amenaza se manifieste en un escenario vulnerable.

Rugosidad. Respuesta dinámica acumulada del perfil longitudinal de un pavimento, al ser recorrido por un vehículo normal o por un dispositivo experimental de similar respuesta dinámica denominado rugosímetro.

Serviciabilidad. Capacidad de un pavimento de servir al tránsito que hace uso de él en un momento determinado.

Términos de Referencia. Marco normativo bajo el cual se desarrolla un concurso de méritos (estudios o interventoría), que contiene los derechos y obligaciones de las partes, describe el objeto a contratar, con la inclusión de los requisitos técnicos, financieros y jurídicos que deben cumplir los proponentes y posteriormente, el contratista durante la ejecución del contrato.

Textura. Indicación de la forma geométrica tridimensional de la superficie del pavimento.

Tránsito promedio diario. Volumen de tránsito durante determinado periodo, dividido por el número de días del periodo.

Tratamiento superficial. Aplicación de un ligante en estado líquido seguido de la extensión y compactación de una capa de gravilla de tamaño uniforme, en una o varias operaciones sucesivas.

Vida residual. Numero de cargas de diseño que puede soportar un pavimento en servicio antes de fallar por fatiga.

Viga Benkelman. Deflectómetro mecánico simple, consistente en una palanca suspendida de un bastidor, que transmite la deflexión vertical del punto de medida a un medidor de deformación.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo, se desarrollarán aspectos relacionados con los fundamentos básicos referentes a la Administración o Gestión de los Pavimentos, ya que es el concepto básico y más importante en el desarrollo de las actividades para el cumplimiento de este informe.

2.1 LOS SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA Y LA DINÁMICA DEL DESARROLLO SOCIAL²

No cabe duda de que el desarrollo económico y social de las comunidades ha estado estrechamente ligado al mejoramiento de los sistemas de transporte. Las comunidades crecen en lo cultural, en lo social y en lo económico en la medida de que existe posibilidad de comunicarse y trasladarse. Dicho en el sentido inverso, el crecimiento de una región o país puede verse limitado por insuficiencia de conectividad, ya sea al interior de la comunidad misma, como hacia otras comunidades vecinas. Esta relación recíproca entre los sistemas de transporte y el desarrollo social puede ser entendida con mayor facilidad a partir del Modelo de Manheim. *Este modelo señala que la dinámica social de una ciudad, una región, un país o una comunidad en general puede ser entendida a partir de las relaciones que se verifican entre tres variables esenciales; Sistemas de transporte, Sistema de actividades y Estructura de flujo.*

2.2 QUE SE ENTIENDE POR INFRAESTRUCTURA VIAL³

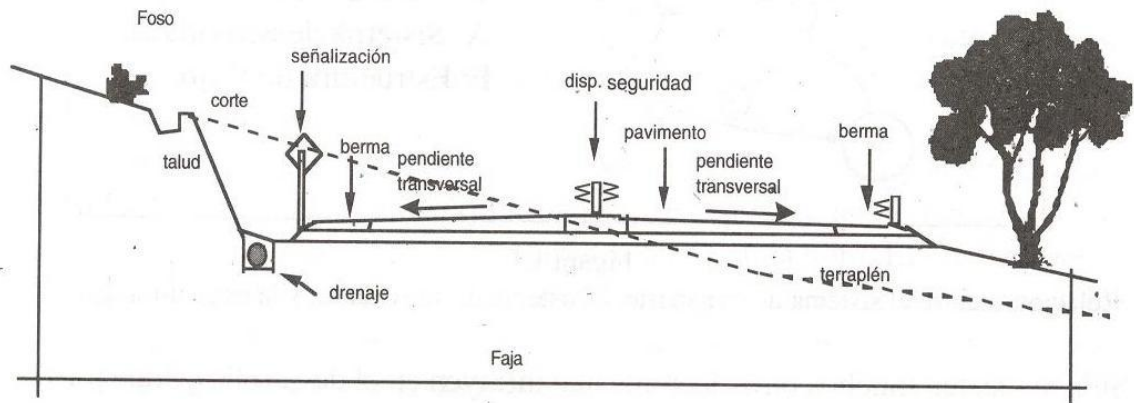
Durante muchos años se tuvo un concepto equivocado de infraestructura vial, ya que solo se tomaban en cuenta aquellos elementos que incidían directamente sobre la operación de la vía; sin embargo, a medida que pasa el tiempo se han ido agregando otros aspectos que si bien no afectan la operación directa de los usuarios, si lo hacen sobre el entorno.

Por lo tanto se puede decir que se llama infraestructura vial a todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades tanto al medioambiente como su entorno. Esto incluye los pavimentos y sus características, puentes, túneles, dispositivos de seguridad, señalización, entorno, medio ambiente, impacto general, etc. que esquemáticamente se presenta en la **Figura 4**. Cada uno de los elementos mencionados anteriormente cumple una función específica y única que lo hace indispensable dentro del buen funcionamiento de la infraestructura.

² Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihaç T

³ IBID

FIGURA 4. Algunos elementos de la Infraestructura vial



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihaç T.

De este modo se debe entender que una gestión adecuada de infraestructura vial debe tomar en cuenta todos los componentes, ya sean los directamente relacionados con la operación de la infraestructura como los que se ven afectados por ella (sistemas de luz, agua, teléfono, etc.), en forma equilibrada, preocupándose principalmente de que todo el sistema funcione como un conjunto armónico.

2.3 LOS PAVIMENTOS COMO ELEMENTO BÁSICO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL⁴

En el último tiempo, los países desarrollados se han dado cuenta de que una buena gestión de infraestructura es indispensable para el desarrollo tanto económico como social de las regiones, debido a ésto su preocupación por dicha operación ha tomado gran importancia, se han desarrollado un sin número de sistemas que tienen como objetivo optimizar los recursos, que los caminos cumplan su función en un 100%.

Los sistemas mencionados anteriormente requieren del desarrollo continuo de tecnología para estudiar, analizar y comprender el comportamiento de todos los elementos de la infraestructura. Sin perjuicio de lo anterior, los elementos básicos dentro de la infraestructura vial son los pavimentos, en torno a ellos se generan todos los elementos mencionados anteriormente (elementos complementarios).

Esta importancia se debe a la funcionalidad que cumple el pavimento dentro de la operación de un camino, es éste el que entrega la superficie requerida para el desplazamiento de los diferentes medios de transporte; del pavimento depende la mayoría de los costos de usuario, así mismo es el pavimento el que requiere la mayor cantidad de recursos económicos y financieros tanto para su construcción

⁴ IBID

como para su mantenimiento y por esto el desarrollo de tecnología en la infraestructura vial tiene como un objetivo principal el comportamiento del pavimento. Por lo anterior, gran parte de los estudios se ven enfocados al pavimento existiendo una cantidad importante de tópicos que buscan explicar su comportamiento. La infraestructura vial es mucho más que el pavimento, por lo que se han agregado temas referentes a elementos complementarios, con el objetivo de hacer entender al lector que una buena gestión tiene como base una operación armónica de todos los elementos que influyen sobre la infraestructura vial.

2.4 ALGO DE HISTORIA ACERCA DE LOS PAVIMENTOS DE SUS SISTEMAS DE GESTIÓN⁵

Normalmente se podría pensar que los caminos pavimentados surgen junto con el automóvil, es decir alrededor de 1800; sin embargo, los primeros caminos se remontan a la invención de la rueda, probablemente en Mesopotamia (Asia Menor), hace unos 5.500 años. Su objetivo, proveer superficies de rodamiento que facilitasen el incipiente tránsito de la época.

Entre los primeros antecedentes de construcciones de caminos están:

- Alrededor del año 3.500 a. de C. los pueblos Asirio y Egipcio iniciaron el desarrollo de sus caminos, como una ruta entre Asia y Egipto. También el historiador Griego Heródoto [484 a 427 a. de C.] hace mención a caminos construidos de piedra en Egipto por encargado del rey Keops, los cuales proporcionaban una superficie de rodamiento adecuada a las piedras con que construían las pirámides y que se estima son los caminos de piedra más antiguos.
- En la isla de Creta en el Mar Mediterráneo existe un camino de piedras construido antes del 1.500 a. de C.
- Los cartagineses construyeron un sistema de caminos de piedra a lo largo de las costas sur del Mediterráneo (500 a. de C.).
- Los etruscos construyeron caminos antes de la fundación de Roma, alrededor de los años 830 y 350 a. de C.
- Los babilonios utilizaron por primera vez una mezcla asfáltica como material de pavimentación para sellar las losas de la vía Sacra.
- La vía conocida más antigua, larga y famosa es la llamada Camino Real de los Persas, construida durante un periodo de 400 años y terminada hacia el 323 A. de C.;, esta vía cubre una distancia de unos 2.900 km a lo largo del sudoeste de Asia y Asia Menor.

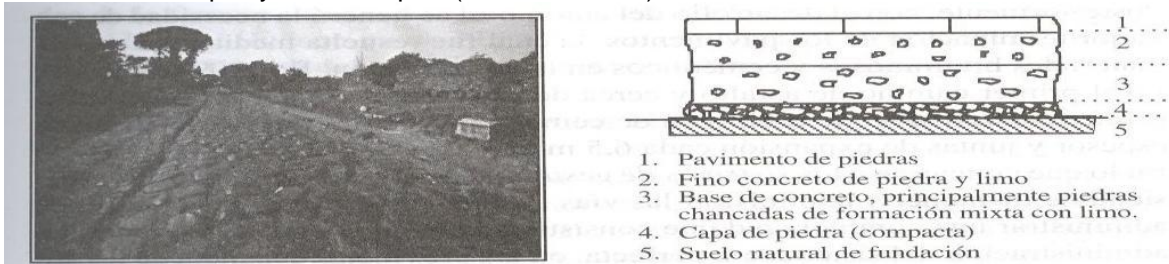
⁵ IBID

- En América existen también signos tempranos de la existencia de construcción de caminos: mayas, Toltecas, aztecas e Incas dejaron huellas de una avanzada técnica de construcción de caminos para la intercomunicación entre sus territorios.

Los primeros caminos construidos “científicamente” datan de la época del imperio romano. Tales vías fueron desarrolladas primariamente con propósitos militares y debían ser útiles tanto para la marcha de los hombres a pie como para el transporte de equipos pesados en vagones, por lo cual ellas debían ser lo suficientemente resistentes.

Su construcción estaba basada en piedras puestas a mano una sobre otra (de espesor de 8 a 15 cm), instaladas sobre una fundación de ripio [Ashworth, 1979]. La técnica romana consistía en escavar una zanja tal que luego de rellenar las capas, la superficie del camino quedase a la altura del terreno natural, las capas de relleno eran: una capa compuesta de pequeñas piedras chancadas y limo, otra capa de base de piedras con mortero firmemente apisonadas, y finalmente el revestimiento de bloques de piedra instalados y embebidos en mortero. Esta técnica de construcción de caminos creada por los romanos se utilizo con éxito por unos 2.000 años y con ella fueron hechas por ejemplo la Vía Apia iniciada en el año 312 a. de C. y toda la red de caminos que construyeron en Europa, norte de África, parte de Asia y de Gran Bretaña en la **Figura 5**. Se observa un corte típico de caminos de primera clase del periodo romano.

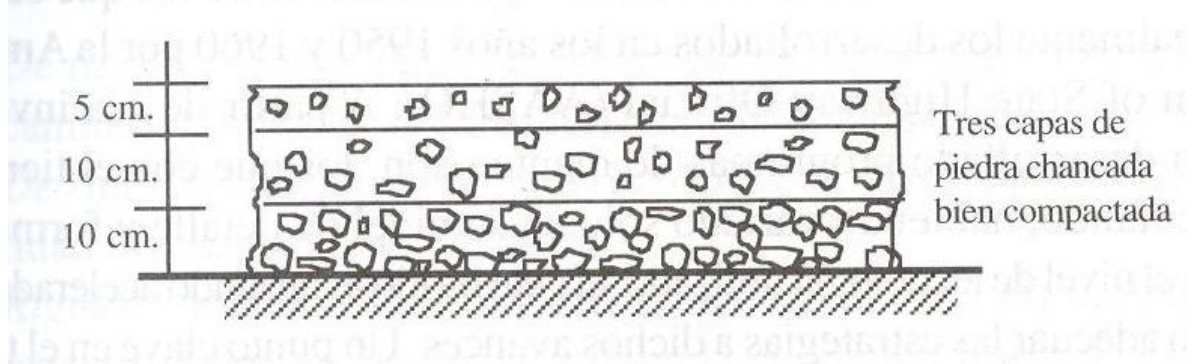
FIGURA 5. Vía Apia, y su corte típico (Ashworth, 1979)



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihaç T.

A finales del siglo XVIII se reconoció la construcción de caminos como una profesión que requería de la aplicación de principios científicos para ser correctamente ejecutada, dentro de los principales desafíos que se enfrentaban en esa época, estaba la necesidad de construir drenajes apropiados para las vías y el desarrollo de una superficie resistente al uso fuerte y desgastador. Tal vez los más famosos constructores de caminos de esa primera época fueron los ingleses T. Telford y J. McAdam cuyo diseño de camino se muestra en la **Fig. 6**.

FIGURA 6. Corte de camino de diseño.



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T

La construcción moderna de caminos se inició en 1869 en Estados Unidos, donde se usó por primera vez una máquina que hacía la compactación de manera más rápida, fácil y mejor que el método manual. Posteriormente, con el desarrollo del automóvil se generó la necesidad de una mejor terminación de pavimentos, la cual fue resuelta mediante el uso de materiales bituminosos y cementantes en la construcción. En 1909 se construyó el primer camino de asfalto y cerca de esa fecha también se construyó el primer camino rural de hormigón de cemento portland (que era de 45 cm de espesor y juntas de expansión cada 6.5 m aproximadamente).

En lo que concierne a los sistemas de gestión, los primeros en advertir la necesidad de mantener y administrar las vías fueron los romanos, quienes administraron una compleja red que consistía en distintos tipos de calzadas, la administración del sistema era perfecta, en las provincias dependía de los gobernadores y en cada zona municipal de los magistrados locales.

La conservación se realizaba en forma permanente por una organización de capataces y camineros, además se debe agregar que la circulación estaba debidamente controlada, ya que fijaban el número de animales de tiro, y la dimensión y forma de los vehículos.

En definitiva, se generó un sistema de gestión de red vial. Otro precursor, y tal vez el iniciador de un sistema de gestión de pavimentos moderna, fue Pierre M Jerome Tresaguet (1716-1796), Inspector General de Caminos de Francia desde 1775, quien reconoció la necesidad de mantenimiento permanente y continuo de las vías para un servicio apropiado: él, con el apoyo de Napoleón, generó el desarrollo de un gran sistema de caminos franceses (Escario, 1960).

En Estados Unidos, en 1920, se dio inicio a la organización de un esfuerzo de investigación en el área de los pavimentos, con el fin de mejorar el diseño, la mantención y construcción de caminos. El desarrollo de la investigación

comprendió una variedad de estudios empíricos y teóricos, entre los que se incluyen principalmente los desarrollados en los años 1950 y 1960 por la American Association Of State Highway Official (AASHO). A partir de esa investigación se han desarrollado programas de mantención, los que con el tiempo se siguen ejecutando, habiendo variado sólo en su nivel de detalle y formalidad, así como en el nivel de tecnología utilizando, el cual han permitido adecuar las estrategias a dichos avances. Un punto clave en el tema es la introducción de los computadores, los cuales han permitido el desarrollo de procesos con un amplio número de datos, con extensos cálculos, simulaciones y otros, que han facilitado la labor apreciablemente.

La misión moderna de la gestión de pavimentos como la conocemos en la actualidad nace de un estudio de la AASHO en 1996, a través de un programa de investigación, “National Cooperation Highway Research Program” (NCHRP) con la idea de proveer las bases teóricas para extender los resultados de la famosa prueba AASHO realizada en Ottawa, Illinois, entre 1958 y 1961. Haas y Hudson en su libro “Pavement Management Sistem” (Haas, 1978), introdujeron definitivamente este concepto en la ingeniería vial.

2.5 LOS PAVIMENTOS INSERTOS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTES

El sistema actual de transportes incluyen los medios marítimos, aéreos y terrestres (con vías de trenes y caminos básicamente), de ello sólo el marino no hace uso de pavimentos. Es decir, los demás medios de una u otra forma incluyen el uso de pavimentos dentro del funcionamiento, **por el cual necesitan sistemas de gestión de pavimentos que permitan un funcionamiento adecuado, controlando la inversión que tal mantención requiere y los costos en que los usuarios incurren de acuerdo al estado en que estos se encuentran.**

2.6 TIPOS DE PAVIMENTOS

Es conveniente determinar que se entiende por pavimento y que tipos existen, antes de hablar acerca de su gestión. Se entiende por pavimentos al conjunto de los elementos estructurales de un camino (o de otras superficies como las pistas de aterrizaje de los aeropuertos), es decir, son todas las capas que lo conforman y las que se denominan comúnmente capa superficial, base y sub base. Existen básicamente los siguientes tipos de pavimentos:

- a) **DE TIERRA:** corresponde a la superficie de tierra que cubre a numerosos caminos: los cuales se consideran normalmente como no pavimentos.
- b) **DE RIPIO:** superficie cubierta de ripio para dar un poco mas de estabilidad que los caminos de tierra.

c) **RÍGIDO**: corresponde al pavimento que en su capa estructural principal (superior) está hecho de hormigón. Una sección típica de esta variedad se ve en la **Figura 7**.

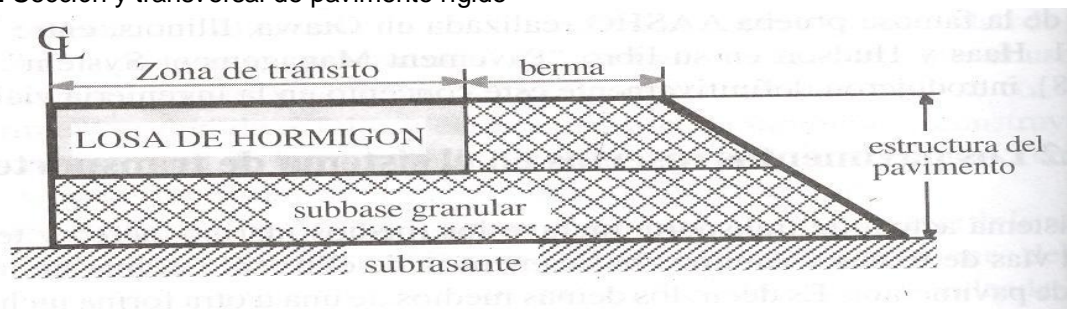
Los pavimentos rígidos pueden ser catalogados de acuerdo al grado de refuerzo que presentan (**Figura 8**), estos son:

JPCP: hormigón simple con juntas, con o sin barras de transferencia de carga.

JRCP: hormigón reforzado con juntas y barras de transferencias de carga.

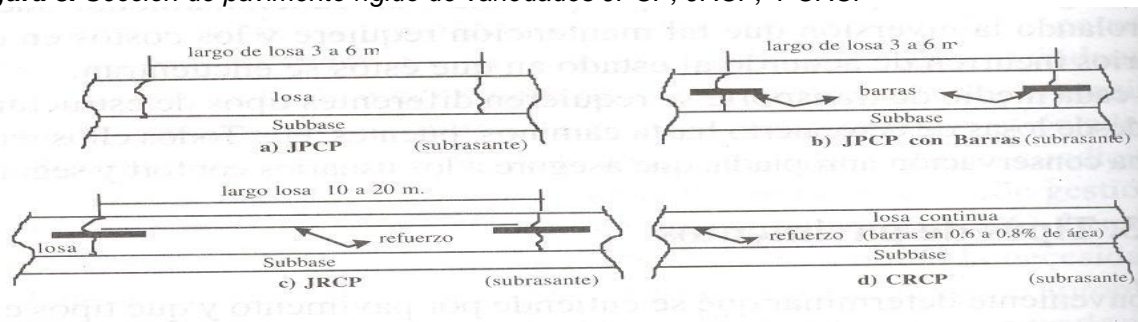
CRCP: hormigón continuamente reforzado.

Figura 7. Sección y transversal de pavimento rígido



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

Figura 8. Sección de pavimento rígido de variedades JPCP, JRCP, Y CRCP

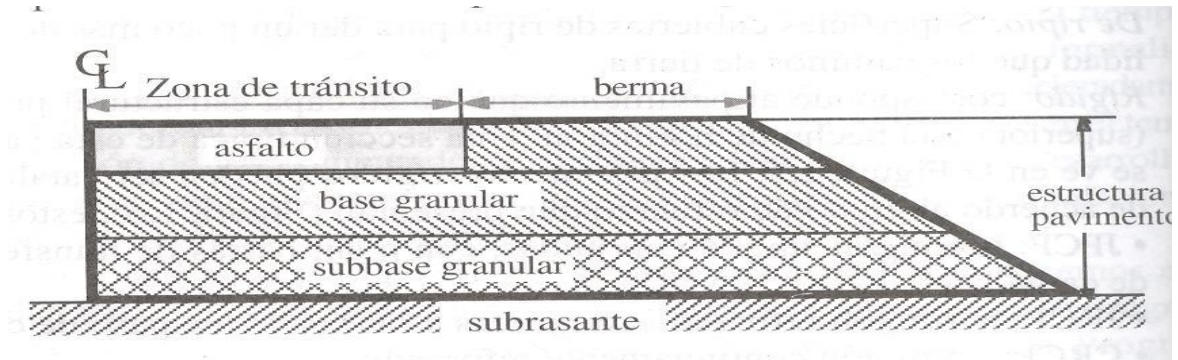


Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

d) **Pavimento Flexible**: El pavimento flexible es un sistema tricapa, cuya capa superior es de concreto asfáltico, compuesto de ligante, usualmente el asfalto, el cual es un derivado de la refinación del petróleo, y agregados pétreos; materiales granular y suelo. Este tipo de pavimento se llama flexible porque al ser sometido a una carga sufre una deformación y recuperación deseada, al cesar la carga, completamente elástica⁶. **Figura 9**.

⁶ <http://es.scribd.com/doc/24569151/Pavimentos-flexibles>

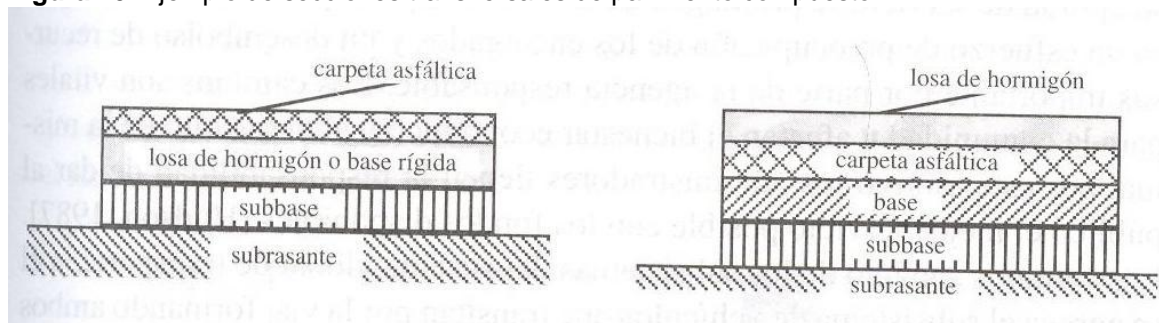
Figura 9. Sección transversal de pavimento flexible



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

e) Mixto o Compuesto: es aquel que en su estructura superior mezcla una capa de asfalto con otra de hormigón arriba, o bien al contrario, una capa de hormigón (base rígida) con otra de asfalto en la parte superior, este último es el más común y corresponde a la clásica forma de rehabilitación conocida como recapado asfáltico. Una sección típica de esta variedad se ve en la **Figura 10**.

Figura 10. Ejemplo de secciones transversales de pavimento compuesto



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

2.7 LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS: EL PRIMER PASO⁷

Se considera normalmente que un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tiene como objetivo conservar por un periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión. Todo lo anterior minimizado los costos monetario, social y ecológico. Antiguamente el estado del pavimento se apreciaba visualmente, las técnicas de refuerzo eran primarias y limitadas (bacheo o tratamientos superficiales simples básicamente) y los problemas ecológicos sólo eran tomados en cuenta de acuerdo a la conciencia de los ingenieros (que se sintieran más o menos comprometidos con la causa). En la actualidad la situación

⁷ IBID

ha cambiado, el estado de la carretera se mide a través de una multitud de parámetros específicos, las posibilidades técnicas de reparación y conservación son múltiples y el tema ecológico ha cobrado una relevancia fundamental, de aquí que los sistemas de gestión de pavimentos hayan evolucionado en una medida similar. La presente sección trata acerca de las necesidades de conservación de los pavimentos y algunos conceptos básicos de gestión de los mismos.

2.8 LOS PAVIMENTOS Y SU NECESIDAD DE CONSERVACIÓN

Los pavimentos tienen por propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, por tal motivo es importante realizar labores de conservación adecuadas y oportunas sobre ellos. El concepto de conservación de pavimentos significa la acción de cuidar que su aptitud de servicio se prolongue durante el tiempo requerido, lo cual implica un esfuerzo de preocupación de los encargados y un desembolso de recursos importante por parte de la agencia responsable. Los caminos son vitales para la comunidad y afectan el bienestar económico y el desarrollo de la misma, por este motivo los administradores tienen la responsabilidad de dar al público el mejor servicio posible con los fondos disponibles [Hudson, 1987].

Los caminos son uno de los subsistemas de vehículos que transitan por la vía, formando ambos lo que se conoce como el costo global del sistema de transporte. Dentro de dicha premisa se inserta la necesidad de construir caminos de buena calidad e intervenir en ellos cada vez que sea necesario, a fin de mantener las condiciones apropiadas para los usuarios. Mientras exista demanda de parte de ellos es conveniente crear y seguir un esquema de conservación de la red que garantice lo siguiente: adecuada conservación de los caminos de la red a un costo apropiado que la red vial sea mantenida siguiendo un programa de largo plazo que se optimice el costo y beneficios del sistema, racionalizando el uso de recursos que exista un permanente control de los efectos sobre el medio ambiente que se implemente un control de la efectividad de la conservación.

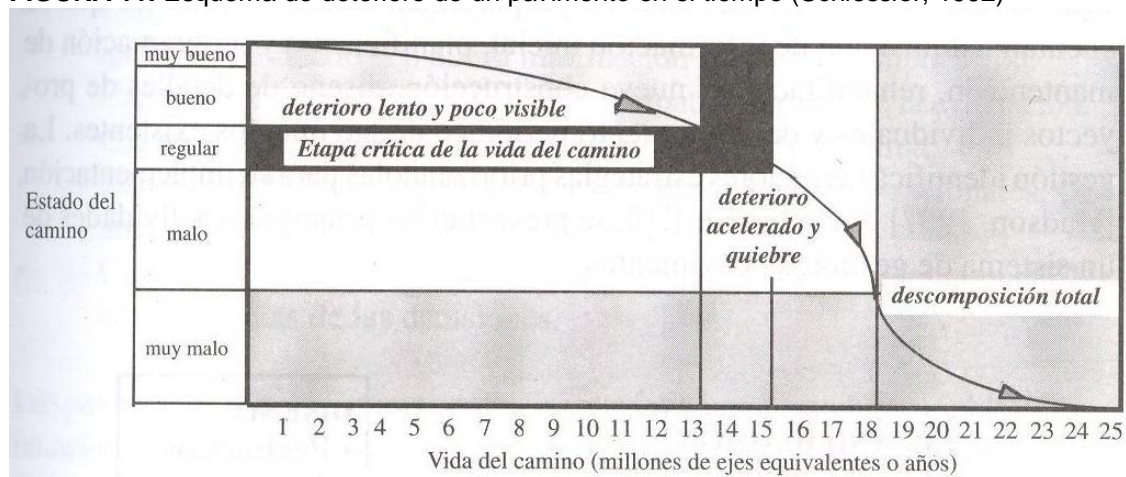
En una sociedad intensamente motorizada, como la nuestra, la trascendencia que se debe otorgar a la conservación de carreteras es fundamental. El patrimonio vial del país se ha enriquecido considerablemente y sigue creciendo en una progresión importante, con ello se pone de manifiesto la necesidad disponer de una completa información del estado de vías y estructuras, así como de un plan de acción de conservación que permita la prevención y corrección de deterioros oportunamente. Con este objetivo se utilizan los sistemas de gestión, que sirven de herramienta para ayudar a la decisión, seccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y fijando sus prioridades, dentro de las disponibilidades económicas de la entidad administradora, sea esta pública o privada.

Puesto que los pavimentos son diseñados para tener una duración determinada; la no realización de una mantención adecuada significará que en el corto plazo el

pavimento entregará un servicio menor al esperado. Esta situación incentiva la creación de la gestión de pavimentos.

Se entienden por gestión de pavimentos todas aquellas acciones de conservación que aplicadas en el tiempo mantienen un nivel de servicio adecuado, tanto en el aspecto funcional como estructural. En la **figura 11** se presenta un gráfico que representa la forma general en que se deterioran los pavimentos, en él se puede observar que en los primeros años el deterioro es lento; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado, llegando rápidamente al término de la vida útil del camino.

FIGURA 11. Esquema de deterioro de un pavimento en el tiempo (Schuessler, 1992)



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

2.9 CONCEPTOS BÁSICOS ACERCA DE LA GESTIÓN DE PAVIMENTOS

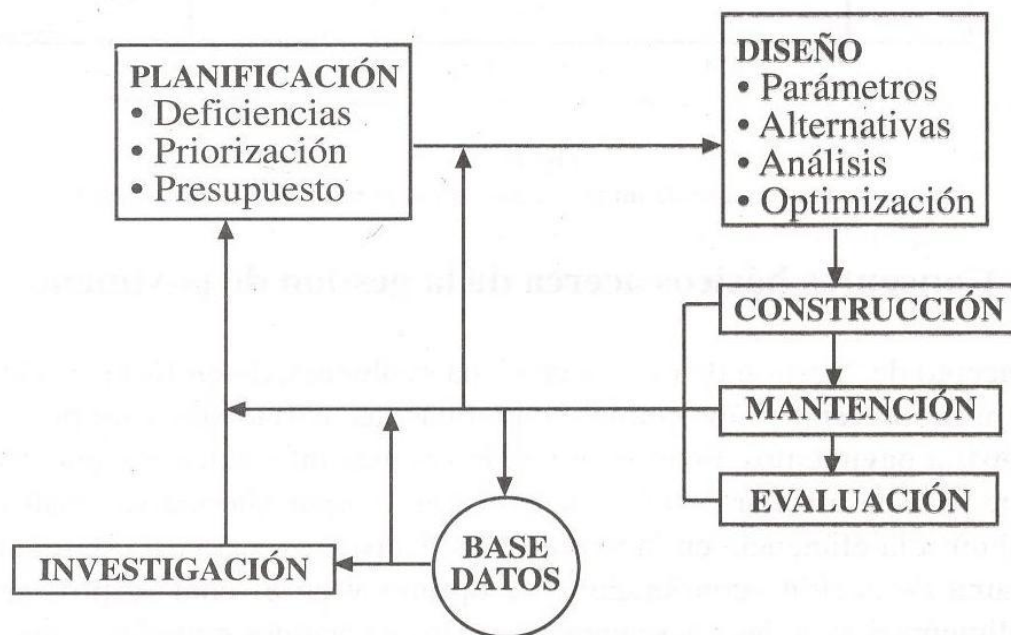
El concepto de “gestión de pavimentos” ha evolucionado en forma acelerada en los últimos veinte años. Su objetivo básico es usar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de las decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo y en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas, como medio de asegurar su efectividad [Haas, 1993]. Se puede agregar que gente experimentada puede generar programas racionales pero para una red extensa se hace imprescindible organizar la información.

En caso de no existir un programa de gestión, se cuenta sólo con decisiones aproximadas producto de soluciones limitadas para la mantención, lo cual es de dudosa efectividad en las condiciones de restricción de presupuesto en que generalmente se trabaja. La planificación de la gestión de pavimentos otorga

beneficio, tales como: recopilar un conjunto de información, la cual puede ser compartida dentro de la organización, entre instituciones o el público en general, lograr los mejores beneficios con el dinero disponible, puede dar a conocer las consecuencias de una u otra medida de conservación en base a experiencias similares anteriores.

Además la gestión de pavimentos es un proceso global, que incluyen todas aquellas actividades involucradas en proporcionar caminos, entre las que se cuentan: adquisición de información inicial, planificación y programación de mantenimiento, rehabilitación y nueva construcción, diseño de detalles de proyectos individuales y de seguimiento periódico de pavimentos existentes. La gestión identifica las mejores estrategias priorizándolas para su implementación [Hudson, 1987]. En la **figura 12**, se presentan las principales actividades de un sistema de gestión de pavimentos.

FIGURA 12. Diagrama simplificado de principales actividades que componen un sistema de gestión de pavimentos, [Haas, 1993].



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

Las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras del pavimento son de vital importancia a lo largo de su vida útil, ya que éstas se van deteriorando con el tiempo y con el tránsito. El objeto de la administración de pavimentos es la preservación de la inversión inicial mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la vida del pavimento.

El mantenimiento y rehabilitación cubren un rango de actividades bastante extenso, que varía desde la corrección de defectos superficiales para mejorar la calidad de la circulación vehicular, hasta las operaciones de reconstrucciones, destinadas a recuperar totalmente la capacidad estructural de la calzada.

Debe considerarse que un Sistema de Administración de Pavimentos, como todo sistema de administración, está fundamentado en un ciclo que comprende las etapas siguientes:

- Planeación.
- Programación.
- Ejecución y Control.
- Evaluación de Resultados / Retroalimentación.

El Sistema de Administración de Mantenimiento Vial debe tener implícito un Análisis de Factibilidad Técnico - Económico - Financiero y Ambiental, para evaluar lo más aproximado posible, el monto de las acciones que se requieran para el mejoramiento del pavimento de las vías. Las acciones propuestas para esta área específica están enfocadas a preservar las inversiones en la infraestructura vial y reducir los costos de operación de los vehículos.

No existen formulas o software que proporcionen soluciones exactas o satisfactorias a cualquier situación que deba enfrentar un diseñador, por esto el estudio de dichos problemas requiere una combinación de análisis y criterio, junto con algunos parámetros establecidos por las entidades relacionadas con el tema, que ayudaran al ingeniero a encontrar la mejor solución a cada inconveniente; por tal motivo este proyecto de investigación tiene como fin analizar la calidad de cada uno de estos procesos y el efectivo cumplimiento de los parámetros establecidos por entidades como el INVIAS para la administración vial en el país, de no ser así, se pretende generar un modelo que supla cada una de las falencias de estas entidades.⁸

2.10 GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL⁹

Un sistema de Administración de Infraestructura vial comprende un conjunto coordinado de actividades relacionadas con la planificación, diseño, construcción, conservación, evaluación e investigación de todos los elementos que constituyen la Infraestructura vial.

⁸ Guía Metodológica para el Diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos para carreteras, INVIAS

⁹ Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

El principal objetivo es establecer la metodología para el seguimiento y continua evaluación del estado de los pavimentos, túneles, puentes, señalizaciones, saneamiento, etc., para proporcionar así seguridad, confort, y economía al transporte, obteniendo la mayor rentabilidad posible por el dinero invertido sujeto a las restricciones económicas, técnicas, políticas y ambientales. Para tales efectos, el sistema debe ser actualizable, permitir comparación de alternativas e identificar la óptima, basando sus decisiones en atributos, criterios y restricciones cuantificables, además de usar información de retroalimentación para evaluar las consecuencias de decisiones tomadas.

La gestión de infraestructura se puede aplicar a una red vial (por ejemplo una ciudad o región, etc), o a un proyecto en particular (por ejemplo Av. El Dorado en Bogotá). En general la gestión a nivel de red permite determinar las necesidades de las obras requeridas en un conjunto de vías; en cambio, la gestión a nivel proyecto define claramente los requerimientos de un proyecto en particular.

Los elementos básicos que configuran un sistema de gestión de infraestructura vial se pueden sintetizar en:

- Información de inventario de la red
- Información del estado funcional y estructural de los elementos de la vía
- Modelos de predicción del comportamiento durante su vida útil
- Estándares de conservación para el deterioro actual y futuro
- Evaluación económica de las distintas alternativas de conservación y/o rehabilitación
- Configuración de un programa de actuación en el periodo de análisis.

2.11 CAUSAS DEL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS¹⁰

El deterioro tiene diversos orígenes y produce imperfecciones, las cuales afectan desfavorablemente la comodidad, la seguridad y los costos de operación de los usuarios de las carreteras. Todo proceso de mantenimiento o rehabilitación busca corregir, según el caso, estas alternativas, de manera que se conserve o recupere el índice de servicio durante un lapso determinado que compense apropiadamente las inversiones realizadas para tal fin. Principales causas de los deterioros prematuros de los pavimentos:

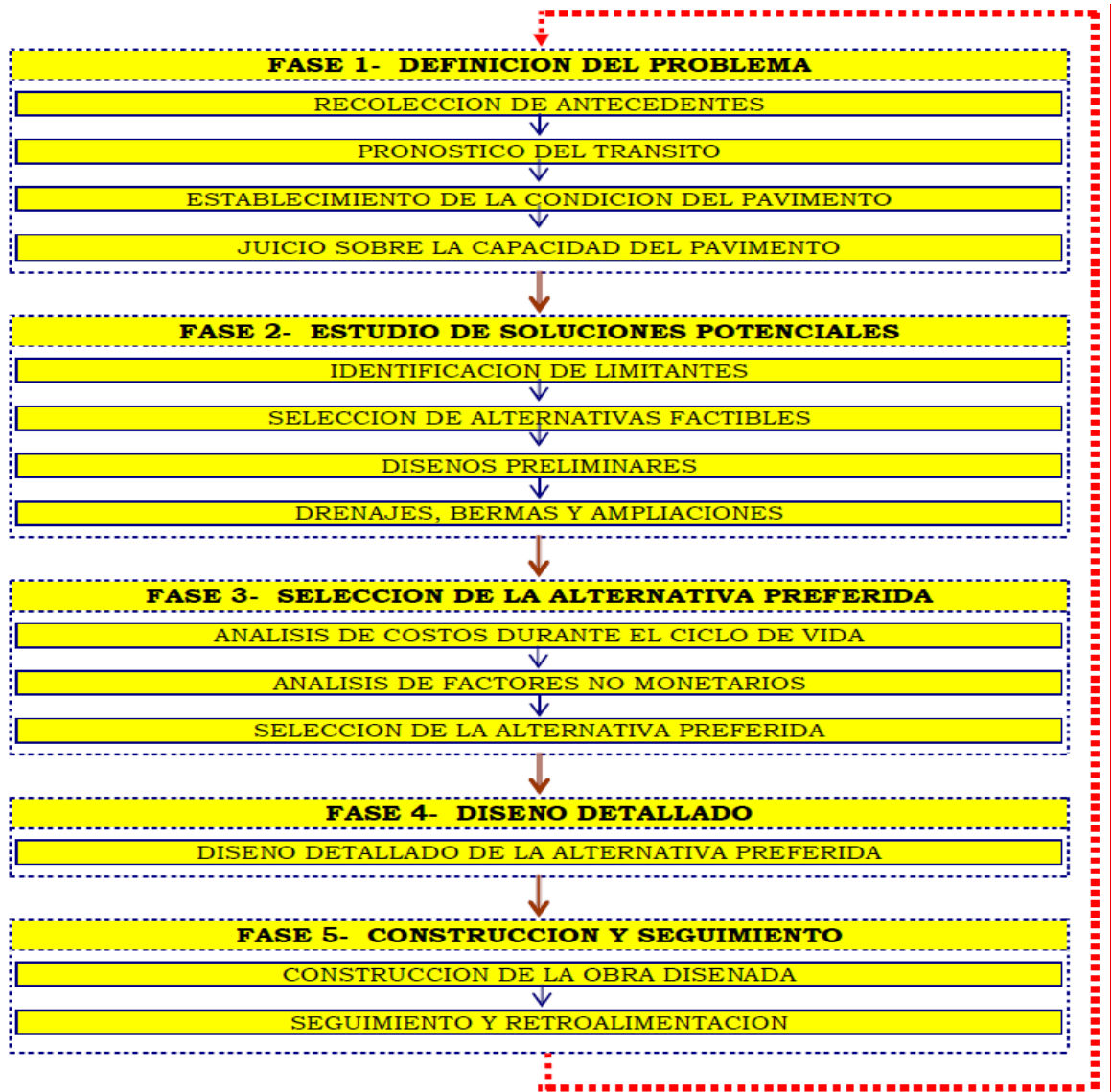
1. Deficiencias de diseño.
2. Deficiencias constructivas.
3. Incrementos imprevistos en el tránsito vehicular.
4. Factores ambientales desfavorables.
5. Agotamiento del periodo de diseño.

¹⁰ Guía Metodológica para el Diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos para carreteras, INVIAS

2.12 PLAN DE ACCIÓN

Para realizar los procesos de mantenimiento o rehabilitación se sigue en detalle un procedimiento lógico que gracias a su orden y detalle facilita el análisis de cada problema. Se utiliza la siguiente metodología esquematizada en la **figura 13**:

FIGURA 13. Proceso de selección para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento.



Fuente. Guía metodológica para el Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de carreteras, INVIAS

2.13 EVALUACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES¹¹

La evaluación estructural de pavimentos asfálticos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural, el ingeniero vial tradicionalmente ha recurrido a la perforación, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es "destructiva".

La alternativa presentada en este estudio es "no destructiva", a través de la **Viga Benkelman** y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y "no destructiva", es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

La metodología no destructiva se fundamenta en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierran una valiosa información acerca de las características estructurales del pavimento y su subrasante. Para interpretar esta información en forma cuantitativa, se compara al pavimento-subrasante reales con un modelo matemático utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema. Una vez determinados, estos parámetros estructurales, puede usarse como insumo para establecer las necesidades de refuerzo. Podría decirse entonces que la metodología de evaluación estructural, por métodos no destructivos, es un proceso de diseño inverso ya que utiliza la respuesta del sistema para establecer sus características estructurales, lo cual es generalmente opuesto a un proceso de diseño.

¹¹ IBID

2.14 REGULARIDAD SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

Esta es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, y es la característica que proporciona al usuario la sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se define como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil real de la calzada, respecto del teórico del proyecto. Las irregularidades de la superficie del pavimento proporcionan aceleraciones verticales a los vehículos y hacen que la circulación se torne incomoda, insegura y antieconómica. El perfil de la carretera contiene infinidad de irregularidades, conformadas por un conjunto de ondas aleatorias de frecuencia múltiple, que se producen con diferentes amplitudes y longitudes de onda, tanto en sentido longitudinal como transversal. El Comité Técnico de Características Superficiales de la AIPCR, propuso una clasificación de las características geométricas superficiales, con base en la longitud de onda y las amplitudes de las irregularidades (**Tabla 2**).

TABLA 2. Características de las Irregularidades de un Pavimento

Característica		Longitud de onda (mm)	Amplitud (mm)
Microtextura		0-0.5	0.001-0.5
Macrotextura		0.5-50	0.01-20
Megatextura		50-500	0.1-50
Regularidad superficial	Ondas cortas	500-5000	1-20
	Ondas medias	5000-15000	5-50
	Ondas largas	15000-50000	10-200
Trazado		> 50000	10-5000

Fuente: Guía metodológica para el Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de carreteras, INVIAS

2.15 DAÑOS EN EL PAVIMENTO- AUSCULTACIÓN¹²

Los daños en el pavimento se refieren al estado de la superficie de un pavimento con relación a su apariencia general. La evaluación de diagnóstico, para un pavimento asfáltico precisa tanto de la experiencia y buen juicio del ingeniero encargado del proyecto, como del ejemplo de algunas herramientas que permitan definir ciertos parámetros funcionales para definir la condición del pavimento. (Guía metodológica).

Los parámetros funcionales están orientados hacia la comodidad y seguridad de los usuarios. Algunos de ellos pueden ser detectados por la simple inspección visual, tal es el caso de los excesos de asfalto en las mezclas y los desprendimientos superficiales, y por otro lado, está la respuesta dinámica del

¹² Guía Metodológica para el Diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos para carreteras, INVIAS

perfil del pavimento, la textura superficial y la resistencia al deslizamiento, pueden exigir el uso de equipos con algún nivel de sofisticación.

Un pavimento perfecto está nivelado y tiene una superficie continua sin roturas. En contraste, un pavimento dañado puede estar fracturado, distorsionado o desintegrado. Por ejemplo las fracturas se pueden considerar como grietas o resquebramiento (fractura de la superficie del pavimento). Las grietas pueden describirse como generalizadas, transversales, longitudinales, estrelladas o en bloque. Una distorsión del pavimento se puede poner en evidencia por los bacheos o el corrugado de la superficie. La desintegración del pavimento se puede observar como desmoronamiento (pérdida de la estructura del pavimento) del pavimento desde la subbase y pulido de la superficie.

El inventario de los daños visibles es, generalmente, el primero de un conjunto de pasos necesarios para evaluar la condición global de un pavimento. De esta forma, existen muchos tipos de degradación en los pavimentos asfálticos y diferentes niveles de gravedad para cada tipo. Estos deterioros se deben identificar considerando tres factores:

- 1) Tipo: Las degradaciones suelen clasificarse en primera instancia de acuerdo con los mecanismos que los originan (Tabla 3), otra manera de clasificar las fallas, es de acuerdo con la relación que ellas tengan con el comportamiento estructural del pavimento.

Tabla 3. Clasificación general de los deterioros de los pavimentos asfálticos

Clase	Tipo de deterioro	Causado originalmente por el tránsito	Causado originalmente por los materiales o el clima
Agrietamientos	Agrietamiento por fatiga (grietas longitudinales y piel de cocodrilo). Agrietamiento en bloque. Agrietamientos de borde. Agrietamiento longitudinal (no de fatiga). Agrietamiento transversal. Grietas parabólicas.	X	X X X X X
Deformaciones	Ahuellamiento. Abultamientos. Depresiones (baches). Desplazamientos de borde. Deterioro de parches. Expansiones.	X X	X X X X
Desprendimientos	Separación entre calzada y berma. Pulimento de agregados. Ojos de pescado. Descascaramiento. Pérdida de película de ligante. Pérdida de agregado.	X X	X X X X
Afloramientos	Exudación. Afloramiento de agua. Afloramiento de finos.		X X X
Otros deterioros	Desintegración de los bordes del pavimento. Escalonamiento entre calzada y berma. Erosión de las bermas.	X	X X

Fuente: Guía metodológica para el Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de carreteras, INVIAS

2) Gravedad: representa el daño del pavimento en términos de su progreso, así que entre más severo sea el daño, las medidas de corrección deberán tener mayor prioridad.

3) Extensión: se refiere al área o longitud del tramo evaluado, que es afectado por un deterioro determinado. En la **tabla 4** se presentan una comparación de la clasificación de los niveles de gravedad de algunos tipos de deterioros.

Tabla 4. Comparación de los niveles de gravedad de algunos tipos de deterioros de pavimentos asfálticos según diferentes agencias.

Tipo de falla	Nivel de gravedad	Agencia			
		LCPC (VIZIR)	DOT Ohio	ASTM	OECD
Piel de cocodrilo	Bajo	Fisuras finas formando mallas grandes, sin perdida de materiales	Fisuras multiples, de abertura menor a 6 mm	Fisuras finas longitudinales, paralelas, con pocas o ninguna conexion	Ancho de grietas menor de 2 mm
	Medio	Mallas mas cerradas, con perdida ocasional de materiales	Grietas multiples, de abertura mayor de 6 mm	Malla en forma de piel de cocodrilo, de ligera intensidad	Ancho de grietas entre 2 y 10 mm
	Severo	Malla muy cerradas, de menos de 200 mm de lado, con grietas abiertas, con o sin perdida de materiales	Grietas multiples, de abertura mayor de 6 mm, con perdida de materiales	Red de agrietamiento, con piezas bien definidas y posibles perdidas de materiales	Ancho de grietas mayor de 10 mm
Ahuellamiento	Bajo	Flecha menor de 20 mm	Flecha menor de 6 mm	Flecha de 6 a 13 mm	Flecha menor de 20 mm
	Medio	Flecha entre 20 y 40 mm	Flecha entre 6 y 25 mm	Flecha de 13 a 25 mm	Flecha entre 20 y 40 mm
	Severo	Flecha mayor de 40 mm	Flecha mayor de 25 mm	Flecha menor de 20 mm	Flecha mayor de 40 mm
Abultamientos	Bajo	Flecha menor de 20 mm	Deformaciones apenas perceptibles dentro del veh culo	Flecha entre 20 y 40 mm	Flecha menor de 20 mm
	Medio	Flecha entre 20 y 40 mm	Se produce alguna incomodidad dentro del veh culo	Flecha mayor de 40 mm	Flecha entre 20 y 40 mm
	Severo	Flecha mayor de 40 mm	Se produce gran incomodidad dentro del veh culo	Alta incomodidad al conducir	Flecha mayor de 40 mm
Exudacion	Bajo	Puntual	Poco visible	Poco visible. El asfalto no se adhiere a los zapatos o a los veh culos	No clasifica la gravedad
	Medio	Relativamente continua	Bastante visible	Visible. El asfalto se adhiere a los zapatos y los neumaticos durante algunas semanas del ano	No clasifica la gravedad
	Severo	Continua y muy marcada	Superficie negra	Abundante. El asfalto se adhiere a zapatos y neumaticos durante bastantes semanas del ano	No clasifica la gravedad
Areas parchadas	Bajo	Areas reconstruidas total o parcialmente, en buen estado	Menor de 1 pie cuadrado	En buena condicion y no genera incomodidad al conducir	No clasifica el deterioro
	Medio	Reparaciones superficiales puntuales en buen estado	Menor de una yarda cuadrada	Moderadamente deteriorado y / o genera alguna incomodidad en la conduccion al circular sobre el	No clasifica el deterioro
	Severo	Reparaciones en regular o mal estado	Mayor de una yarda cuadrada	Muy deteriorado y / o genera alta incomodidad para la conduccion	No clasifica el deterioro

Fuente: Guía metodológica para el Diseño y Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de carreteras, INVIAS

2.16 DRENAJE¹³

2.16.1 Sistema de drenaje

Para lograr un adecuado drenaje del pavimento, es preciso que la estructura disponga, siempre que lo requiera, de tres sistemas diferentes respecto del manejo del agua que lo pueda afectar, a saber:

1. Condiciones geométricas y textura superficial del pavimento.
2. Sistema de drenaje superficial.
3. Sistema de drenaje subterráneo.

2.16.2 Drenaje superficial

Las obras de drenaje superficial de un pavimento se encargan de la intercepción, recolección y remoción del agua de las superficies de la vía y de las áreas de los taludes, para reducir los riesgos de hidropneumático e inundación, así como para minimizar los inconvenientes a los usuarios por las salpicaduras que se producen al desarrollarse películas gruesas de agua en la superficie del pavimento en instantes de lluvia. Son aquellas que recogen y encauzan las aguas provenientes de la explanación y de la corona de la carretera. Los dispositivos más comunes para el drenaje superficial del pavimento de una carretera, son las cunetas y los bordillos, los cuales conducen el agua hacia bajantes o alcantarillas que, a su vez, las llevan a cauces naturales o sistemas de alcantarillado.

Para un excelente funcionamiento en estado de dichas estructuras debe ser verificado, asegurando que no existan deficiencias de pendiente longitudinal que favorezcan el encharcamiento, que sus dimensiones aseguren una capacidad hidráulica suficiente para disponer el agua aportada por las corrientes temporales y las lluvias, y que la remoción de los materiales producto de la erosión sea fácil.

2.16.3 Drenaje subterráneo

El objetivo de este sistema es evitar que las capas inferiores de la calzada y la subrasante adquieran un grado de humedad tal, que propicie su pérdida de capacidad portante y favorezca el deterioro del pavimento por la acción de las cargas del tránsito.

El agua puede ingresar al pavimento tanto a través de las grietas y otros defectos superficiales de la calzada, bermas o cunetas, como desde el subsuelo por elevación del nivel freático, acción capilar, infiltración caudal de la existencia de flujos subterráneos provenientes de zonas laterales.

¹³ IBID

En el instante de la evaluación del drenaje el ingeniero debe considerar ambas fuentes de agua y realizar un diagnóstico sobre la eficiencia de los componentes que existan para su manejo. Los dispositivos de drenaje subterráneo tienen una vida limitada que puede ser alargada haciéndolos objeto de una revisión y una conservación oportunas y adecuadas. La revisión tiene un doble objeto. En primer lugar, determinar las zonas de la carretera donde los pavimentos se deterioran por culpa de una insuficiencia o mal funcionamiento del drenaje. En segundo lugar, saber si los subdrenes funcionan o no.

2.16.4 Importancia del drenaje

Los sistemas de drenaje superficial y subterráneo del pavimento combaten dos problemas diferentes relacionados con una sola fuente: el agua. Estas obras se instalan para prevenir que las aguas de infiltración de diversas procedencias debiliten y degraden los materiales del pavimento. Por consiguiente, mientras la finalidad primaria del drenaje superficial es el mejoramiento de la seguridad de la vía, la del drenaje subterráneo es el mejoramiento de su comportamiento y de su confiabilidad. No obstante, considerando su importancia en el control de la cantidad de agua disponible para la infiltración en el pavimento, el drenaje superficial comparte una relación simbiótica con el drenaje subsuperficial.

El mantenimiento inadecuado del drenaje superficial tiene resultados fácilmente observables y a veces catastróficos. Sin embargo, los efectos de un inadecuado mantenimiento del drenaje subsuperficial toma más tiempo en manifestarse y, en consecuencia, suelen ser pasados por alto. Los deterioros de los dispositivos de drenaje subterráneo no solo afectan el sistema de drenaje, sino que su efecto se suele hacer extensivo a toda la carretera y a menos que los problemas generados en el pavimento por la acción del agua sean adecuadamente identificados y corregidos, la efectividad de cualquier trabajo adicional de mantenimiento o rehabilitación estará altamente comprometida.

2.17 DIAGNÓSTICO ESTABLECIMIENTO DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO¹⁴

La evaluación de diagnóstico, requerida para el diseño de obras de rehabilitación de un pavimento asfáltico, precisa tanto de la experiencia y buen juicio del ingeniero encargado del proyecto, como del empleo de algunas herramientas que le permitan definir ciertos parámetros funcionales y estructurales, necesarios para el establecimiento objetivo de la condición del pavimento.

¹⁴ Guía Metodológica para el Diseño de obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos para carreteras, INVIAS

Los parámetros de tipo funcional están orientados hacia la comodidad y la seguridad de los usuarios. Algunos de ellos pueden ser detectados por la simple inspección visual, tal es el caso de los excesos de asfalto en las mezclas y los desprendimientos superficiales, en tanto que otros, como la respuesta dinámica del perfil del pavimento, la textura superficial y la resistencia al deslizamiento, pueden exigir el uso de equipos con algún nivel de sofisticación.

Los parámetros estructurales son aquellos que se relacionan con la capacidad que tiene el pavimento para soportar apropiadamente el tránsito actual y futuro. Algunos tipos de falla que evidencian la debilidad estructural, pueden ser detectados visualmente (agrietamientos por fatiga, por ejemplo), mientras otros factores exigen la realización de medidas continuas o intermitentes para su detección y cuantificación. Las medidas continuas están orientadas principalmente a la determinación en continuo de los espesores de las diferentes capas del pavimento y a la localización de áreas con debilidades causadas por problemas internos de humedad en la calzada.

Las intermitentes, por su parte, buscan información sobre la deformabilidad elástica del pavimento, a partir de la cual es posible elaborar modelos de la estructura mediante técnicas de retrocálculo. La ejecución de algunas acciones destructivas complementarias (ensayos de laboratorio), suele ser necesaria para calibrar los modelos y obtener información verificable sobre las propiedades de los materiales de la calzada objeto de valoración.

Los tipos de ensayos por realizar dependen de los materiales encontrados y de los deterioros observados. Un programa típico de ensayos puede incluir, entre otras, medidas de densidad, resistencia y composición de las mezclas asfálticas; pruebas de densidad, gradación, plasticidad, desgaste y resistencia de los materiales granulares para buscar evidencias de su degradación y contaminación; también pruebas de clasificación y de capacidad portante de la subrasante en la condición de equilibrio que debe tener luego de varios años de servicio del pavimento.

Es conveniente, además, realizar determinaciones sistemáticas de humedad en las diferentes capas granulares y en la subrasante. Su comparación con la humedad óptima y los deterioros del pavimento facilitan la detección de problemas asociados a deficiencias en el funcionamiento o en la provisión de los dispositivos de drenaje subterráneo.

Los ensayos destructivos y no destructivos que se realizan en las diferentes unidades de análisis, suministran una estimación del valor promedio y de la desviación estándar de la propiedad que se está investigando. Lógicamente, a medida que el número de ensayos aumenta, los valores promedio estimados con esa muestra se vuelven más precisos y se acercan más estrechamente a los valores promedio de toda la población (valores reales de esa propiedad).

2.18 MODELOS DE COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS¹⁵

En el marco de la administración de pavimentos y al fin de predecir el deterioro que pueda sufrir dichos pavimentos a lo largo de su vida útil se utilizan distintos tipos de modelos de comportamientos. Estos modelos por lo general corresponden a expresiones matemáticas que permiten predecir la posible evolución del estado del pavimento en el tiempo, en base al conocimiento de las condiciones del mismo al momento de ponerlo en servicio y al momento de la realización del análisis; además permiten pronosticar los efectos, a corto y largo plazo, de la mantención efectuada sobre ellos, con el objetivo de realizar estimaciones razonables tanto en las oportunidades en que sea necesario llevar a cabo alguna conservación, como del nivel de deterioro resultante luego de la misma y su progresión en el tiempo.

Los modelos de deterioro pueden surgir a partir de desarrollos empíricos y/o mecanicistas. Los desarrollos empíricos tienen su origen en bases de datos reales conformadas a partir de pavimentos existentes, en dichas bases de datos se ha registrado gran cantidad de información referida a diversos aspectos entre los que se cuentan: información general de los pavimentos, datos de diseño (materiales, diseño estructural, diseño de juntas, etc.), características del drenaje y de las bermas, datos de tránsito, de condiciones climáticas y de deterioro a lo largo de su vida útil. Luego de determinar las variables más relevantes en la formación de cada deterioro, se realiza con ellas un análisis estadístico que da origen al modelo que percibe el comportamiento futuro del pavimento, con base en una ecuación que relaciona las variables seleccionadas, en ciertos casos de modelo generado puede tener la desventaja de ser aplicables a pavimentos en condiciones diferentes de aquellas en la que ese tomaron los datos.

Por otra parte, el desarrollo de modelos mecanicistas se basa no sólo en datos de pavimentos existentes, sino que particularmente en características del comportamiento de las diversas capas y materiales que conforman los pavimentos, específicamente en las propiedades físicas y mecánicas de la subbase, la base granular o estabilizada y el pavimento propiamente tal, sea este rígido o flexible (de hormigón o asfalto). Por ejemplo: un modelo de agrietamiento se basa en la determinación del nivel de fatiga acumulado en las losas, el que para ser calculado requiere la utilización de conceptos mecanicistas que permitan conocer las tensiones y deformaciones críticas generadas en función de las cargas de tránsito y del alabeo térmico.

2.18.1 Modelos de deterioro de Pavimentos Asfálticos (HDM-III)

Para el desarrollo de los modelos de HDM III se adoptó un sistema que combina métodos empíricos avanzados con principios mecanicistas. La metodología

¹⁵ Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.

utilizada fue fundamentalmente empírica, de manera que se desarrollaron modelos paramétricos utilizando técnicas de regresión estadística de la información proveniente de series de tiempo; información que habría sido coleccionada en una base de datos satisfactoriamente diseñada, a partir de pavimentos en servicio bajo diferentes condiciones de estructura y tránsito. Por otra parte, la forma funcional y los parámetros de los modelos se basaron, en la medida de lo posible, en teorías mecanicistas y en el conocimiento experimental del comportamiento estructural de los pavimentos y de los materiales que lo conforman.

La forma de los modelos es **incremental**, por lo que predicen el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de la sollicitación externa (tránsito y condiciones climáticas), tal como se muestra en la siguiente expresión:

(Deterioro futuro tras incremento de tiempo) =
f (condición actual, cargas y volumen tránsito, resistencia del pavimento, clima y mantención aplicada)

Esta forma de modelación presenta un problema debido a que la evolución del deterioro es los pavimentos es generalmente lenta y los cambios observados en la condición de los pavimentos son usualmente pequeños y muy sensibles a los errores de mediación. Además, muchos efectos son estadísticamente colineales (aumentan simultáneamente), como es el caso del tiempo y el tránsito acumulado, volumen de tránsito y edad, cargas de tránsito y resistencia estructural, etc., por lo que se hace difícil distinguir claramente las causas del deterioro.

Además, existe una debilidad en el enfoque empírico de usar correlaciones estadísticas para establecer la relación entre el deterioro del pavimento, como una variable dependiente, y las características del pavimento, tránsito y medio ambiente, como variables independientes; esta debilidad radica en que el resultado obtenido sólo es un reflejo de la situación local, no necesariamente identifica la verdadera relación fundamental entre las variables.

Con el objeto de evitar, o al menos minimizar, los inconvenientes antes mencionados, se aplicaron las siguientes técnicas de estimación a los datos en serie de tiempo de las diferentes secciones de pavimentos:

a) Regresión lineal basada en la estimación de coeficientes mediante mínimos cuadrados.

b) Regresión lineal de la transformación logarítmica de los parámetros, con corrección para la media logarítmica.

c) Regresión lineal de la transformación logarítmica de los parámetros (funciones de forma sigmoideal)

d) Regresión no lineal basada en mínimos cuadrados de los residuales.

e) Modelación probabilística del tiempo de falla para el inicio del deterioro usando estimación de máxima verosimilitud (con una variante del método de Newton Raphson para la maximación), y distribución de Weibull de los tiempos de falla.

f) Reducción de los datos de deterioro dentro de cada subsección individual a un incremento agregado del deterioro a lo largo del periodo de estudio, a fin de disminuir la varianza debida a los errores de mediación y mejorar la discriminación estadística de los efectos esperados de cada parámetro.

g) Uso del tiempo como la base para la predicción incremental del deterioro, asumiendo como variable explicativa tanto el volumen y las cargas de tránsito, como la edad del pavimento desde su construcción o último recarpeteo estructural.

En suma, para dar forma a los modelos y seleccionar los métodos analíticos que se deben utilizar y a fin de conformar los mejores modelos incrementales de predicción, se conjugaron las fortalezas de los dos métodos existentes para desarrollo de los modelos: el método mecanicista, en su perspectiva tanto teórica como experimental, y el método empírico.

Como ya se indicara, la gran mayoría de modelos de HDM III son incrementales, pero hubo uno en particular que no pudo ser desarrollado (como los otros) directamente del análisis estadístico de los datos con que se contaba, este es el modelo de ahuellamiento. Lo anterior se produjo debido a que en los intervalos de tiempo no era satisfactorio, entonces se realizaron estimaciones con base en los valores absolutos de deterioro, generando un modelo agregado de ahuellamiento. Para lograr darle forma incremental a este modelo agregado de ahuellamiento se utilizó en medio alternativo que consistió en diferenciar en función del tiempo el modelo agregado obtenido para conseguir así el incremento correspondiente, con el cual es posible originar un modelo incremental con la siguiente forma:

Deterioro_n = Deterioro_{n-1} MAS Incremento Del Deterioro

La base de datos utilizada en el desarrollo de los modelos HDM III perteneció a un estudio de caminos de Brasil, desarrollado entre los años 1976 y 1982 y para evaluar la validez de los modelos desarrollados, se utilizaron otras bases de datos provenientes de diferentes regiones y climas (Kenia, Túnez, Sudáfrica, Arizona, Illinois, Texas, etc.).

Los modelos de deterioro incrementales de pavimentos asfálticos cuyo comportamiento se modeló en HDM III fueron básicamente los que siguen:

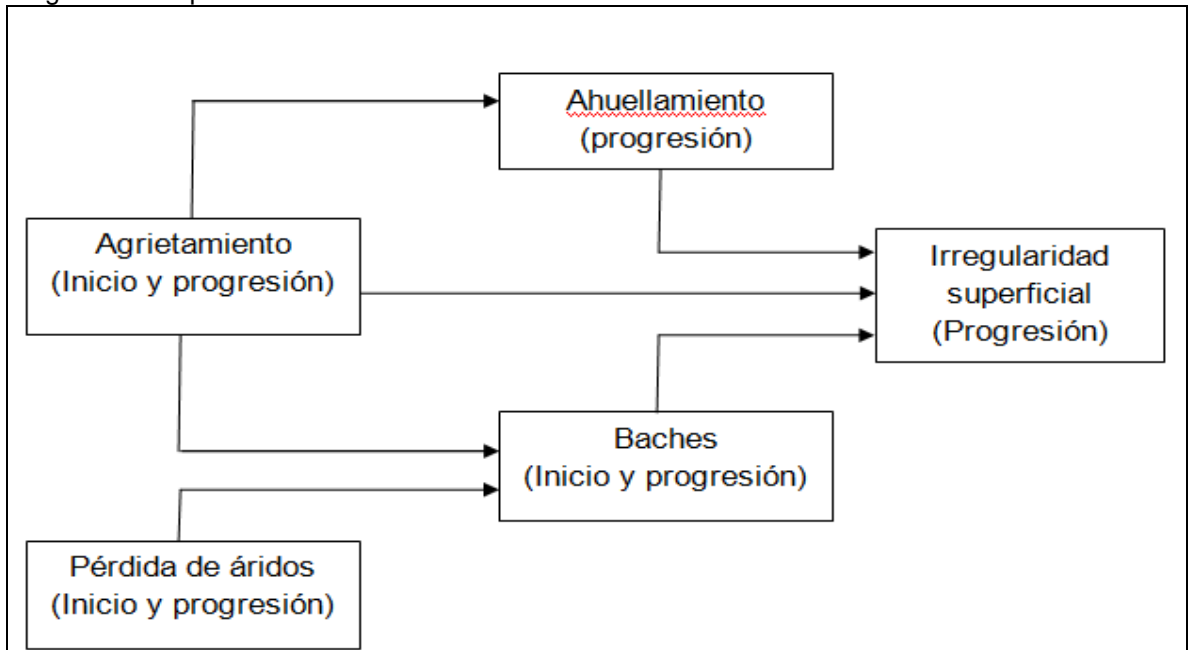
- Agrietamiento: en función de su extensión (como % del área superficial influenciada), severidad (de acuerdo al ancho de la grieta) y tipo (patrón visual de las grietas existentes).
- Pérdida de áridos: en función de su extensión(de manera análoga a las grietas)
- Baches: de acuerdo a su extensión (igual de las grietas) y volumen de baches abiertos por kilómetros de pista.
- Ahuellamiento: en función del promedio y la desviación estándar de la profundidad de la huella en la pista.
- Rugosidad: en términos de un perfil superficial estadístico del camino relacionado con la respuesta de los vehículos en movimiento.

La relación entre los modelos se presenta en la **figura 14**.

Los modelos de deterioro incrementales de HDM III presentan dos formas claramente diferenciadas, estas son:

1. Modelos de dos fases: son aquellos que están caracterizados por dos fases separadas en el deterioro, una de iniciación y otra de progresión, corresponden a esta clasificación los modelos de agrietamiento, pérdida de áridos y baches.
2. Modelos de una fase: son los modelos de progresión continua del deterioro, de esta variedad son los modelos de ahuellamiento y rugosidad.

Figura 14. Interacción entre los distintos modelos de deterioro para predecir la progresión de la irregularidad superficial en HDM-III.



Fuente. Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihaç T.

En HDM III no se formularon nuevos modelos a partir del análisis estadístico de datos para la segunda fase de deterioro de los pavimentos asfálticos, excepto aquellos propuestos para calcular el incremento en la rugosidad luego de aplicadas ciertas mantenciones, en el resto de los deterioros se siguen utilizando los mismos modelos de primera fase, cambiando en ellos los valores de aquellos parámetros que se ven afectados por cada actividad de mantención, por ejemplo: se cuenta la edad desde cero nuevamente, se cambia el número estructural, etc. Además, para reflejar el impacto que se produce sobre los parámetros sobre los modelos inmediatamente después de la mantención se utilizan relaciones basadas en la experiencia práctica y el conocimiento que hay del comportamiento de los pavimentos asfálticos.

En HDM III las intervenciones se clasificaron en seis categorías primarias, de acuerdo al momento en que se piensa aplicar y a cuál es su nivel de impacto sobre el estado del pavimento. Las categorías de intervención son:

- Mantenimiento rutinario
- Bacheo
- Tratamiento preventivo
- Resellado
- Recapado
- Reconstrucción

La forma que toman los modelos de deterioro luego de la aplicación de las mantenciones antes mencionadas se dan a conocer a continuación:

- a) Las relaciones para predecir el efecto del parchado han sido formuladas con base en la experiencia práctica, sólo el modelo de cambio en la rugosidad se ha basado en el análisis estadístico.
- b) Para el tratamiento preventivo no hay disponibles relaciones estadísticamente determinadas, por lo que se han incorporado relaciones tentativas basadas en una evaluación ingenieril de la experiencia con tratamientos similares en distintos países.
- c) En el caso del resellado se generó un nuevo modelo para calcular el incremento de la rugosidad, para los demás deterioros se continúan aplicando los modelos de primera fase, pero realizando una actualización a los valores de número estructural, deflexión promedio y áreas de agrietamiento previo después del resellado. Para la actualización de valores se utilizan relaciones basadas en la lógica y la experiencia de comportamientos de diversos pavimentos.
- d) Los efectos del recapado en el deterioro del pavimento provocan la reclasificación del tipo de superficie en estudio (que cambia de características debido al recapado), lo que induce a utilizar las relaciones de primera fase que correspondían al nuevo tipo de superficie para calcular

las progresiones de los deterioros. Además se comienza nuevamente a contar la edad y ejes equivalentes sobre ese pavimento y se realiza una actualización de los valores del número estructural, la deflexión promedio y las áreas de agrietamiento previo después del recapado. También debe consignarse el efecto inmediato del recapado sobre los deterioros, que consiste en una disminución a cero de los agrietamientos, pérdida de áridos y baches. Solo en el caso de la rugosidad se generó un nuevo modelo a partir de análisis estadísticos para calcular su incremento.

2.18.2 Evaluación Económica en “HDM”

Esta evaluación se basa en un programa computacional desarrollado por el Banco Mundial en conjunto con un grupo de países, que desarrollaron modelos de predicción para distintos tipos de deterioro y superficies de pavimentos, el que está desarrollando en detalle en un capítulo posterior. Esta herramienta tiene la característica de poder manejar tanto datos técnicos como económicos modelando los deterioros y recomendando acciones de conservación con sus respectivos costos e inversiones a lo largo de la vida útil del proyecto.

De esta manera se agiliza enormemente la evaluación de proyectos de infraestructura y permite reducir la incertidumbre con respecto al comportamiento del pavimento. Así las agencias encargadas pueden optimizar sus recursos elevando el nivel de servicio de la infraestructura y disminuyendo los costos.

A diferencia del HDM-III, el HDM-4 permitirá realizar evaluaciones tanto en pavimentos de hormigón como de asfalto, con lo que el campo de aplicación del programa es mucho mayor. Con ello se pueden comparar proyectos de distintas características junto con realizar los respectivos análisis de sensibilidad.

3. CALIDAD

En este capítulo se muestra claramente el concepto de calidad y sus procedimientos en el desarrollo de los controles que se deben ejercer dentro de la ejecución de un proyecto de Infraestructura Vial y/o en el cumplimiento de la Administración de Pavimentos.

3.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

Conjunto de normas interrelacionadas de una organización por los cuales se administra de forma ordenada la **CALIDAD** de la misma, en la búsqueda de la mejora continua. Entre dichos elementos, los principales son:

1. Estructura de la organización: responde al organigrama de los sistemas de la empresa donde se jerarquizan los niveles directivos y de gestión. En ocasiones este organigrama de sistemas no corresponde al organigrama tradicional de una empresa.
2. Estructura de responsabilidades: implica a personas y departamentos. La forma más sencilla de explicitar las responsabilidades en calidad, es mediante un cuadro de doble entrada, donde mediante un eje se sitúan los diferentes departamentos y en el otro, las diversas funciones de la calidad.
3. Procedimientos: responden al plan permanente de pautas detalladas para controlar las acciones de la organización.
4. Procesos: responden a la sucesión completa de operaciones dirigidos a la consecución de un objetivo específico.
5. Recursos: no solamente económicos, sino humanos, técnicos y de otro tipo, deben estar definidos de forma estable y circunstancial.

3.2 PROCEDIMIENTO DE CALIDAD

Es el modo de ejecutar determinadas acciones que suelen realizarse de la misma forma, con una serie común de pasos claramente definidos, que permiten realizar una ocupación, trabajo, investigación, o estudio, se puede aplicar a cualquier empresa.

3.2.1 Establecimiento de un procedimiento de calidad

Para mejorar la calidad (eliminando la calidad deficiente y mejorando el proceso de trabajo) en una compañía es necesario que tanto la administración como los empleados reflexionen a fin de definir los objetivos alcanzables en términos de calidad que puedan ser aceptados por todos.

Una "**política de calidad**" incluye las directivas y objetivos generales, en términos de calidad, dispuestos por la administración de una compañía y formalizados en un documento escrito. La política de calidad define las directivas e intereses buscados en términos de satisfacción del beneficiario.

El término "**procedimiento de calidad**" se refiere al **enfoque y a la organización operativa** usada para alcanzar los objetivos establecidos por la política de calidad.

Antes que nada, es preciso realizar el inventario de la compañía que permitirá delinear en detalle a la organización y describir con claridad el proyecto de la misma:

- los objetivos generales de la compañía
- la organización y responsabilidades generales: ¿quién hace qué?

En esta etapa, se puede definir una nueva estructura que considere la organización de calidad. Esta "*reorganización drástica*" permite que las compañías redefinan su actividad y objetivos principales y constituye un medio para atenuar la resistencia al cambio.

En tanto el objetivo de calidad sea la satisfacción del beneficiario, es esencial definir a los beneficiarios correctamente.

Dado que la implementación de un procedimiento de calidad generalmente requiere cambios en la organización, el procedimiento debe empezar por dar participación al nivel jerárquico más elevado. La redacción de una carta de compromiso firmada por la administración sienta el procedimiento de manera inamovible y legitima a un administrador de calidad cuando se implementan cambios en la operación.

Un procedimiento de calidad depende de los sucesivos planes de acción que permiten que una compañía establezca con exactitud y formalice los objetivos a corto plazo y los medios para alcanzarlos.

El inicio de un procedimiento de calidad implica sobre todo el establecimiento de un nuevo espíritu compartido por todos los miembros de la compañía. Por lo tanto, un proyecto exitoso depende en gran parte de la comunicación que rodea a su implementación. De este modo, una campaña de comunicación permitirá que los empleados se informen acerca de las medidas que se han tomado y encuentren su lugar dentro del proyecto de la compañía.

3.2.1.1 Procedimiento de calidad en la Administración de pavimentos

La elaboración de un procedimiento de calidad es una herramienta que contribuye a toda Entidad a implementar la mejora continua de la calidad en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles en vías urbanas. **En el**

desarrollo de este estudio no se evidencia la implementación de procedimientos de calidad aplicados a los pavimentos administrados por el gobierno local, tal vez debido al poco interés que genera realizar un sistema de gestión de calidad que permite la consecución de la mejora de la calidad en cualquier proceso de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles.

Como herramienta resulta muy útil en la gestión de los procesos en entidades públicas como el Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, IDU, y Alcaldías Locales de Bogotá entre otros, debido a que la misma permite prever y eliminar problemas, así como encontrar oportunidades para mejorar.

3.3 PROCESO DE CALIDAD ENFOQUE ADMINISTRATIVO DE PAVIMENTOS

El concepto de calidad está ligado al proceso que se debe llevar para realizar una rehabilitación o mantenimiento a un pavimento flexible de alta calidad; ya que el proceso es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan transformando elementos de entrada en resultados que se evidencia en el producto. En el estándar ISO 9000:2000 el producto se define como¹⁶: el resultado de un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman entradas en salidas.

Los elementos de entrada para un proceso suelen ser resultados de otros procesos. Desde el desarrollo del enfoque de aseguramiento, todos los procesos deben ser planificados, documentados y puestos en práctica bajo condiciones controladas para que se garanticen pavimentos flexibles de calidad.

El concepto de calidad del producto sugiere que la calidad ha de estar presente en todas las fases de su ciclo de vida, desde el diseño hasta el servicio en marcha. Por consiguiente se debe identificar a través de la investigación la evaluación estructural, daños en el pavimento (Auscultación), análisis del sistema de drenaje, entre otros, las características que los pavimentos flexibles deben reunir para satisfacer los requisitos de los usuarios (Calidad como aptitud para el uso). Luego dichas características se deben trasladar a especificaciones, siendo el proceso de mantenimiento y rehabilitación el responsable de que el pavimento cumpla los requisitos de diseño (“calidad como conformidad con especificaciones”).

En una primera aproximación, podemos definir un proceso como un conjunto de actividades realizadas por un individuo cuyo objetivo es transformar entradas en salidas que serán útiles para un usuario. Esta definición señala la transformación necesaria en todo proceso. En esta línea, Oakland (1989) completa el concepto de

¹⁶ FUENTE: GESTION DE LA CALIDAD: CONCEPTOS, ENFOQUES, MODELOS Y SISTEMAS. Cesar Cmisón, Sonia Cruz y Tomás González.

proceso como la transformación de una serie de entradas o inputs, entre los que se incluyen operaciones, métodos o acciones, en salidas o outputs que satisfacen las necesidades y expectativas de los usuarios en forma de productos, información, servicios o en general resultados.

Por tanto, antes de seguir avanzando en definir completamente este concepto tenemos que darnos cuenta de que una organización puede ser definida como un conjunto de procesos, que se realizan simultáneamente y además están interrelacionados, lo cual da posibilidad a la gestión por procesos.

En conclusión se puede afirmar que un proceso es la secuencia de actividades lógicas diseñada para generar un output preestablecido para usuarios identificados a partir de un conjunto de inputs necesarios que van añadiendo valor. Todo proceso, para ser considerado como tal, debe cumplir una serie de características tales como:

1. Posibilidad de ser definido. Siempre tiene que tener una misión, es decir, una razón de ser.
2. Presentación de unos límites, es decir, claramente especificados su comienzo y su terminación.
3. Posibilidad de ser representado gráficamente.
4. Posibilidad de ser medido y controlado, a través de indicadores que permitan hacer un seguimiento de su desarrollo y resultados e incluso mejorar.
5. Existencia de un responsable, encargado de la eficiencia y la eficacia del mismo entre otras muchas tareas, como por ejemplo, asegurar la correcta realización y control del proceso en todas sus fases.

Aparte de estas características, todo proceso consta de los siguientes elementos: un input o entrada, suministrado que cumple unas determinadas características preestablecidas; el proceso, como secuencia de actividades que se desarrollan gracias a unos factores, tales como personas, métodos y recursos; y un output o salida, que será el resultado del proceso e irá destinado a un usuario, y además tendrá valor intrínseco, medible o evaluable para éste.

Como ya sabemos, la Gestión de la Calidad Total supone la implantación de una serie de principios y la utilización de una serie de herramientas y técnicas para conseguir la mejora de los procesos. Algunas de estas herramientas suponen el uso de técnicas estadísticas y otras, sin embargo, se basan en la creatividad y la imaginación. Al analizar los procesos y sus posibilidades de mejora, podemos encontrarnos con diferentes situaciones, y por tanto las mejoras a introducir pueden ser de dos tipos: mejoras estructurales o mejoras en el funcionamiento.

3.4 PROCEDIMIENTOS DE CHEQUEO, REVISIÓN E INSPECCIÓN EN PROYECTOS DE OBRA CIVIL.

En toda etapa del proyecto, por ejemplo, se deberá efectuar un chequeo continuo, independiente y efectivo al interior de cada disciplina y un chequeo cruzado, de similares características, entre especialidades. El objetivo de estas revisiones e inspecciones es compatibilizar los proyectos desarrollados por las distintas especialidades, **identificar debilidades del proyecto** y **velar por el cumplimiento de los objetivos establecidos por el propietario**. Se deberán caracterizar los mecanismos de revisión que usará el equipo revisor, además de los que se desarrollen al interior de cada especialidad, los que se efectuarán entre especialidades y los que ejecutarán profesionales externos.

Las fechas de las revisiones deberán definirse de acuerdo con la programación del avance del proyecto. Los profesionales deberán desarrollar sus actividades teniendo en cuenta esta situación, para que su desarrollo pueda ser coordinado, revisado y evaluado. Los especialistas que efectúen revisiones, al interior de su grupo o como parte del chequeo cruzado requerido entre especialidades, deberán demostrar calidad y experiencia acordes con las exigencias del proyecto.

Previamente a la emisión final de los planos del proyecto, cada especialidad deberá entregar su proyecto a las restantes especialidades con el objeto de efectuar un chequeo cruzado final.

Todo mecanismo de revisión, inspección y ensayo utilizado en el proyecto deberá estar explícitamente detallado. Los procedimientos deberán encontrarse debidamente normados y documentados.

No se podrán aceptar procedimientos basados en prácticas que no se encuentren documentadas. Todo acuerdo alcanzado, estándar de calidad adoptado o cambio efectuado al concepto original del proyecto, ya sea durante la etapa de diseño o de construcción, deberá quedar documentado y deberá informarse a las restantes especialidades.

Tanto durante la etapa de diseño como la de construcción, se deberán definir los plazos de ejecución y entrega de cada componente del proyecto. Se deberán definir los canales y protocolos de comunicación.

Cada una de las especialidades deberá contar en cada momento con versiones actualizadas de los proyectos ejecutados por las otras especialidades. Periódicamente el equipo revisor deberá citar a reuniones de coordinación entre especialistas del grupo ejecutor.

Para todo proyecto con objetivo de protección de operación o infraestructura se deberá elaborar un compendio *As built* de la obra. En proyectos con objetivo de

protección de vida ese compendio *As built* deberá ser elaborado si expresamente es solicitado por la institución.

Toda modificación del proyecto original debe ser aprobada por la institución solicitante, así mismo, cualquier cambio de la obra que se genere durante la etapa de construcción deberá ser aprobada por el constructor, la inspección de obra y por las especialidades. Toda modificación que se produzca en esta etapa deberá quedar registrada en el compendio *As built* de la obra.

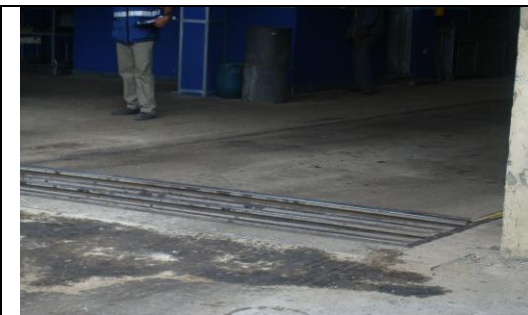
4.0 RESULTADOS DE ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO SOBRE TRAMOS DE VÍA EN LA LOCALIDAD DE KENNEDY BOGOTÁ D.C

La información que a continuación se suministra, fue el resultado de un análisis deflectométrico en algunos segmentos de viales de la localidad de Kennedy por medio de la Viga Benkelman, desarrollado por el grupo de investigación “Roma” del programa de Ingeniería Civil por medio del proyecto “**Evaluación Deflectométrica del estado actual de los pavimentos asfálticos urbanos en servicio en la ciudad de Bogotá**”, los resultados de éste proyecto son los que se muestran a continuación y sirvieron como valor agregado para el desarrollo y culminación del presente informe.

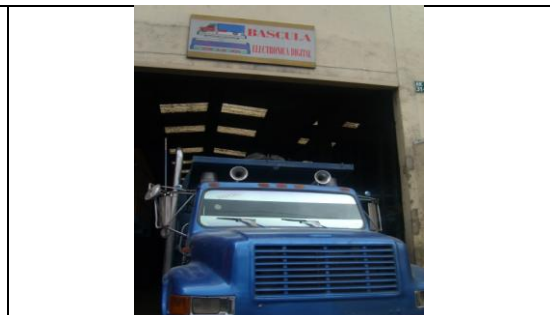
4.1 PROCEDIMIENTO EJECUTADO EN CAMPO

Para el desarrollo del ensayo se realizó el siguiente procedimiento, de modo que en todo el proceso se garantice la calidad en el manejo de la Viga Benkelman y en la toma de los datos. A continuación se presenta un paso a paso:

1. Previamente a la realización del ensayo se debe asegurar que el vehículo de carga cumpla con la condición establecidas de pesaje (8.2 Ton en el eje trasero), como se aprecia en las fotografías 1, 2, 3 y 4 y se debe garantizar una presión de inflado de 75 a 85 PSI.



Fotografía 1. Báscula digital



Fotografía 2. Ubicación del vehículo de carga.



Fotografía 3. Localización del eje trasero sobre la báscula.



Fotografía 4. Toma de la lectura de pesaje.

2. Una vez localizado el lugar donde se realizara el ensayo (usualmente los puntos de medición son localizados a 50cm de extremo del carril, como se muestra en la fotografía 5), la volqueta es llevada hasta dicho punto (fotografía 5) y se coloca la llanta a usarse sobre el mismo, de tal manera que éste coincida con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 15).



Fotografía 5. Localización a 50 cm del andén.

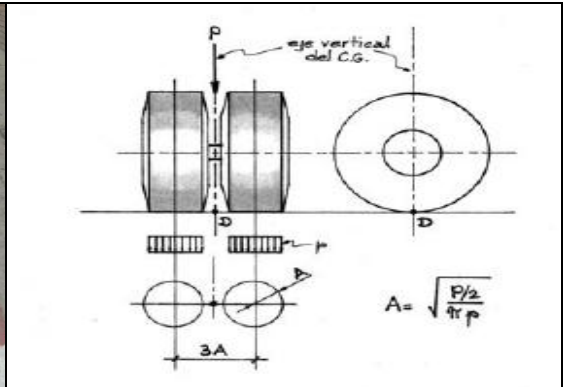


Figura 15. Centro de gravedad y correcta posición la Viga Benkelman

3. Se procede armar la Viga Benkelman; primero se ubica la parte fija (fotografía 6) que es apoyada posteriormente sobre el terreno gracias a sus tres apoyos. Luego se acoplan a la viga los dos brazos (fotografía 7).



Fotografía 6. Parte fija de la Viga Benkelman.



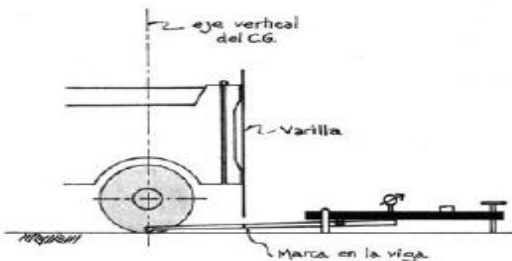
Fotografía 7. Acople de los dos brazos a la parte fija.

- Ya estando ubicados los neumáticos, se ubica en medio de ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocado nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado (fotografías 8, 9 y 10).



La ubicación de este punto se dificulta tanto en forma visual como manual, y sería demasiado desgastante realizar el mismo procedimiento cada vez que se realizara la medición, así que es necesario realizar un procedimiento preliminar que genere agilidad y precisión en la posición del equipo. Entonces se coloca la viga en la posición requerida, pero en la parte exterior de las mismas, utilizando una plomada, se hace coincidir el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Luego se toma como punto de referencia una varilla vertical o cadena atada a la parte trasera del camión (**ver figura 16**), y justo en la parte donde esta coincide con la viga se efectúa una marca de manera tal que, en adelante, solo hay que hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincida con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

Figura 16. Ubicación de la Viga Benkelman con la ayuda de una varilla



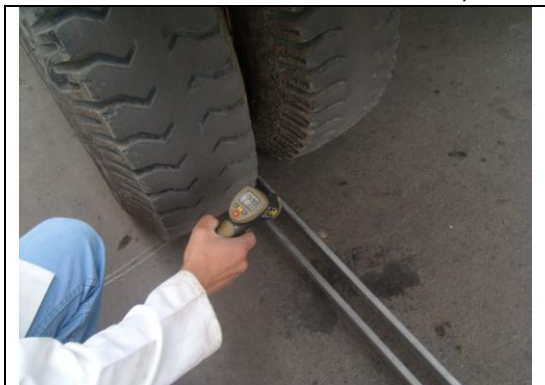
Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos). Extraído página web: <http://www.camineros.com/docs/cam039.pdf>

5. Posteriormente, teniendo la viga ya instalada en el punto de medición, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión (fotografía 11).



Fotografía 11. Verificación de posición de la Viga Benkelman.

6. Se procede a tomar la temperatura del pavimento justo en el momento que se realizará la toma de las medidas en los deformímetros, ver fotografía 12.

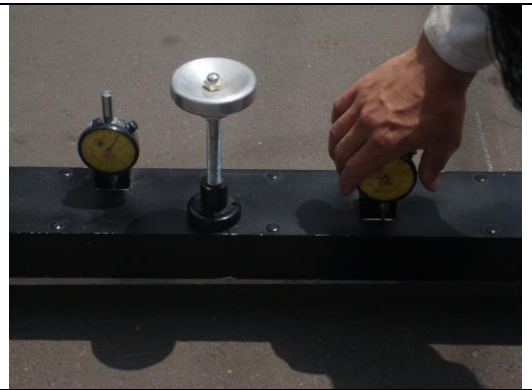


Fotografía 12. Toma de temperatura, con termómetro digital.

7. Luego se nivela la Viga Benkelman (fotografía 13) y se procede a colocar los deformímetros en cero (fotografía 14 y 15), se hace una señal para que el conductor del camión avance lentamente una distancia aproximada de diez metros (fotografía 16) y se toman las lecturas que presentan cada uno de los deformímetros cuando estos se hayan estabilizado.



Fotografía 13. Nivelación de la viga.



Fotografía 14. Ajuste de deformímetros.



Fotografía 15. Deformímetros en cero.



Fotografía 16. Movimiento del camión.

8 Se inicia nuevamente el mismo procedimiento a una distancia de 50 metros, si el tramo a evaluar es lo suficientemente largo o en el caso de que sean muy cortos como por ejemplo para calles de utiliza una distancia de 25 metros (fotografía 17).



Fotografía 17. Toma de medida a 25mt

9 Para el desarrollo correcto de todo el ensayo es necesario la participación de tres operadores:

- Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas.
- Un operador que anote las mediciones.
- Un ayudante que coordine con el conductor del camión.

Todo el trabajo debe ser supervisado constantemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores obtenidos en el desarrollo del ensayo y del mismo modo anotará cualquier característica, anomalía o suceso que considere importante y que posteriormente serán útiles para el análisis de resultados (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.).

10. Los datos y cualquier anotación relacionada con el estado del pavimento, condición climática o características en general de la vía, deben ser recopilados en un formato, donde se presenten de forma ordenada.

4.2 DATOS Y CÁLCULOS

Los datos recopilados en campo para cada una de las vías en estudio de la localidad de Kennedy se presentan en forma adecuada para cada barrio y especificando cualquier observación.

Las lecturas obtenidas de la viga Benkelman no son las deflexiones como tal, estos datos registrados tienen que ser analizados a través de un proceso metodológico, en donde se utilizan una serie de ecuaciones y conversiones. Sabiendo que el análisis es el mismo para cada uno de los registros, a través de un ejemplo se pretende dar a conocer como se obtiene las deflexiones y los radios de curvatura¹⁷.

Para la obtención de la deflexión bajo el eje de carga se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$D_o = 4 \times L_o \quad \text{donde,}$$
$$L_o = \text{Lectura del dial } D_o \text{ en } 0,001''.$$
$$4 = \text{Factor de corrección de lecturas obtenidas.}$$

La deflexión a 25cm del eje de la carga se calcula:

¹⁷ TOVAR SABOGAL, Laura Catalina. Análisis deflectométrico a través de la viga Benkelman en tramos de vías seleccionadas en la localidad de Kennedy. Bogotá, 2009, 158 p. Trabajo de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería.

$D_{25} = 4 \times L_{25}$ donde,
 $L_{25} =$ Lectura del dial D_{25} en 0,001"

Las deflexiones D_0 y D_{25} deben expresarse en 0,01mm, entonces para el ejemplo a desarrollar, si se tiene una lectura en la abscisa $K0 + 000$ y el dato para D_0 en 0,001" es 19. Se hace la conversión a mm de la siguiente forma:

$$19 * 0,001" = 0,019 \text{ pulg} * 25,4\text{mm} = 0,4826\text{mm}$$

$$0,4826\text{mm} * 100 = 48,26 \text{ 0,01mm}$$

$$F.C \text{ de la viga benkelman} = \frac{\text{longitud del brazo}}{\text{distancia del dial al inicio del brazo}}$$

$$\text{factor de correccion de la viga benkenlam} = \frac{2,44\text{m}}{0,61\text{m}}$$

$$\text{factor de correccion de la viga benkenlam} = 4$$

Luego entonces,

$$48,26 \text{ 0,01mm} * 4 = 193 \text{ 0,01mm} \text{ de deflexión sin corregir por temperatura.}$$

Corrección por temperatura (FCT):

$$F.C.T = \frac{1}{(1 - 0,0008 * h(20 - t))}$$

$h =$ espesor de la carpeta $t =$ temperatura del ensayo

Ejemplo de cálculo para D_0 del $K_0 + 000$ si:

T° ensayo = 25° C y el espesor del pavimento = 5cm

$$F.C.T = \frac{1}{(1 - (-0,02))} = \frac{1}{1,02} = 0,98$$

Lectura D_0 del $K_0 + 000$ corregida por temperatura es:

$$0,98 \times 193 = 189 \text{ 0,01mm}$$

Y de la misma forma se calcula para obtener la deflexión D_{25} .

Cálculo del radio de curvatura para $K_0 + 000$

$$RC = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})}$$

$$RC = \frac{3125}{(189 - 120)} = 45,3 \text{ mt}$$

A continuación se presentan los cuadros y gráficas obtenidos del cálculo de las deflexiones y radios de curvatura, pero antes teniendo en cuenta los siguientes datos:

Factor de Corrección de la Viga	4
Longitud del Brazo	2,44 m
Distancia del dial al inicio del brazo	0,61 m
H= espesor de la carpeta	12 cm

Siglas empleadas

Lo	Lectura del Dial Do en 0,001"	Do	Deflexión bajo el eje de la carga
L25	Lectura del Dial D25 en 0,001"	D25	Deflexión a 25cm del eje de la carga
FCV	Factor de Corrección de la Viga	FCT	Factor de corrección por temperatura
RC	Radio de Curvatura		

4.3 MEDICIONES DE DEFLEXIONES

A continuación se presenta la identificación de cada uno de los tramos analizados, los cuales se identifican con una letra, con la finalidad de simplificar su referencia en los cuadros con la relación de los datos obtenidos.

Cuadro1. Relación de Tramos viales analizados

TRAMOS SELECCIONADOS PARA ENSAYO DE VIGA BENKELMAN				IDENTIFICACION DEL TRAMO
BARRIO	NOMENCLATURA	INICIAL	FINAL	
Alquería de la fragua I	Kra 68 C bis	Calle 38 sur	Calle37 B sur	A
Alquería de la fragua I	Kra 68C bis	Calle 38Asur	Calle 38 sur	B
Alquería de la fragua I	Kra 68 A bis	Calle 37AbisAsur	Calle 37 B sur	C
Alquería de la fragua I	Kra 68 B	Calle 37Bsur	Calle 38 A sur	D
Alquería de la fragua I	Calle 38 A sur	Kra 68B	Kra 68 C bis	E
Alquería de la fragua II	Kra 68 G	Calle 39 sur	Calle 37 B sur	F
Alquería de la fragua II	Kra 68 D Bis	Calle 37Bsur	Calle 38 A sur	G
Bavaria II	Kra 77	Calle 8 B bis	Calle 8 C bis	M
Bavaria II	Kra 72 B	Calle 8 B bis	Calle 9	Q
Bavaria II	Kra 74	Calle 8 A	Calle 8 A bis	R
Bavaria II	Kra 73	Calle 7F	Calle 7 C bis	P
Bavaria II	Kra 77	Calle 8 C bis	Calle 9	N
Bavaria II	Kra 75	Calle 8 A bis	Calle 8 B bis	O
Castilla	Calle 7 F sur	Kra 78 F	Kra 78 C	H
Mandalay	Kra 73 C	Calle 5 C	Calle 5 B	K
Mandalay	Kra 73 B	Calle 5	Calle 5 B	L
Mandalay	Kra 73 C	Calle 4	Calle 5	J

Para el análisis Deflectométrico del que a continuación se presenta un resumen, se atendieron las siguientes consideraciones, tanto para los tramos, los barrios y la localidad:

- La deflexión óptima corresponde al 85% del valor máximo obtenido para la deflexión máxima determinada.
- El rango aceptable de valores establecido para la deflexión optima obtenida es de (150-350 (0,001mm)) con el cual se infiere un apropiado desempeño de las estructura del pavimento después de realizada una rehabilitación.
- El rango de curvatura para los valores de radio de curvatura obtenidos es de (10 - 30 mt), condición que permite deducir un adecuado comportamiento de la estructura del pavimento.

De esta manera se determinaron los siguientes valores para la localidad:

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA LOCALIDAD	VALOR
Radio de curvatura promedio(mt)	24.748
Deflexión optima promedio(0.001 mm)	219.909
Do corregido promedio(0.001 mm)	210.568

Cuadro 2. Resumen de resultados por barrio

RESUMEN DE RESULTADOS POR BARRIO			
BARRIO	Do corregido	(0,001 mm)	Radio de curvatura
Alqueria	211,717	213,483	21,851
Castilla	232,656	228,931	21,565
Mandalay	200,551	204,846	26,187
Bavaria	197,350	232,375	29,387

4.3.1 Resultados del análisis estadístico

A continuación se presenta un cuadro resumen de los resultados estadísticos obtenidos y agrupados por mediciones para Do corregido y Radio de curvatura, en los cuales se puede apreciar que los parámetros de distribución de la media y la mediana presentan valores similares para cada barrio lo cual indica un comportamiento relativamente simétrico.

Cuadro 3. Resultados estadísticos de deflexiones

RESULTADOS ESTADISTICOS-Do		
BARRIO	DATO	RESULTADO
ALQUERIA	MEDIA	211,717
	MEDIANA	195,978
	DESV ESTANDAR	52,190
	PERCENTIL 85	267,240
CASTILLA	MEDIA	232,656
	MEDIANA	238,017
	DESV ESTANDAR	36,143
	PERCENTIL 85	260,468
MANDALAY	MEDIA	200,551
	MEDIANA	185,569
	DESV ESTANDAR	41,308
	PERC 85	194,348
BAVARIA	MEDIA	197,350
	MEDIANA	191,690
	DESV ESTANDAR	40,493
	PERCENTIL 85	235,160

Cuadro 4. Resultados estadísticos de radio de curvatura

RESULTADOS ESTADISTICOS-RAD.CURVATURA		
BARRIO	DATO	RESULTADO
ALQUERIA	MEDIA	19,795
	MEDIANA	17,690
	DESV ESTANDAR	6,862
	PERCENTIL 85	27,302
CASTILLA	MEDIA	21,565
	MEDIANA	20,839
	DESV ESTANDAR	4,176
	PERCENTIL 85	24,692
MANDALAY	MEDIA	21,922
	MEDIANA	20,994
	DESV ESTANDAR	4,663
	PERCENTIL 85	26,640
BAVARIA	MEDIA	27,823
	MEDIANA	23,805
	DESV ESTANDAR	11,138
	PERCENTIL 85	39,560

No obstante para las mediciones de **Do** y **radio de curvatura**, se observa una leve tendencia asimétrica positiva toda vez que los valores de la mediana son ligeramente inferiores a la media.

Los criterios empleados para el análisis para cada uno de los tramos estudiados son:

- La deflexión óptima corresponde al 85% del valor máximo obtenido para la deflexión máxima determinada.
- El rango aceptable de valores establecido para la deflexión optima obtenida es de (150-350 (0,001mm)) con el cual se infiere un apropiado desempeño de las estructura del pavimento después de realizada una rehabilitación.
- El rango de curvatura para los valores de radio de curvatura obtenidos es de (10 - 30 mt), condición que permite deducir un adecuado comportamiento de la estructura del pavimento.

Cuadro 5. Resumen de resultados por tramo

RESUMEN DE RESULTADOS POR TRAMO			
TRAMO	Do corregido promedio. (0,001	Deflexion Optima. (0,001 mm)	Radio de curvatura promedio. (mt)
A	148,889	149,528	28,711
B	154,261	147,156	27,357
C	184,716	182,567	21,574
D	169,697	184,846	25,864
E	166,084	162,304	27,776
F	260,962	231,344	18,090
G	222,485	231,794	18,986
H	232,656	228,931	21,565
J	170,350	136,799	32,154
K	237,171	215,145	21,861
L	194,132	186,069	24,547
M	194,222	186,687	33,492
O	181,043	161,315	26,476
P	217,161	232,375	33,323
Q	196,974	224,397	24,256
R	216,577	189,941	26,579

Con los datos anteriores se puede establecer un valor general de deflexión óptima promedio para la localidad de Kennedy que corresponde a 254,471 (0,001mm) y de deflexión promedio de 220.364 (0,001mm) estos valores se consideran adecuados, en razón a que se encuentran dentro del rango aceptable de valores establecido de (150-350 (0,001mm)).

Los valores de deflexiones obtenidos muestran variaciones manifestadas en la presencia de picos y depresiones, esto insinúa un comportamiento inusual, pues estas deberían ser de tendencia uniforme con lo cual se podría inferir que el pavimento tiene un comportamiento estructuralmente estable; esto es contrastado con los resultados por barrio y tramo donde se corrobora que para la totalidad de los tramos estudiados se presentan valores de deflexión promedio, deflexión óptima y radio de curvatura promedio incluidos dentro de los rangos aceptados.

De igual manera para el radio de curvatura promedio se obtuvo un valor de 24.748 mt, este valor también se encuentra dentro del rango de radio de curvatura de (10 - 30 mt), considerado como aceptable.

Teniendo en cuenta las mediciones realizadas y la inspección visual al momento de realizar éstas, el pavimento no presenta manifestaciones de deterioro; pero según información suministrada por ASICUM, el periodo de vida de las vías analizadas es muy corto por lo que es indispensable la implementación de medidas de administración vial capaces de generar soluciones a los problemas que se van a presentar. Cuando estos sean evidentes es recomendable ejecutar la propuesta de diseño de sobrecapa.

De acuerdo con los resultados obtenidos para cada uno de los tramos analizados se puede concluir que para la mayor parte de estos (87%) se aprecia una disminución en el valor de la deflexión (Do corregido promedio), acompañado de un incremento en el valor del radio de curvatura promedio, situación que coincide con la deflexión tipo I, con una curva extensa y poco profunda, como la mostrada en el **figura 17**, esta condición se asocia con un pavimento y una subrasante en buen estado.

Por otra parte aproximadamente un tercio de los tramos (13%) presentó una situación contraria con un incremento en el valor de la deflexión (Do corregido promedio), y una disminución en el valor el radio de curvatura, situación que puede asociarse a un comportamiento estructural desfavorable tanto del pavimento como de la subrasante **figura 18**.

Figura 17. Condición estructural de un buen pavimento.

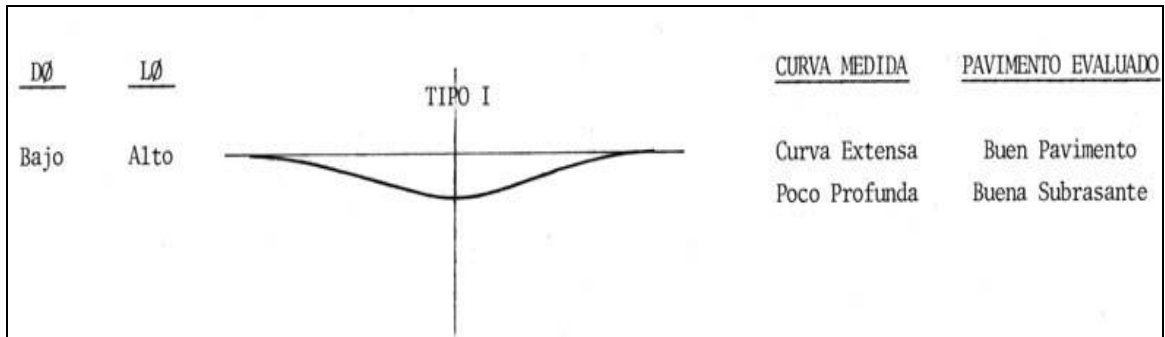
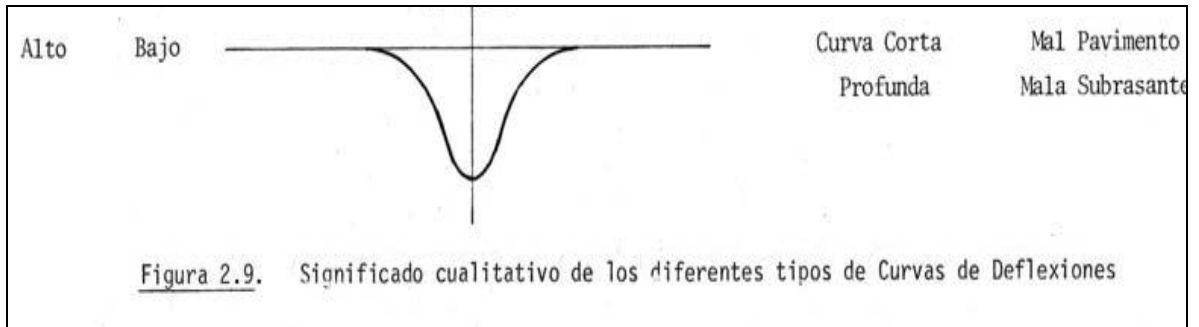


Figura 18. Condición estructural de un mal pavimento



NOTA: para más información, remitirse al proyecto de grado de la Especialización en Ingeniería de Pavimentos de la Universidad Militar, denominado: **Evaluación Deflectométrica del estado actual de los pavimentos asfálticos urbanos en servicio en la ciudad de Bogotá**; allí se pueden encontrar en más detalle resultados y análisis de dicha actividad en campo; el autor de este proyecto es el Ing. Civil **LUIS HERNANDO GÓMEZ GÓMEZ** y la entrega final de este documento se realizará en el segundo semestre de 2011.

5. IDU Y SU SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS IMPLEMENTADO

5.1 IDU¹⁸

El Instituto de Desarrollo Urbano, es un establecimiento público descentralizado, con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa y domicilio en Bogotá D.C. Fue creado mediante el Acuerdo 19 de 1972 del Concejo de Bogotá D.C. y ***destinado a ejecutar obras viales y de espacio público para el Desarrollo Urbano de la capital.***

5.2 POT – BOGOTÁ D.C.¹⁹

Este plan de ordenamiento de Bogotá es concebido como un nuevo paso en el proceso de planeación urbana, un salto en el camino y el fin de la ciudad inmobiliaria.

Retoma un sistema de planeación integral partiendo de la ciudad existente, donde se propone una actuación operativa, selectiva y estratégica que programa el desarrollo a mediano y largo plazo.

En él se establecen las bases para una política distrital sobre el uso del territorio en los próximos 10 años en materia de:

- Crecimiento controlado
- Renovación o conservación de estructuras urbanas
- Obtención de suelos para el desarrollo de Infraestructuras
- Áreas libres
- Equipamientos
- Programas de vivienda de interés social
- Manejo ambiental del territorio

También establece que el ordenamiento no solo depende de la correcta aplicación de una norma que privilegie el bien común sobre el particular, si no que requiere, además, la coordinación territorial de la inversión pública (POT y planes de desarrollo).

El modelo territorial distrital dictado por el POT establece sistemas generales para la estructura urbana.

¹⁸ Página Web IDU

¹⁹ Plan de sostenibilidad para Bogotá del IDU

- Sistema vial
- Sistema general de transporte
- Sistema de acueducto
- Sistema de saneamiento básico
- Sistema de equipamientos
- Sistema de espacio público construido

El Instituto de Desarrollo Urbano, en cumplimiento de lo dictado por el plan de ordenamiento territorial, ejecutara los planes, programas y proyectos competentes a los siguientes sistemas: vial, de Transporte y de Espacio Público.

5.2.1 El Sistema Vial

El sistema vial está constituido por cuatro mallas jerarquizadas y relacionadas funcionalmente, y por las intersecciones generadas entre las mismas²⁰.

- Una malla arterial principal, que actúa como soporte funcional de la ciudad central y del ámbito metropolitano y regional.
- Una malla arterial complementaria, que articula la escala urbana y sirve como soporte funcional de la estructura de centralidades.
- Una malla vial intermedia, que garantiza la conectividad de la ciudad a escala zonal.
- Una malla vial local, que establece la permeabilidad y fluidez de acceso a las unidades de vivienda.
- Intersecciones.

5.2.1.1 Objetivos del IDU frente al sistema Vial

El Instituto de Desarrollo Urbano deberá llevar a cabo los estudios técnicos para la construcción y mantenimiento de las vías e intersecciones que conforman cada uno de los subsistemas y sus relaciones.

La malla vial arterial principal y complementaria es competencia del IDU.

El plan de Ordenamiento Territorial en su artículo 149, parágrafo 2, establece que **“La Construcción y Mantenimiento de las vías de la malla vial Intermedia y local se coordinará con cada uno de los planes locales”**.

Dentro de los objetivos del IDU para acatar lo ordenado por el POT, se destacan:

²⁰ Decreto 619 de 2000; POT; Título II; Subtitulo 3; Capítulo 1; Artículo 138

- Articular el sistema vial con el ámbito nacional y regional
- Garantizar el mejoramiento de la movilidad y la accesibilidad desde las periferias del sur y occidente
- Prever la forma y trazado de la malla vial en suelo de expansión
- Asegurar la eficiente movilidad en la ciudad central
- Definir la red de grandes vías urbanas como soporte
- Establecer el tipo y forma de viabilidad.

5.3 MANTENIMIENTO MALLA VIAL BOGOTÁ²¹

La Dirección Técnica de Mantenimiento, contribuye al sostenimiento de la vida útil de las vías de Bogotá D.C., a través de diferentes programas que permiten ejecutar labores preventivas y correctivas, mediante actividades de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y rehabilitación. Así mismo construye y reconstruye vías locales, con el fin de mejorar el acceso a los barrios optimizando tiempos de desplazamiento, e interconectando las rutas alimentadoras y las vías locales con la malla vial principal.

Considerando el estado de la malla vial de la ciudad y la restricción de recursos con los que cuenta el Distrito para su atención, fue necesario replantear la estructuración del modelo de gestión de mantenimiento y rehabilitación que actualmente tiene el IDU para la atención de la malla vial. A continuación se cita parte de la problemática del **modelo de gestión actual**:

- Dificulta la integración de las intervenciones adelantadas por diferentes contratistas y programas.
- La vigencia de los programas de mantenimiento es el resultado de contratos anualizados que generan interrupciones y limitaciones en la atención de las necesidades de la malla vial.
- La ejecución de las obras se realiza mediante un número elevado de contratos que implica una gran carga administrativa para la Entidad.
- Teniendo en cuenta el alto volumen de contratos y la dispersión de las intervenciones derivadas de éstos, la ciudadanía no percibe la gestión de la entidad con un grado de satisfacción aceptable.
- El procedimiento de contratación implica que en cada vigencia se inviertan cerca de 8 meses en la selección del contratista y puesta en marcha del contrato.

²¹ Página WEB IDU

Para contribuir a solucionar esta problemática se aprobó la implementación del programa ***Distritos de Conservación***, cuyo objetivo es integrar las acciones de intervención en la malla vial arterial, intermedia y local mediante la utilización de recursos de vigencias futuras, optimizando la aplicación de los recursos

5.3.1 Distritos de Conservación²²

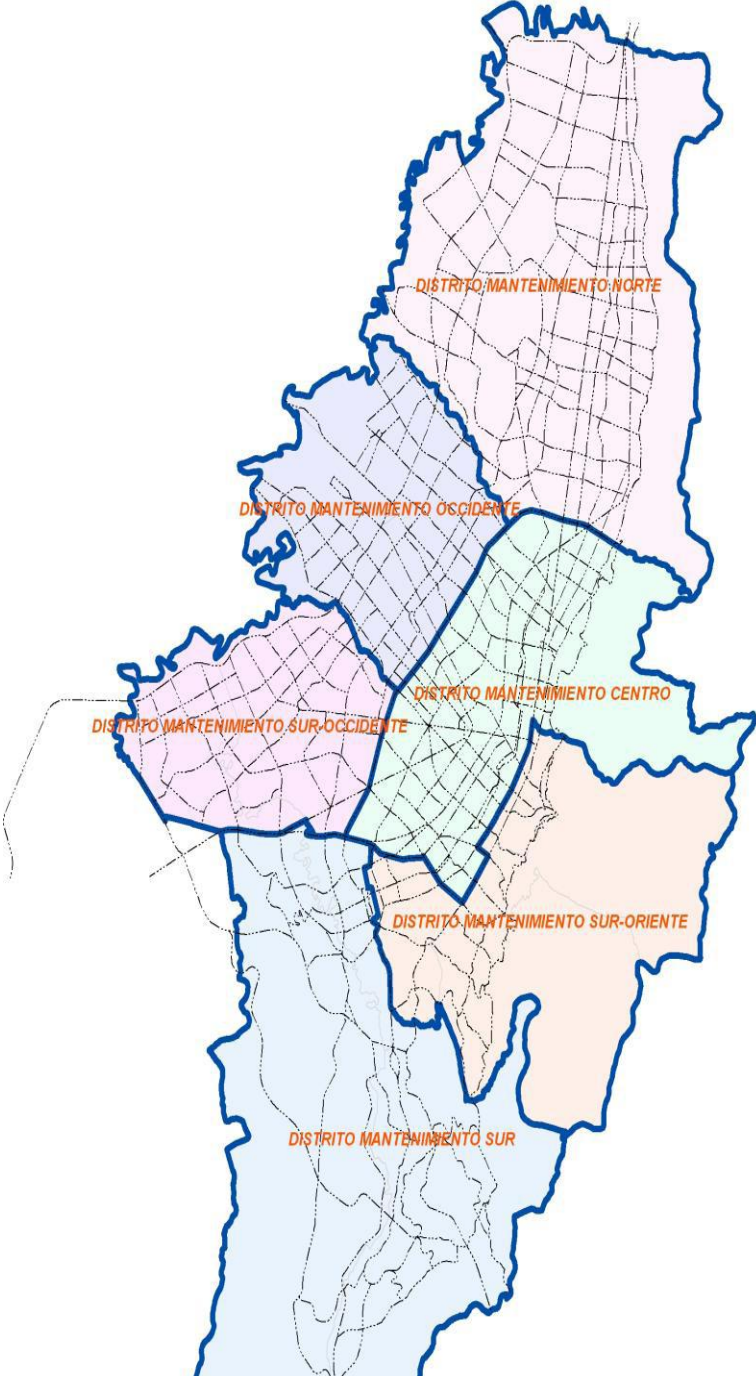
La implementación del programa de Distritos de Conservación tiene como objeto, integrar las acciones de intervención de mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción y construcción de la malla vial arterial, intermedia y local, optimizando la aplicación de los recursos para elevar el nivel de servicio de las vías, evitar el deterioro, prolongar la vida útil y mejorar las condiciones de movilidad en los tramos que sean priorizados dentro de cada Distrito.

Los Distritos de Conservación se crean a partir de la distribución de la ciudad en seis (6) zonas geográficas en las cuales se desarrollarán actividades de construcción, reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento, de acuerdo con las necesidades identificadas y la disponibilidad de los recursos; se crearon con base en los siguientes criterios.

- Ubicación de la principal ocupación (Estudio y Trabajo)
- Tiempo promedio de viajes realizados
- Generación y atracción de viajes en Transporte Público con motivo trabajo
- Cantidad de Km-Carril de vías por zonas
- Necesidades de intervención de cada una de las mallas por localidad
- Concentración de población
- Concentración de equipamientos

²² IBID

Zonificación de los distritos de conservación



Fuente: Pagina Web IDU

5.3.2 Características de las zonas escogidas como Distritos

En la siguiente tabla se enuncian las características que fueron determinantes para la selección de los seis distritos de conservación.

TABLA 5. Características de los distritos de conservación

No.	DISTRITO DE MANTENIMIENTO	LOCALIDADES	POBLACION POR DISTRITO	AREA POR DISTRITO (Hectáreas)	KM-CARRIL DE VIAS	ESTADO MALLA VIAL		
						BUENO	REGULAR	MALO
1	NORTE	Suba, Usaquén	1.382.235	9.315	2.858	42%	19%	39%
2	CENTRO	Barrios Unidos, Chapinero, Teusaquillo, P. Aranda, Los Mártires, A. Nariño	1.070.415	6.780	3.303	40%	25%	35%
3	SURORIENTE	Santa fe, Candelaria, San Cristobal, Rafael Uribe	1.180.292	3.878	1.845	31%	19%	50%
4	SUR	Ciudad Bolivar, Tunjuelito, Usme	1.198.860	6.385	2.101	38%	8%	54%
5	SUROCCIDENTE	Kennedy, Bosa	1.578.826	5.464	2.424	29%	13%	58%
6	OCCIDENTE	Fontibón, Engativá	1.198.796	6.488	2.227	35%	19%	46%
			7.609.424	38.310	14.759	36%	18%	46%

Fuente: IDU

5.3.3 Beneficios esperados con los distritos de conservación

- Garantizar la ejecución de los recursos del Plan de Desarrollo dentro del periodo de gobierno de la actual administración.
- Ahorro en Tiempos de Contratación.
- Maximizar los recursos disponibles.
- Eficiencia en la Administración de los Contratos.
- Optimización de los recursos de los contratistas.
- Selección de Contratistas con mayor capacidad financiera y operativa.
- Respuesta a la Ciudadanía con mayor celeridad.
- Programación eficiente de las intervenciones.
- Articulación con la actividad Local, la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial y los Fondos de Desarrollo Locales.

5.4 INVENTARIO MALLA VIAL DE BOGOTÁ²³

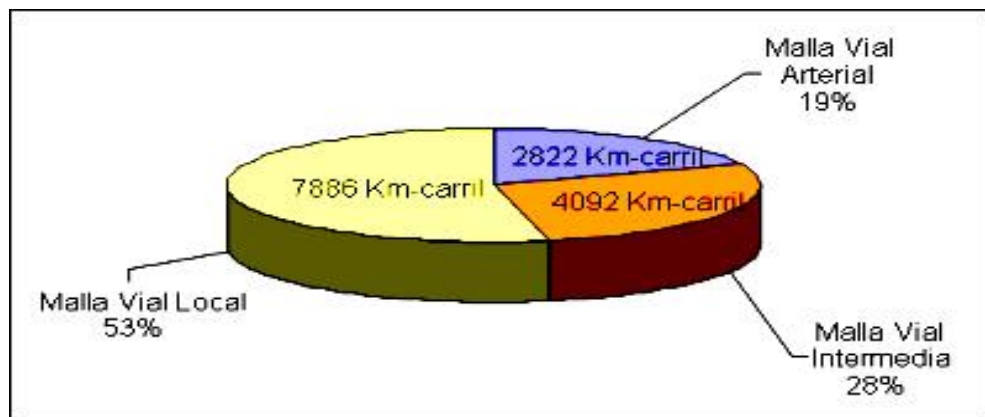
La Malla Vial de Bogotá D. C. a Diciembre de 2009 alcanza 15.657,3 Kilómetros carril de los cuales el 94.53% (14.801,1 km-carril) corresponden al Subsistema

²³ IBID

Vial y el 5,47% (856,2 km-carril) al Subsistema de Transporte (Troncales Transmilenio).

El Subsistema Vial está compuesto por la malla vial arterial, intermedia y local. La malla vial arterial es la red de vías de mayor jerarquía, que actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana y regional y de conexión con el resto del país. Igualmente, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como elemento articulador a escala urbana. La malla vial intermedia está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma la malla vial arterial, sirviendo como alternativa de circulación. Permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal. La malla vial local está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda.

La composición del Subsistema Vial es la siguiente:



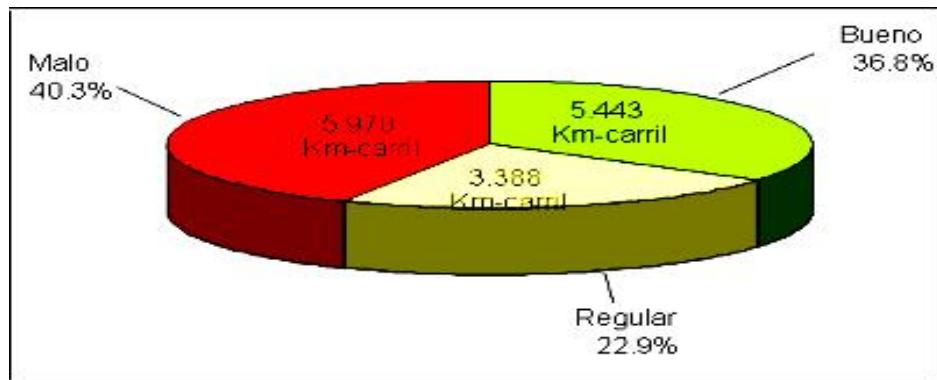
Fuente: Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial - IDU Diciembre de 2009.

El estado de condición de las vías se estableció con el Índice de Condición del Pavimento (ICP), parámetro que permite calificar la condición superficial de la estructura del pavimento. Este Índice depende del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) que determina la regularidad superficial del pavimento y del Índice de Fallas (IF) que fija el nivel de fallas superficiales que se presentan en el pavimento.

El diagnóstico de las vías está asociado al estado de condición de cada una, medido con el Índice de Condición de Pavimento así:

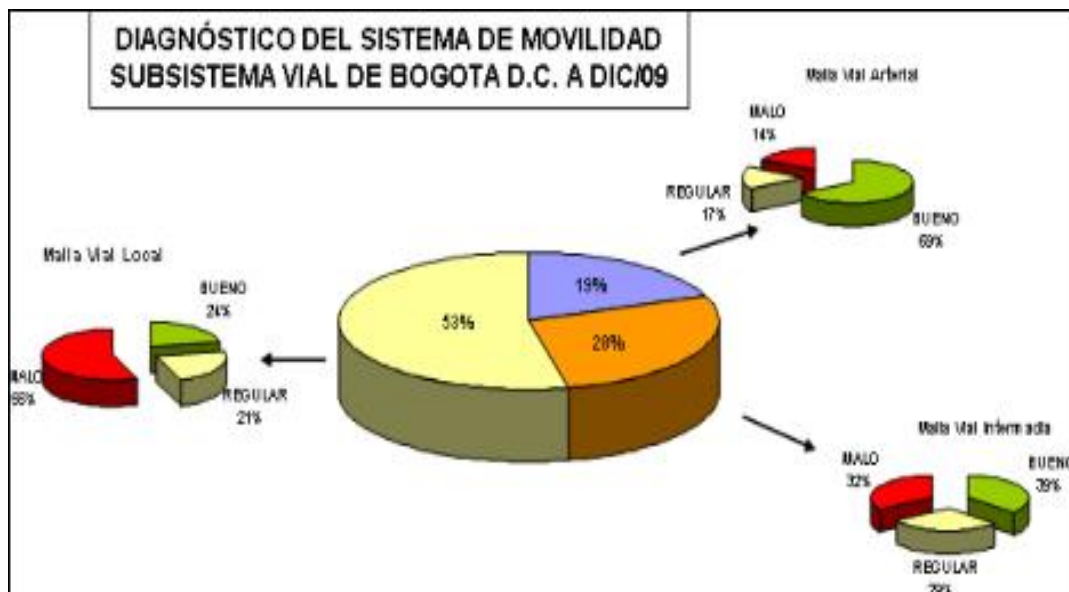
- ICP \leq 30 Vías en mal estado
- 31 \leq ICP \leq 70 Vías en regular estado
- ICP \geq 71 Vías en buen estado

Con base en lo expuesto anteriormente, el estado de la malla vial de Bogotá D. C., correspondiente al Subsistema Vial, es el siguiente:



Fuente: Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial - IDU a Diciembre de 2009. No se incluye Troncales Transmilenio.

El estado de cada una de las mallas que conforman el subsistema vial se puede apreciar en la siguiente gráfica:



Fuente: Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial - IDU a Diciembre de 2009 No se incluye Troncales Transmilenio.

5.5 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS A IMPLEMENTAR POR EL IDU.²⁴

La misión institucional del IDU se enfoca en la ejecución de proyectos de infraestructura física y acciones de mantenimiento y rehabilitación. Lo anterior, enfocado principalmente a disminuir los costos sociales de la población, entendidos como los costos de operación vehicular, tiempos de viaje, costos ambientales y costos por accidentes. Para lograr este objetivo se debe disponer de una completa información del estado de la infraestructura administrada por la Entidad, así como de la formulación, por personal especializado, de programas de mantenimiento que permitan la prevención y corrección de deterioros oportunamente. Con este objetivo se utilizan los sistemas de gestión, que sirven de herramienta para ayudar a la decisión, seleccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y fijando sus prioridades, siempre dentro de las disponibilidades de recursos de la Entidad.

La Gestión de Pavimentos, es una disciplina que engloba todas las actividades involucradas en la planeación, diseño, construcción, evaluación y conservación de los pavimentos de una red de carreteras²⁵. En concordancia con lo anterior, esta Gestión de Pavimentos constituye una de las funciones más importantes para el Instituto de Desarrollo Urbano como responsable del desarrollo y el mantenimiento de la infraestructura vial.

El IDU, en la búsqueda del mejor ejemplo a seguir para tener un adecuado sistema de gestión para Bogotá D.C y después de realizar investigaciones y recibir apoyo por parte de entidades internacionales como el Banco Mundial, determinó enfocar sus proyectos hasta obtener un sistema similar al Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-4), que es el modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras desarrollado por el Banco Mundial, el cual se viene usando desde hace más de dos décadas para combinar la evaluación técnica y económica de proyectos, preparar programas de inversión y analizar estrategias de redes de carreteras.

El HDM-4 contempla el proceso de gestión de carreteras en cuanto a las siguientes funciones:

- Planificación
- Programación

²⁴ Sistema de Administración de Pavimentos del IDU; Hugo Camargo, Fredy Montañez, Alberto Pallares, Andrea Suarez, Oscar Velásquez. Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Militar Nueva Granada, Asignatura en Administración de Pavimentos, 2009.

²⁵ [AASHTO, 1993].

- Preparación
- Operaciones

Cada una de estas funciones se realiza como una secuencia de actividades conocidas como el ciclo de gestión. Para llevar a cabo cada una de estas cuatro funciones de gestión se recomienda un análisis integrado del sistema. El ciclo proporciona una serie de pasos bien definidos que ayudan a tomar las decisiones del proceso de gestión.

El ciclo de gestión se realiza típicamente una vez al año o en un período presupuestario. El proceso de gestión de carreteras en su conjunto puede, por lo tanto, considerarse como un ciclo de actividades que se realizan dentro de cada una de las funciones de gestión: Planificación, Programación, Preparación y Operación.

El análisis técnico en el HDM-4 se realiza usando cuatro módulos:

5.5.1 RD (Deterioro de la carretera)

El deterioro de una carretera es generalmente una función del diseño original, de los tipos de materiales, de la calidad de la construcción, del volumen del tráfico, de las características de carga de los ejes, de la geometría, de las condiciones medioambientales, de la edad del pavimento y de las políticas de conservación definidas. HDM-4 incluye relaciones para la modelización de deterioro de la carretera y efectos de los trabajos de la carretera.

El módulo de deterioro se utiliza con el propósito de predecir condiciones anuales de la carretera y para la evaluación de estrategias de trabajos, es decir, estima la evolución del deterioro de los pavimentos a futuro, permitiendo establecer planes de conservación que optimicen los recursos disponibles y minimicen los costos de operación de la red.

5.5.2 WE (Efecto de las obras)

El sistema HDM-4 incluye relaciones para la modelización del Deterioro de la carretera y de los Efectos de los trabajos (WE).

El módulo WE se usa para estimar la fuente de financiación de la Administración de la carretera necesaria para el desarrollo y conservación de la misma. Estas necesidades se expresan en términos de cantidades físicas y costos monetarios de los trabajos que se realizarán. El módulo simula los efectos de las obras en el estado del pavimento y determina los costos correspondientes. Describe los tipos de trabajo y sus efectos en los pavimentos, incluyendo el cálculo de sus

cantidades físicas y sus correspondientes costos. Los trabajos se agrupan en las siguientes clases:

- Rutina de conservación
- Conservación periódica
- Trabajos especiales
- Trabajos de mejora
- Trabajos de construcción

5.5.3 RUE (Efectos para los usuarios)

La modelización de los efectos sobre los usuarios en HDM-4 comprende el análisis de lo siguiente:

- Velocidad del vehículo motorizado
- Costos de su circulación
- Tiempo de trayecto
- Velocidad del transporte no motorizado
- Costos de circulación
- Seguridad en la carretera

El modulo determina los costos totales sobre los usuarios de la carretera, los cuales comprenden:

- Costos de la circulación de vehículos de transporte motorizado TM
- Costos del tiempo de trayecto del TM
- Costos de la circulación de vehículos de transporte no motorizado TNM
- Costos de los accidentes

5.5.4 SEE (Efectos sociales y medioambientales)

Determina los efectos de las emisiones de vehículos y el consumo de energía. Los modelos evalúan separadamente el consumo global y nacional de energía no renovable usada por vehículos motorizados, el consumo de energía renovable usada por los vehículos no motorizados y la energía usada en los trabajos de la carretera. Respecto a la parte medioambiental, el modelo analiza las emisiones junto con los parámetros predefinidos para los tipos de vehículos estándar.

5.5.5 Análisis económico

Adicionalmente el HDM-4 realiza un análisis económico de alternativas mediante el análisis de los flujos de costos anuales calculados para cada uno de los componentes, los cuales se comparan para determinar los beneficios y los costos asociados a la inversión de la carretera. Con este módulo se determinan los beneficios y costos asociados a la inversión y se aplica el análisis económico y los procedimientos de optimización con el fin de dar el mejor uso a los recursos existentes.

A continuación se realiza una breve explicación del funcionamiento del modelo HDM-4:

El modelo simula, para cada tramo de carretera, año a año, las condiciones de la misma y los recursos utilizados para conservación con cada estrategia, así como las velocidades de los vehículos y los recursos físicos consumidos por la operación de vehículos. Una vez estimadas las cantidades físicas necesarias para construcción, las obras y operación de vehículos, se aplican los precios y costos unitarios especificados por los usuarios para determinar los costos financieros y económicos. Luego se hace el cálculo de los beneficios relativos de las diferentes alternativas, seguido del cálculo del valor actual y de la tasa de rentabilidad.

5.6 IMPLEMENTACIÓN

El Sistema de Gestión de la infraestructura de Bogotá D.C. está basado en el funcionamiento coordinado de personal capacitado, de una serie de herramientas computacionales, inventarios viales y de espacio público, componentes cartográficos y acciones de seguimiento y monitoreo incluyendo investigaciones que permitan sostenibilidad.

El sistema de gestión de la infraestructura permite que la Administración Distrital conozca el valor del patrimonio de la malla vial y del espacio público, su magnitud, sus necesidades y disponer de la información sobre composición y características cuadra a cuadra, y de esta manera plantear estrategias de rehabilitación y mantenimiento, así como programar la inversión de recursos de manera óptima, con base en datos más reales.

El ciclo del sistema de gestión inicia con la toma de información de inventario y de diagnóstico de la infraestructura urbana que tiene a cargo el Instituto. Este proceso se realiza mediante tres fuentes: contratos de inventario y diagnóstico efectuados entre el IDU y empresas especialistas en el tema, información suministrada por las empresas constructoras contratadas por el IDU y por visitas técnicas realizadas por funcionarios del IDU.

Con el fin de continuar la construcción de un adecuado sistema de gestión de infraestructura, en el año 2004 se contrató el análisis, diseño, construcción e implementación de un sistema de gestión vial y de espacio público para Bogotá D.C, mediante el contrato 061-04. La ejecución de este contrato terminó el 30 de junio de 2006 con el recibo a satisfacción por parte de la entidad de la herramienta en funcionamiento.

El sistema de gestión vial y de espacio público es una herramienta sistematizada que prestará ayuda en la evaluación tanto técnica como económica de los proyectos de mantenimiento, de la infraestructura vial y de espacio público de la Ciudad. Facilita los procesos matemáticos y el manejo de grandes volúmenes de información, como la contenida en la base de datos de inventario de la malla vial, de esta manera contribuye a la toma de decisiones, seleccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y estableciendo prioridades.

Para adelantar los procedimientos de gestión, el sistema toma de la base de datos, que es el insumo principal, tanto la geometría como el estado de cada uno de los segmentos viales, representados en parámetros como IRI, fallas, CBR, SN y tráfico promedio, entre otros. En primera instancia, el Sistema tiene la alternativa de seleccionar por rangos de índices de estado o por aspectos geográficos como UPZ, localidad o corredor vial, toma la información del sector seleccionado y actualiza su estado al año de intervención, proceso que realiza bajo el esquema de deterioro el cual está formulado mediante las ecuaciones del HDM-4.

5.6.1 Módulos del sistema de gestión actual

A continuación se describen de manera particular cada una de las actividades principales:

5.6.2 Captura de información

Permite capturar de la base de datos de inventario, los elementos que conforman la parte de la red vial o de espacio público que se quiere gestionar, esta selección debe hacerse mediante una opción de consulta condicionada.

5.6.3 Parámetros Generales

El sistema permite asignar los recursos disponibles en periodos como año, trimestre u otros y distribuirlos de acuerdo a criterios varios como: Jerarquía POT, estrato y distribución geográfica entre otros.

5.6.4 Deterioro

En el sistema incluye los modelos de deterioro con los cuales se proyecta el comportamiento del pavimento a través del tiempo, reflejando el desempeño de la estructura vial tanto en el aspecto superficial como estructural.

5.6.5 Intervenciones requeridas

Se determinan las acciones tanto de mantenimiento periódico y rutinario como de rehabilitación y reconstrucción requeridas por la red vial y de espacio público seleccionado, teniendo en cuenta los parámetros de estado superficial y estructural, los parámetros de solicitud de tráfico y los deterioros proyectados.

5.6.6 Generación de Alternativas, evaluación económica y optimización

Basados en parámetros tales como: intervenciones requeridas, y niveles de servicio definidos por la administración a través del usuario, se desarrollan varias alternativas de intervención. Sobre estas alternativas se realiza la evaluación económica teniendo en cuenta variados escenarios con y sin restricción de recursos, de tal forma que las soluciones generadas se pueden comparar de manera técnica y económica.

5.6.7 Espacio Público

Se tiene estructurado un mecanismo que realice para esta infraestructura la generación de alternativas, la evaluación económica y la optimización de los recursos destinados a la infraestructura que conforma el espacio público asociado a la red vial, cabe aclarar que la competencia de este sistema en el tema de espacio público se refiere al espacio público asociado a la red vial.

5.6.8 Puentes

Existe un sistema estructurado que permite priorizar la inversión destinada a la infraestructura de puentes, tanto vehiculares como peatonales.

5.6.9 Reportes

El sistema es versátil en la generación de reportes los cuales se pueden generar en forma de tablas, de diagramas estadísticos y de planos georeferenciados, los resultados son exportables a hoja de cálculo.

5.7 MÓDULOS DEL MODELO HDM-4 VS MÓDULOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN IDU²⁶

Como se pudo observar en el numeral anterior, el Sistema de gestión del IDU no tiene la misma estructura que tiene el modelo HDM-4, debido a que éste fue creado para carreteras y el Sistema que requiere el Instituto es para vías urbanas. Sin embargo a continuación se explica, cada uno de los módulos del HDM-4 que tiene el sistema y que falta aún por desarrollar:

5.7.1 Módulo de Deterioro

El proyecto de Calibración de curvas de deterioro para los pavimentos de Bogotá, se ha venido desarrollando por fases desde el año 2002, con el objetivo de poder implementar un modelo de deterioro de pavimentos que permita predecir el comportamiento de los mismos a través del tiempo, con lo cual se obtiene una herramienta adecuada para estimar el alcance de las acciones de conservación para alcanzar un cierto nivel de servicio durante un período de tiempo dado a partir de datos de inventario y diagnóstico.

Cuando el contrato de desarrollo de la herramienta del Sistema de Gestión terminó, se encontraba en ejecución la Fase III de la calibración de curvas de deterioro, razón por la cual se realizó una adición al contrato de curvas para que incorporará el resultado final de la calibración de curvas al módulo de deterioro del Sistema.

Es de aclarar que el sistema contaba con un modelo no calibrado, resultado de curvas obtenidas provisionalmente para cada familia que es conformada mediante parámetros puntuales que varían en el tiempo como son: tránsito, condición estructural y otros establecidos por defecto; una vez realizada la modificación, se generó que el sistema determine niveles de deterioro no ajustados a la realidad, dado que su predicción fue realizada bajo supuestos y condiciones diferentes a las que sirvieron para su desarrollo. De acuerdo con lo anterior, a la fecha el Sistema cuenta con un adecuado modelo de deterioro el cual permite que sean más realistas y confiables las estimaciones de la evolución del deterioro de los pavimentos a futuro, permitiendo establecer planes de conservación que optimicen los recursos disponibles y minimicen los costos de operación de la red.

²⁶ Sistema de Administración de Pavimentos del IDU; Hugo Camargo, Fredy Montañez, Alberto Pallares, Andrea Suarez, Oscar Velásquez. Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Militar Nueva Granada, Asignatura en Administración de Pavimentos, 2009.

5.7.2 Módulo de efecto de las obras

El sistema cuenta con un módulo que determina las acciones tanto de mantenimiento periódico y rutinario como de rehabilitación y reconstrucción requeridas por la red vial y de espacio público seleccionados, teniendo en cuenta los parámetros de estado superficial y estructural, los parámetros de solicitud de tráfico y los deterioros proyectados.

5.7.3 Módulo de efectos para los usuarios

El Sistema de gestión vial y de espacio público realiza el cálculo de los costos de operación vehicular con base en ecuaciones no estudiadas para las condiciones de Bogotá y no lo incluye dentro de los parámetros para generación de alternativas y optimización de recursos. Adicionalmente el efecto para los usuarios se obtiene de la sumatoria de los costos de operación vehicular (VOC) y el tiempo de viaje de los usuarios. El sistema no calcula tiempos de viaje.

5.7.4 Módulo de efectos sociales y medioambientales

El sistema no cuenta con la evaluación de estos efectos.

5.7.5 Módulo de análisis económico

El sistema de gestión realiza la evaluación económica teniendo en cuenta escenarios con y sin restricción de recursos, de tal forma que las soluciones generadas se pueden comparar de manera técnica y económica. Adicionalmente, el Sistema realiza la estimación del beneficio costo (BC) como criterio de priorización pero no cuenta con un módulo de análisis económico de alternativas, el cual es necesario para determinar la mejor alternativa a ejecutar en un segmento vial, ya que los ahorros en el costo de la circulación de los vehículos son el principal beneficio para la justificación de una intervención en la red vial debido a que los usuarios perciben estos en términos de menores gastos.

5.7.6 Módulo de modelos de priorización²⁷

El sistema de gestión contiene solamente un modelo de priorización, el cual sólo debe ser utilizado para la malla vial arterial debido a que únicamente tiene en cuenta el factor de movilidad que es un valor que determina la importancia de la vía en función del tránsito. Para priorizar las vías que hacen parte de la malla vial intermedia y local es necesario que se incluyan en el Sistema los modelos de priorización para este tipo de mallas.

²⁷ Este módulo no existe en el HDM-4 pero es necesario para Bogotá debido a la insuficiencia de recursos y a las jerarquías e la malla vial.

5.8 PROYECCIONES PARA EL SISTEMA DE GESTIÓN

Como se explicó anteriormente, el desarrollo de esta herramienta es el comienzo de la construcción del Sistema de Gestión de infraestructura para Bogotá D.C., el cual requiere, si se pretende trabajar basados en el modelo HDM-4, de las investigaciones que sean necesarias para obtener las ecuaciones propias para las condiciones de Bogotá. A continuación se describen los módulos que requieren ajuste en el Sistema, cómo ha trabajado el Instituto en cada uno de éstos y qué proyecciones tiene para lo que aún se requiere:

5.8.1 Efectos para los usuarios

La evaluación de los costos de usuarios es necesaria para determinar la mejor alternativa de inversión y debe hacer parte de los sistemas de gestión que tienen las entidades que manejan recursos limitados, como es el caso del IDU.

El modelo de costos de usuarios debe predecir los costos de operación en términos de la geometría, las condiciones de la superficie y el volumen y composición del tráfico, procesar los costos de financiamiento de los usuarios por la vía, las cantidades de recursos consumidos (combustibles, lubricantes, repuestos, etc.) y tiempos perdidos por el tránsito los cuales serán posteriormente multiplicados por los costos unitarios para finalmente obtener los costos de usuarios que son la suma de los costos de operación vehicular y los costos de tiempo de viaje.

Es por esto que a la fecha, el IDU adelanta la contratación de la Consultoría e Interventoría para la ejecución del proyecto de Evaluación de Costos de Usuarios de acuerdo a las intervenciones que realiza el Instituto en Bogotá D.C., el cual tiene como objetivo realizar la evaluación de costos de usuarios para la infraestructura vial de Bogotá D.C., que permita determinar la mejor alternativa de inversión y a su vez proporcione herramientas para obtener indicadores de seguimiento y evaluación de resultados e impactos con los cuales es posible medir la eficiencia económica en la ejecución de los programas que realiza el Instituto.

En la consultoría se pretende realizar la entrega del levantamiento de requerimientos para incorporación del módulo de evaluación de costos de usuarios al Sistema de Gestión Vial y de Espacio Público y posteriormente se contratará el análisis, diseño e implementación del módulo en el Sistema de Gestión.

5.8.2 Modelos de priorización

A la fecha, el IDU está en proceso de contratación de la consultoría que ejecutará el “Manual de Gestión de Infraestructura para Bogotá D.C”. Uno de los objetivos de esta consultoría es revisar los modelos actuales de priorización de intervenciones que maneja el IDU, verificar o establecer su aplicabilidad o efectividad para hacer las mejoras necesarias. Si como resultado de la revisión de los modelos existentes se concluye la necesidad de establecer nuevos modelos, la consultoría deberá indicar las variables o factores a tener en cuenta y desarrollar la metodología de los nuevos modelos.

Una vez terminada esta Consultoría, el Sistema de Gestión debe contar con el módulo que contenga los modelos de priorización obtenidos, incluido el levantamiento de requerimientos, análisis, diseño e implementación del módulo de modelos de priorización para el Sistema de Gestión.

5.8.3 Análisis económico

El IDU pretende realizar un proyecto para evaluación económica de alternativas de inversión el cual incluya la parte técnica, económica y el análisis, diseño e implementación de este módulo en el Sistema.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario que se termine la consultoría de “Evaluación de los costos de usuarios” ya que el resultado de ésta es necesario para el análisis de alternativas.

5.8.4 Efectos sociales y medioambientales

El IDU espera que, luego de incorporados todos los módulos que se planean analizar, se pueda realizar un estudio de este tipo el cual requiere investigaciones de gran magnitud como la energía usada en el sector del transporte lo cual constituye una parte importante del consumo total de energía a nivel mundial.

5.9 METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO DE UN PAVIMENTO EN LA MALLA VIAL DE BOGOTÁ D.C.²⁸

A continuación se describe la nueva metodología de diagnósticos implementada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), para el nuevo esquema de contratación del Instituto “***Distritos de Conservación***”:

5.9.1 Evaluación Superficial

Para evaluar la condición superficial de cada uno de los segmentos objeto del proyecto, los contratistas deberán utilizar la metodología “Pavement Condition

²⁸ Sistema de Administración de Pavimentos del IDU; Hugo Camargo, Fredy Montañez, Alberto Pallares, Andrea Suarez, Oscar Velásquez. Especialización en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Militar Nueva Granada, Asignatura en Administración de Pavimentos, 2009.

Index” (PCI), la cual fue desarrollada por el cuerpo de ingenieros del Ejército de Estados Unidos.

El cálculo del PCI se basa en los resultados de un estudio visual de la condición del pavimento, en el que se identifican el tipo, la extensión y la severidad del daño. El PCI se desarrolló para proveer un índice que representará la integridad estructural y la condición de operación superficial. La información de daños obtenida como parte del estudio de la condición superficial, necesaria para el cálculo del PCI, provee una visión de las causas de los deterioros y permite determinar si las fallas de un segmento son producidas por las cargas o por el clima.

El tipo de deterioro de la estructura de pavimento se manifiesta en función de la clase de daño, su severidad y cantidad o extensión de los mismos. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados fue un reto, debido al gran número de posibles combinaciones. Para superar esta dificultad, la metodología para calcular el PCI introdujo los “valores deducidos” como un tipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y extensión tiene sobre la condición del pavimento. Los valores deducidos fueron desarrollados basados en el profundo entendimiento del comportamiento del pavimento, así como el conocimiento de experimentados ingenieros de pavimentos, pruebas de campo, evaluación del procedimiento y descripciones precisas de los tipos y severidades de los daños.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en muy mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el cuadro 1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 6 Rangos del PCI

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

Fuente: Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

5.9.2 Levantamiento de fallas y cálculo del Pavement Condition Index (PCI)

El procedimiento para la toma del tipo, severidad y extensión de los daños de cada calzada, así como para el cálculo del PCI se realizará de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM D 6433-07 “Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys”.

5.9.3 Consideraciones que se deben tener en cuenta

- No se tomará el PCI para pavimentos en afirmado.
- El PCI se tomará para todas y cada una de las calzadas objeto del contrato, cuya superficie sea: pavimento flexible, o pavimento rígido. Es decir, el aparte de la norma ASTM D 6433-07 correspondiente a las unidades de muestreo no aplica para este proyecto.

5.9.4 Estudio de Tránsito

El desarrollo del Estudio de Tránsito y Transporte del componente de diagnóstico, constituye la base técnica de análisis y evaluación para la selección de la alternativa de intervención requerida en los distintos escenarios para cada uno de los corredores. En la etapa de diagnóstico se efectuará el levantamiento de la información y las proyecciones de tránsito con lo cual se determinará las demandas de tránsito actuales y futuras de las vías que conforman el área de influencia directa.

5.9.5 Evaluación Estructural

Para determinar la condición estructural de un pavimento existente se emplearán técnicas no destructivas, como el análisis de la deflexión bajo cargas determinadas.

El estado mecánico es determinado por la respuesta, en términos de deflexiones elásticas de la estructura de pavimento. Por otro lado, mediante la comparación entre la capacidad estructural requerida y la existente, es posible establecer la necesidad de rehabilitación o de mantenimiento (rutinario y periódico).

Las actividades previas y los métodos para la toma de deflexiones serán los indicados en la Norma INV E-797 -07 “Medidas de Deflexión en Pavimentos.” En la etapa de diagnóstico únicamente se tomarán deflexiones sobre estructuras de pavimento flexible.

- **Equipos:** Independiente del tipo de malla vial de la ciudad (Arterial, intermedia o local), se empleará, para la toma de deflexiones y la determinación estructural del

pavimento, mediante ensayos no destructivos, el equipo Deflectómetro de impacto – Falling Weight Deflectometer (FWD)

- **Medición de deflexiones con FWD:** Se procede a realizar la medición una vez definidos los sitios de medida, los cuales deberán estar libres en lo posible, de gravas, gravillas y escombros para asegurar que la placa quede apoyada completamente y en zonas donde no se presente mayor deterioro del pavimento, no se medirá en sitios fallados. Eventualmente, cuando se requiera evaluar pavimentos en afirmado, las superficies de grava o suelo tienen que estar lo más niveladas posible, y remover todo el material suelto para asegurar que la placa de carga haga contacto perfecto con la superficie del pavimento que se pretende evaluar.

El procedimiento de medida se realizará de acuerdo con lo indicado en la Norma INV E-798-07 “Método para medir Deflexiones Mediante Deflectómetro de Impacto (FWD)”.

– **Recomendaciones para el uso del FWD:** Se debe hacer un estricto control del equipo, preparación del mismo e identificar los cambios en la colocación de los sensores o geófonos con relación al borde de la vía, cerca al sardinel.

Se deberá garantizar la continuidad de la prueba. Si por alguna razón, se interrumpe la medición de deflexión en un punto y no se completa la medición en el mismo día, se deberá desechar la información incompleta y al día siguiente hacer la medición completa nuevamente en el punto faltante. No se tendrán en cuenta los valores reportados de una medición incompleta. No se permitirá añadir información a archivos existentes cuando los datos se tomen en diferentes días.

La condición del pavimento va a influir en la respuesta de la medición, por lo tanto se recomienda que el operador registre cualquier irregularidad, situado aproximadamente a 0.30 m delante del Geófono o sismómetro N°8 y a uno 0.90 m detrás de la placa de carga. Esta información se deberá reportar en el informe de campo.

Cuando en el momento de efectuar la lectura de deflexiones aparezcan en un punto de ensayo valores anormalmente elevados o bajos, a juicio del ingeniero, en relación con los que se vienen obteniendo en el tramo, deberá completarse esta lectura con la de otros dos puntos situados a menos de 10 m del punto en cuestión.

• **Factores que influyen en la determinación de deflexiones:** Los factores que determinan la medida de deflexiones y que deben ser tenidos en cuenta de manera cuidadosa son:

– Temperatura y humedad

- Estado del pavimento
- Espesores (capas delgadas)
- Carga

Como el tiempo entre el diagnóstico y la ejecución de las actividades de conservación no debe ser muy prolongado, la información de deflexiones obtenida para actividades de diagnóstico no deberán corresponder a un periodo mayor a tres (3) meses de tomadas, en tal caso se deberán realizar nuevas mediciones de deflexión.

• **Determinación de espesores:** Los espesores de cada una de las capas de los pavimentos flexibles se hará mediante la ejecución de uno o más sondeos de seis (6) pulgadas y se complementará mediante un estudio de homogeneidad de la estructura de pavimento a lo largo de toda la calzada mediante el uso del georradar.

• **Determinación de la condición estructural del pavimento:** La correcta evaluación de la capacidad estructural remanente del pavimento existente es uno de los aspectos críticos en el diagnóstico. Es así que para pavimentos flexibles se determina mediante el número estructural (SN). Para rígidos la condición estructural está ligada a la condición superficial, de tal manera que posterior a la clasificación por superficie y estableciendo si requiere rehabilitar o reconstruir, se podrá mediante deflectometría y análisis inverso, establecer el valor del espesor de losa faltante (DOL), para calcular el refuerzo y el tipo de intervención necesaria.

Pavimentos flexibles: Método para la determinación de la capacidad estructural de pavimentos. (Cálculo del número estructural (SN)).

- ✓ Metodología AASHTO: Tradicionalmente, se emplea la metodología AASHTO para el cálculo de la capacidad estructural del pavimento, por medio de deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto (FWD).
- ✓ Para el método AASHTO, el refuerzo se calcula como la diferencia entre el número estructural necesario para el tráfico futuro o SN requerido y el número estructural efectivo del pavimento existente (S_{Neff}).
- ✓ La guía AASHTO - 93 sugiere tres procedimientos para determinar el número estructural existente o efectivo (S_{Neff}) del pavimento a rehabilitar.
- ✓ Método del análisis de los componentes; asignando a cada capa los coeficientes estructurales.
- ✓ Método de la vida remanente; sólo se usa si se conocen las cargas aplicadas sobre el pavimento desde su construcción.

- ✓ Método empleando deflectometría; mediante técnica de cálculo inverso.
- ✓ De los tres procedimientos, el más empleado en nuestro medio es el de deflectometría que permite, mediante la información de deflexiones tomadas con el FWD y corregidos por carga y temperatura, determinar los módulos de los materiales, mediante cálculo inverso, y establecer el valor del número estructural efectivo (SN eff).
- ✓ Cálculo del número estructural efectivo por deflectometría (SN eff).
- ✓ Empleando la metodología indicada por la AASHTO - 93 en la "Guide for Design of Pavement Structures" parte III capítulo 5 "Rehabilitation Methods Whit Overlays", se determina el número estructural efectivo (SNeff).
- ✓ Cálculo del módulo resiliente de la subrasante por deflectometría.
- ✓ El módulo resiliente de la Subrasante, para efectos de diagnóstico, se determinará mediante métodos no destructivos empleando las mediciones de deflexiones y mediante técnicas de cálculo inverso.

5.9.6 Condición del Pavimento

Para la clasificación de la condición del pavimento, se deben tener en cuenta dos variables; estado estructural y estado superficial. Cada una de estas variables está establecida mediante una metodología para determinar la condición de estado.

Para pavimentos asfálticos y rígidos se presenta una metodología para el estado superficial apoyada en el cálculo del PCI, mediante la norma ASTM 6433-07 "Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys".

La determinación de la condición del pavimento flexible estará definida por la intersección de dos preclasificaciones; la superficial y la estructural.

Para pavimentos rígidos, la condición del pavimento estará determinada únicamente por su condición superficial.

En pavimentos rígidos, se aplicará la metodología y se diagnosticará, teniendo en cuenta únicamente, la clasificación por estado superficial (PCI) y los tipos de intervención corresponderán a los establecidos en el Manual de Diagnóstico para Distritos de Mantenimiento, documento elaborado por la firma VELNEC.

La definición del tipo de intervención tiene que ver con el hecho de que si una vía tiene un buen número estructural para las condiciones de tránsito que se han

previsto, no se debe hacer intervenciones profundas o que impliquen la remoción de las capas granulares a menos que ello lo obligue una intervención en redes. En tal sentido lo que se recomienda es intervenir en la capa asfáltica de rodadura y a lo sumo la capa granular superior, empleando la técnica que sea necesaria.

• **Hipótesis de la metodología:** La metodología, para la determinación de la condición del pavimento, tiene las siguientes hipótesis:

– Se aplica únicamente para estructuras de pavimento flexible. No aplica en estructuras de afirmado.

– No considera la intervención de redes de servicios públicos.

– La sensibilización de la metodología se realizó para vías arteriales e intermedias, en un intervalo de número estructural requerido (SN req) entre 3.0 a 5.0 y para vías locales, con un (SN req) entre 2.5 y 4.0.

– Para las actividades de rehabilitación, se consideró el empleo de materiales estabilizados con cemento y/o bitumen o el empleo de técnicas de reciclaje, con o sin adición de bitumen y/o ligante hidráulico.

– La condición estructural, dentro de la clasificación, es el factor de mayor peso comparado con la condición superficial.

– Para las vías en afirmado, el diagnóstico será el resultado de la jerarquía de la vía y de la inspección visual de la misma, teniendo en cuenta las siguientes premisas: Si el afirmado corresponde a la malla vial arterial o intermedia, se deberán efectuar actividades de rehabilitación mejorando las condiciones de drenaje superficial y de rodadura. En caso de que el afirmado corresponda a otro tipo de malla vial se deberán realizar las actividades de mantenimiento descritas en la anexo técnico para el programa Distritos de Conservación.

• **Preclasificación**

– Preclasificación por estado superficial: Aplica para pavimentos flexibles y rígidos. Mediante el cálculo del PCI, se determina la condición superficial del pavimento, siguiendo la metodología indicada en el capítulo de evaluación superficial del pavimento del presente documento.

– Siguiendo la metodología propuesta para el PCI, se tienen los siguientes rangos:

Excelente: Entre 86 y 100

Bueno: Entre 56 y 85

Regular: Entre 26 y 55

Malo: Entre 0 y 25

Esta es la primera clasificación, para determinar la condición de un pavimento flexible. Se denominará preclasificación por estado superficial y aplica para pavimentos flexibles y rígidos.

Tabla 7. Preclasificación por estado superficial

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

– Preclasificación por estado estructural: Aplica únicamente para pavimentos flexibles. Esta preclasificación se encuentra apoyada en la determinación del número estructural (SN efectivo) del pavimento, de acuerdo a la metodología AASHTO - 93. En las actividades de diagnóstico, se presentan dos números estructurales, el Número estructural requerido (SN req) y el Número estructural efectivo (SN efec).

El número estructural efectivo (SN efec) corresponde a la capacidad estructural del pavimento en servicio al momento de ser evaluado, con condiciones de tránsito definidas y mediante análisis de deflexiones a través del cálculo inverso, de acuerdo a lo indicado en la toma de deflexiones y cálculo del número estructural del presente anexo, numeral 4.3 “Evaluación Estructural”.

El número estructural requerido (SN req) corresponde a la capacidad estructural necesaria para que una estructura de pavimento pueda soportar las solicitaciones de carga, en términos de número de ejes equivalentes para un periodo de tiempo determinado. El número estructural requerido (SN req) se calcula siguiendo la metodología AASHTO con la siguiente ecuación para pavimentos asfálticos:

La relación entre el (SN req) y el (SN efec) es una manera de estimar la vida remanente del pavimento, de tal manera que:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \text{log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\text{log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \times \text{log}_{10}(MR) - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas

Z_R = Desviación estándar normal

S_o = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento

ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial (P_o) y el final (P_t)

MR = Módulo resiliente de la subrasante

$SN = a_1*d_1 + a_2*d_2*m_2 + a_3*d_3*m_3$

ai = coeficiente estructural de la capa i, el cual depende de la característica del material con que ella se construye.

di = espesor de la capa i en pulgadas

mi = coeficiente de drenaje de la capa i

SN = número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (MR), del tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad terminal y de las condiciones ambientales.

– Si, para un pavimento sometido a un determinado número de ejes equivalentes, se obtiene un valor de Número estructural efectivo (SN efec) y al compararlo contra el Número estructural que requiere (SN req) esa misma estructura de pavimento, se observa que SN efectivo, es igual o mayor que el SN requerido, es decir (SNefec) \geq (SN req), entonces se deduce que el pavimento tiene una vida remanente, que permite soportar las solicitaciones requeridas para el periodo de tiempo definido.

– Si por el contrario, el número estructural efectivo es menor que el requerido, (SN efec) $<$ (SN req), quiere decir que el pavimento tiene que ser reforzado o reconstruido.

A la relación de números estructurales, (SN efec) / (SN req) se le denominará Índice Estructural (Ie). Este índice permitirá identificar, en función de la posible vida remanente del pavimento, la condición estructural en la que se encuentra y clasificarla en función de la necesidad de refuerzo estructural o no.

El Índice Estructural permite identificar dos grandes grupos:

$$I_e \geq 1$$

$$I_e < 1$$

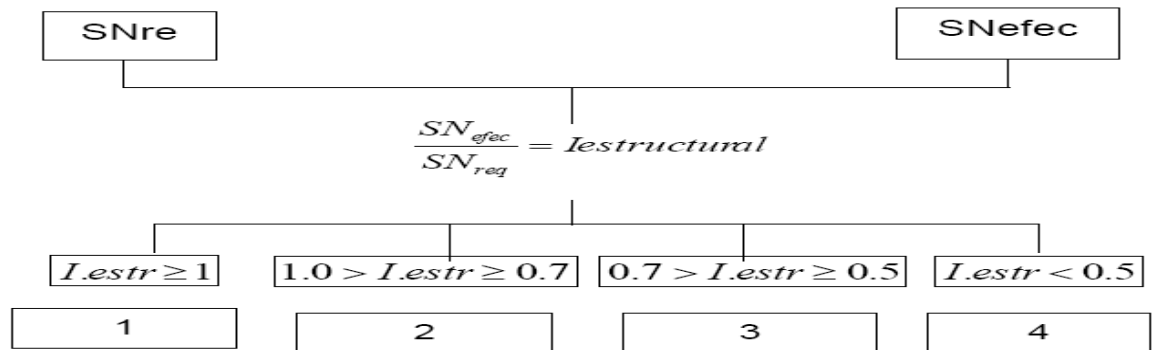
Cuando $I_e \geq 1$, la estructura de pavimento existente tiene un (SN efec) igual o mayor que el (SN req) y por tanto no requiere de ningún refuerzo para cumplir con las solicitaciones requeridas para el periodo de vida útil definido, siendo estructuralmente competente. En tal caso, bastará con ejecutar actividades de mantenimiento rutinario y/o periódico, según corresponda al estado superficial que tenga el pavimento.

Pero si $I_e < 1$, quiere decir que la estructura de pavimento necesita reforzarse. Dentro de este grupo, se pueden identificar dos extremos; el primer caso, cuando el Índice estructural I_e se acerca a cero (0), y el segundo cuando esta cerca de uno (1). Para las dos situaciones la necesidad de refuerzo son diferentes, siendo la más crítica aquella en la que I_e se acerca a cero (0), queriendo decir que la estructura necesita reconstruirse.

Se estableció entonces, mediante un análisis numérico, calculando para diferentes índices estructurales, el refuerzo que necesitaría el pavimento para alcanzar $SN_{req} = 5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 2.5$ y 2.0 , para estructuras con diferentes espesores. Lo anterior, permite identificar, en función del espesor del refuerzo, la necesidad de una intervención profunda o superficial.

El análisis anterior permite establecer una preclasificación estructural, de la misma manera como se hace con la preclasificación superficial, por lo cual se tiene lo siguiente:

Figura 19. Preclasificación estructural en la condición estructural de un pavimento



Para diagnóstico el (SN req) se deberá calcular para un periodo de tres (3) años.

Determinación de la condición del pavimento.

Pavimentos flexibles: Partiendo de las preclasificaciones establecidas anteriormente; (por superficie y por capacidad estructural), se define la condición

del pavimento, como el resultado de la intersección entre la condición estructural y la condición superficial, de tal manera que, conociendo los valores de PCI y del Índice estructural I_e , se llega a la clasificación de la condición del pavimento. A esta combinación se denominará CLASE, identificada mediante colores que se relacionarán con un tipo de intervención determinado, ya sea mantenimiento (periódico o rutinario), rehabilitación o reconstrucción.

La clasificación por colores se presenta en la siguiente matriz, donde se indican todas las posibles combinaciones:

Tabla 8 Calificación condición del pavimento

CALIFICACIÓN CONDICIÓN DEL PAVIMENTO			
I_e	PCI	CLASE	COLOR
< 0.5	0 -25		ROJO
	26 - 55		ROJO
	56 - 85	Poco probable	ROJO
	86 - 100	Poco probable	ROJO
0.5 < 0.7	0 -25		NARANJA
	26 - 55		NARANJA
	56 - 85		NARANJA
	86 - 100	Poco probable	NARANJA
0.7 < 1.0	0 -25		NARANJA
	26 - 55		NARANJA
	56 - 85		NARANJA
	86 - 100		NARANJA
>= 1.0	0 -25		AMARILLO
	26 - 55		AMARILLO
	56 - 85		AMARILLO
	86 - 100		VERDE

Para poder tener mayor claridad del tipo de intervención que se requiere hacer, en función de la CLASE producto de la combinación de I_e y PCI, se asignan códigos, de la siguiente manera:

Tabla 9. Código para clasificación estructural

le	CÓDIGO
< 0.5	4
$0.5 \leq le < 0.7$	3
$0.7 \leq le < 1.0$	2
≥ 1.0	1

Tabla 10. Código para clasificación superficial

COLOR	CÓDIGO
ROJO	D
NARANJA	C
AMARILLO	B
VERDE	A

Finalmente, las combinaciones por color y por código permiten establecer los siguientes códigos de CLASE:

Tabla 11 Códigos de CLASE

CALIFICACIÓN CONDICIÓN DEL PAVIMENTO			
CÓDIGO DEL ÍNDICE I_e	PCI	CLASE	COLOR DE LA CLASE
4	D	4 D	ROJO
	C	4 C	ROJO
	B	4 B*	ROJO
	A	4 A*	ROJO
3	D	3 D	NARANJA
	C	3 C	NARANJA
	B	3 B*	NARANJA
	A	3 A*	NARANJA
2	D	2 D	NARANJA
	C	2 C	NARANJA
	B	2 B	NARANJA
	A	2 A	NARANJA
1	D	1 D	AMARILLO
	C	1 C	AMARILLO
	B	1 B	AMARILLO
	A	1 A	VERDE

Indicando que para códigos entre 4A y 4D se realizarán actividades de reconstrucción; para códigos entre 2A y 3D, actividades de rehabilitación, y para códigos entre 1A y 1D se programarán actividades de mantenimiento.

Se observa que prima la condición estructural, y dependiendo del estado superficial, es posible establecer alcance y tipo de intervención esperada. Es importante anotar que existen combinaciones poco probables, como 3A, 3B, 4A y 4B, las cuales si se llegan a presentar requieren de un análisis particular para definir el tipo y momento de intervención.

Si la preclasificación estructural se clasifica con el código 4, se define directamente el segmento como rojo y será objeto de actividades de reconstrucción, definidas mediante estudios y diseños que deben ser ejecutados por el contratista. Sin embargo, el estado superficial permitirá definir el momento de la intervención.

La condición naranja indicará la necesidad de realizar un refuerzo o mejoramiento a la estructura de pavimento, mediante actividades de rehabilitación, las cuales serán definidas mediante estudios y diseños ejecutados por el contratista, dependiendo de la necesidad estructural y de la condición superficial del segmento.

Las condiciones finales amarilla y verde, corresponden a la necesidad de ejecutar actividades de mantenimientos periódico y rutinario respectivamente.

• **Clasificación de las actividades de conservación:**

Una vez definida la clasificación de la condición de pavimento, de acuerdo con cada color se establecen las actividades de conservación que se requieren de la siguiente manera, las cuales se realizarán en toda la calzada; la siguiente clasificación aplica para pavimentos rígidos y flexibles:

Tabla 12. Clasificación de las actividades por color

VERDE	Mantenimiento Rutinario
AMARILLO	Mantenimiento Periódico
NARANJA	Rehabilitación
ROJO	Reconstrucción

Las intervenciones propuestas para segmentos clasificados como rojos y naranjas deben corresponder a la determinación de un refuerzo o mejoramiento de la estructura existente, bien sea mejorando capas superiores o reemplazando y reconstruyendo completamente. El dimensionamiento de estos refuerzos será producto de un diseño particular a cargo del contratista.

Tipos de Intervención. Las intervenciones que se definan realizar para cada caso, bien sea mantenimiento (rutinario o periódico), rehabilitación o reconstrucción, deberán ejecutarse a lo largo y ancho de la calzada a intervenir.

• **Mantenimiento rutinario:** Se define como el conjunto de actividades tendientes a lograr el cumplimiento de la vida útil de la estructura, constituyéndose en una práctica preventiva. Entre las actividades principales se tienen las siguientes, sin limitarse a ellas:

- Limpieza de drenajes, pozos, alcantarillas.
- Sello de fisuras, en pavimentos flexibles.
- Limpieza y sello de juntas, para pavimentos rígidos.

• **Mantenimiento periódico:** Se define como el conjunto de actividades superficiales que no comprometen las capas inferiores de la estructura del pavimento, tendientes a lograr que por lo menos se alcance el período de diseño o vida útil, manteniendo su condición de servicio. Constituyéndose así en una práctica preventiva o correctiva. Entre las actividades principales se tienen las siguientes, sin limitarse a ellas:

- En pavimentos flexibles: Parcheo, bacheo, colocación de capas asfálticas no estructurales del tipo microaglomerado, o mezclas densas de restitución de carpeta, lechada asfáltica o sello de arena-asfalto.
- Para pavimentos rígidos: Reconstrucción de losas.

• **Rehabilitación:** Esta actividad está definida como el conjunto de medidas que se aplican con el fin de recuperar la capacidad estructural del pavimento y hacerlo apto para un nuevo período de servicio. Algunas actividades asociadas a la necesidad de rehabilitar implican el retiro de parte de la estructura existente para colocar posteriormente el refuerzo, en tanto que con otras se busca aprovechar las condiciones superficiales existentes del pavimento. Puede incluir el reciclado de las capas asfálticas, con o sin incorporación de material granular nuevo o existente, o la colocación de capas superiores de mejoramiento estructural. Normalmente, los procesos de rehabilitación van asociados a la ampliación de los períodos de vida útil y en consecuencia al estudio de tránsito, materiales y dimensionamiento estructural necesarios. Su intervención en profundidad será máximo hasta la primera capa granular de la estructura y se realizarán si se

requiere mejoras en las condiciones hidráulicas, que no requieran renovación o diseño.

• **Reconstrucción:** Se define como el retiro y reemplazo total de la estructura de un pavimento para generar una nueva estructura, la cual queda como una vía nueva. Es posible considerar la reutilización total o parcial de los materiales existentes. En su detalle, se debe hacer el estudio de tránsito, materiales, dimensionamiento estructural y si se requiere renovación o diseño de redes hidráulicas necesarias, para garantizar el período de vida útil previsto.

Se recomienda emplear adicionalmente a los materiales convencionales, el empleo de materiales estabilizados, reciclaje, o mezclas ambientalmente favorables como mezclas asfálticas con grano de caucho reciclado (GCR).

De manera particular para la condición estructural identificada con el código uno (1), con una condición superficial roja o naranja (1C y 1D), se deberá realizar el fresado y la restitución de la carpeta asfáltica, en un espesor como mínimo igual al existente o aquel que tenía proyectado a nivel de rasante.

Para las combinaciones 2A a 2D, se recomienda hacer intervenciones a nivel de capas asfálticas, bien sea por medio de fresado y restitución o reemplazo de la capa asfáltica o sobrecarpetas.

Se recomienda que para actividades de rehabilitación, se tenga en cuenta las siguientes situaciones en función del Índice Estructural (Ie):

- Para Índices estructurales menores de 1 y mayores o iguales a 0.7, ($1 < 0.7$), combinaciones 2A a 2D y si el diseño de refuerzo propuesto por el contratista y aprobado por la interventoría lo permite, se recomienda intervenir únicamente la capa superior con el reemplazo de la (s) capa (s) asfálticas, empleando mezclas estructurales o la construcción de sobrecarpetas si la rasante lo permite.
- Para Índices estructurales menores de 0.7 y mayores o iguales a 0.5, combinaciones 3A a 3D, se realizará la propuesta de refuerzo o mejoramiento diseñada por el contratista y aprobada por la interventoría.
- Para las actividades de rehabilitación, se consideró el empleo de materiales estabilizados con cemento y/o bitumen o el empleo de técnicas de reciclaje, con o sin adición de bitumen y/o ligante hidráulico.

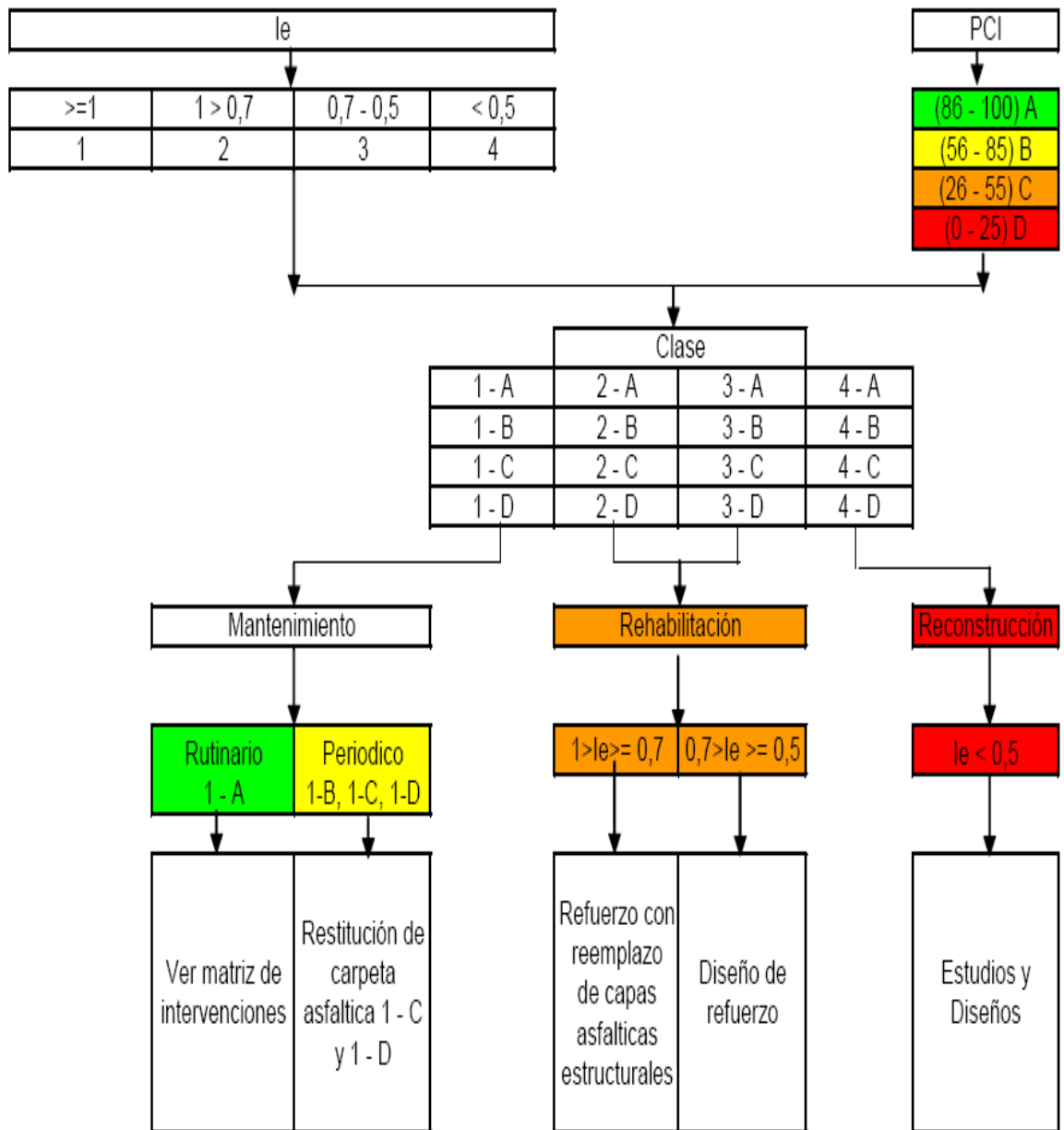
En intervenciones de rehabilitación o reconstrucción, las combinaciones 3A, 3B, 4A y 4B, indicarán que el estado superficial permite que la intervención se programe después de atender los segmentos calificados con combinaciones que indiquen un deterioro mayor, como son; 3D, 4D, 3C y 4C.

En la siguiente matriz se indica el tipo de intervención para pavimentos flexibles, corresponde a una sugerencia, la intervención definitiva deberá corresponder a la propuesta por el contratista y aprobada por la Interventoría:

Cuadro 6. Matriz de clasificación e intervención para pavimentos flexibles

CÓDIGO DE CLASE	MANTENIMIENTO										REHABILITACIÓN	RECONSTRUCCIÓN
	ROUTINARIO		PERIODICO									
	Mantenimiento de tuberías, box culvert, y estructuras de alcantarillado	Sello de Grietas en Pavimentos Asfálticos	Lechadas asfálticas. (Mezcla no estructural)	Sello de Arena Asfalto. (Mezcla no estructural)	Tratamiento Superficial Simple. (Mezcla no estructural)	Micro aglomerado en Caliente. (Mezcla no estructural)	Reparación superficial de pavimento asfáltico (parcheo)	Reparación profunda de pavimento asfáltico (bacheo)	Fresado de Pavimentos Asfálticos.	Mezcla Densa en Caliente (Para restitución de Carpeta de Rodadura) y cuando aplique previo sello de fisuras e intervenciones de Parcheo y Bacheo.		
1A	X	X										
1B	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
1C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
1D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2A	X									X	X	
2B	X									X	X	
2C	X									X	X	
2D	X									X	X	
3A	X										X	
3B	X										X	
3C	X										X	
3D	X										X	
4A	X											X
4B	X											X
4C	X											X
4D	X											X

Figura 20. Diagrama para diagnóstico de pavimentos flexibles



6. PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS EN EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA MALLA VÍAL LOCAL DE KENNEDY

A continuación se hará una breve descripción de los procedimientos desarrollados en el Mantenimiento y Rehabilitación de la Malla vía local de Kennedy, la información fue suministrada por la Asociación de Ingenieros de la Universidad Militar Nueva Granada (**ASICUM**), quienes desarrollaron la Interventoría a los trabajos realizados sobre las vías en Kennedy.

Actividades ejecutadas sobre los pavimentos flexibles de la malla vial local en Kennedy:

- Se realizó la demolición mecánica del pavimento original y compactación de la base existente
- A continuación se realizó la imprimación mecánica con una emulsión de rompimiento lento crr-1
- luego se hizo extensión y compactación de base asfáltica MDC-1
- Finalmente se hace imprimación mecánica de rompimiento rápido crr-1, para luego realizar extensión y compactación de rodadura MDC-3 .

En consecuencia y de manera general se desarrollaron las siguientes actividades:

- Reconstrucción carpeta asfáltica en toda el área afectada de la vía colocando un espesor mínimo de 12 cm lo anterior se hizo en dos capas, una de 8 cm de base asfáltica de mezcla MDC-1 y otra capa de 4 cm de rodadura de MDC-3 en toda el área de la vía.
- Reponer el material granular en donde fue necesario por base granular B-600 de espesor variable , mínimo 15 cm
- limpieza de sumideros.

6.1 Archivos fotográficos:



Situación del estado de los pavimentos previa al desarrollo de las intervenciones realizadas.



Evidencia de fatiga de la carpeta asfáltica con fisuras longitudinales y trasversales.



Izq. Evidencia de ojos de pescado con pérdida de trozos de carpeta que ocasionan pérdida de aridos afectando la estructura del pavimento. **Der.** Levantamiento y retiro de carpeta asfáltica con parte de la estructura (base).



Extensión y compactación base asfáltica MDC-1 y base de rodadura MDC-3

6.2 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EVALUAR LAS VÍAS POR LOS CONTRATISTAS

La metodología realizada comprende la determinación del grado de afectación y en consecuencia del valor de su recuperación. A continuación se presentan los criterios empleados para llegar a dichos valores.

6.2.1 Evaluación

Básicamente la evaluación de las vías se basó en la metodología implementada por el IDU para la evaluación visual²⁹. Consiste en la recopilación en campo de la información básica de cada una de las vías: su localización, sus características (uso, tipo de vía, estado actual, características geométricas y drenajes), información sobre los andenes y los sardineles, las redes de servicios públicos existentes y una inspección visual detallada de los deterioros.

En la inspección visual detallada se califican en cuanto a extensión y severidad las principales fallas de los pavimentos flexibles y rígidos. La severidad de las fallas se califica como baja, media o alta y dependen tanto de la extensión de las mismas, en comparación con el área de la vía evaluada como de su incidencia en la reducción de la movilidad de los vehículos en la vía.

Para efectos prácticos se determinó que las fallas con una extensión menor al 15 % del área de la vía se consideran de baja severidad, entre el 15 y el 30 % de media severidad y mayor al 35 % de alta severidad.

Se determinó qué tipo de vehículo (particulares, transporte público o de carga) transitan en su mayoría por las vías. También se hace referencia al estado actual de la vía, es decir si se encuentra pavimentada o no.

Las dimensiones de las vías, las áreas afectadas por los daños, las dimensiones de los andenes y de los sardineles se tomaron en campo empleando instrumentos como odómetro, cinta y flexómetro. Así mismo se verificó la cantidad y el estado de los sumideros y de los pozos existentes.

También se realizaron apiques, que se hicieron para determinar los espesores representativos de las carpetas existentes.

En cada una de las visitas a las vías evaluadas se tomaron fotografías del estado inicial de las vías y de sus deterioros con el fin de contar con un registro fotográfico de las mismas.

²⁹ Antigua metodología de evaluación visual

6.2.2 Valoración de daños y Reparación

La valoración siguió los lineamientos de la metodología propuesta por el Instituto de Desarrollo Urbano en el documento IDU -106946, acerca de los trabajos de mantenimiento periódico y rutinario, y labores de reparacheo en las localidades.

A continuación se presenta un procedimiento para la determinación del estado del pavimento basado en el porcentaje de afectación de la vía (relación área afectada/área de la vía) como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Definición de los estados de condición.

PORCENTAJE DE ÁREA AFECTADA	ESTADO DE CONDICIÓN
0% = PAA ≤ 30%	A
30% < PAA ≤ 60%	B
PAA > 60%	C

El estado de condición implica el nivel de intervención conforme se muestra en el cuadro 6.

CUADRO 8. Alcance de los estados de condición.

ESTADO DE CONDICIÓN	NIVEL DE INTERVENCIÓN
A	NIVEL DE INTERVENCIÓN 1 MANTENIMIENTO RUTINARIO
B	NIVEL DE INTERVENCIÓN 2 REPARACIÓN DE PAVIMENTO
C	NIVEL DE INTERVENCIÓN 3 REPARACIÓN MASIVA DE PAVIMENTO

7. PROPUESTA PLAN DE CONSERVACIÓN PREVENTIVO

7.1 MANTENIMIENTO RUTINARIO

- Conservación continua (a intervalos menores de un año), de la vía, zonas laterales y a intervenciones de emergencia con el fin de mantener las condiciones óptimas de transitabilidad.

Las principales actividades que se pueden desarrollar son:

7.1.1 Rocería

Eliminación de todas las hierbas que hayan crecido en las cunetas descoles, encoles entrada y salida de alcantarillas y cauces de agua próximos a la vía.

7.1.2 Alcantarillas

Retiro y remoción de escombros y ó elementos extraños que obstruyan las mencionadas

7.1.3 Reconstrucción de obras de drenaje

Reparación de aquellas obras de concreto que por efectos del tránsito, derrumbes o agentes atmosféricos hayan sufrido daños que puedan afectar su estabilidad.

Se considera como una actividad de mantenimiento periódico la reparación de obras de drenaje menores tales como muros de contención, cabezotes de alcantarillas, muros o aletas de entrada y de salida, tubos rotos siempre y cuando los porcentajes de reparación no superen el 50% de la obra, en caso de lo contrario, ya no se tratará de un mantenimiento periódico sino de una Rehabilitación.

7.1.4 Construcción de obras de protección o drenaje menores

- Alcantarillas
- Muros en concreto o gaviones
- Pontones, cunetas, bateas que no se tuvieron en cuenta cuando se construyó la vía.

7.1.5 Reparación de Baches en afirmado y/o Parcheo en pavimento

Consiste en rellenar los baches o depresiones que se presentan en zonas blandas o inestables de reducida extensión en una vía. Se debe disponer la remoción de todo el material saturado o contaminado que pueda encontrarse en esas cavidades. Luego de regularizar los bordes del bache cortándolo normalmente a la superficie, se reemplaza este por otro material granular del mismo tipo de características dentro de especificaciones. En pavimento este proceso se debe llevar a cabo cuando la superficie presente puntos deteriorados o deformados y de carácter aislado. El material colocado deberá ser compactado.

7.1.6 Riegos de Vigorización del pavimento

Son riegos de tipo preventivo y consisten en la aplicación de riego de asfalto para vigorizar y revivir zonas aisladas del pavimento donde se adviertan signos de desgaste, grietas o una inminente desintegración de la superficie.

7.2 MANTENIMIENTO PERIÓDICO

Comprende la realización de actividades de conservación a intervalos variables relativamente prolongados (3 a 5 años), destinados primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y fenómenos climáticos. Contempla la construcción de obras de drenaje menor y de protección, faltantes en la vía. Las principales actividades son:

- **Reconformación y recuperación de la banca:** cuando la zona que presenta inestabilidad, baches o depresiones en una extensión considerable o el desgaste de la superficie es apreciable, conviene escarificar la superficie, agregar y mezclar materiales granular adicional hasta conseguir el espesor de diseño y luego reconformar con motoniveladora la superficie y compactarla nuevamente para conseguir la tersura superficial.
- **Reposición de pavimento en algunos sectores:** en muchas ocasiones los deterioros del pavimento pueden abarcar un área bastante grande y resultan antieconómicos los bacheos o riegos asfálticos. Por lo anterior se hace necesario reponer la carpeta asfáltica en toda la zona. En algunos procedimientos utilizados se pulveriza la carpeta existente para que forme parte de la base y se coloca una nueva carpeta asfáltica. Esta actividad se considera de mantenimiento periódico siempre y cuando la falla no esté al nivel de base, subbase o subrasante, en ese caso se trataría de una rehabilitación.

8. CONCLUSIONES

Debido al alto desarrollo urbanístico y automotor que se ha venido presentando en las principales ciudades del mundo y de Colombia, que ha sometido a los pavimentos a mayores esfuerzos y deformaciones, existe la necesidad de evaluar dichos pavimentos para garantizar su óptimo funcionamiento; para ello existen entidades como el INVIAS e IDU a nivel nacional y la American Association of State Highway and Transportation Officials a nivel Internacional, entre otras, que realizan procedimientos de administración vial, generando estrategias capaces de establecer políticas de restauración y rehabilitación de pavimentos, con el fin de evaluar la calidad, la estructura y la funcionalidad de las vías que tienen a su cargo.

Para evitar el deterioro de los pavimentos se establecen procedimientos de administración vial capaces de generar un completo control en cuanto a mantenimiento y rehabilitación. Para realizar dichos procesos se establecen estrategias que permiten identificar el problema, establecer el estado de la vía y consecuentemente proponer el tipo de tratamiento requerido. Lo ideal sería que no se realizaran actividades de rehabilitación, sino que a través de actividades previas de supervisión, se ejecutara un mantenimiento preventivo que garantice el buen estado de los pavimentos.

A principios de los 90's y con la implantación de sistemas de administración de pavimentos para manejar eficientemente las acciones y presupuestos destinados a la conservación de carreteras, países como Estados Unidos, Francia, Inglaterra, España y Suiza, diseñaron una serie de equipos con tecnología de punta para medir con precisión, sin interrumpir el flujo vehicular, parámetros muy importantes que evalúan tanto la condición superficial como la estructural del pavimento bajo análisis.

La Gestión de Pavimentos, es una disciplina que engloba todas las actividades involucradas en la planeación, diseño, construcción, evaluación y conservación de los pavimentos de una red de carreteras. En concordancia con lo anterior, esta Gestión de Pavimentos constituye una de las funciones más importantes para cualquier entidad responsable del desarrollo y el mantenimiento de infraestructura vial.

Es importante aclarar, que aunque el IDU prácticamente ha implementado un sistema de gestión vial en la ciudad basado en la metodología internacional HDM IV, se evidencia que aún no hacen nada por mantener y preservar en óptimas condiciones las mallas viales locales como a la que nos referimos en este trabajo "LOCALIDAD DE KENNEDY", pues a la fecha no se ha realizado ningún tipo de procedimiento como: mantenimientos periódicos o rutinarios que eviten daños

prematuras y desencadenen grandes deterioros sobre estos pavimentos ocasionando el daño total de la estructura, que genere sobrecostos en intervenciones futuras además de la disminución de la calidad de vida de los habitantes de este sector de la ciudad.

Según indicaciones de la Asociación de Ingenieros de la Universidad Militar **ASICUM** empresa interventora en proyectos de rehabilitación a los pavimentos asfálticos existentes allí, los pavimentos de la localidad de Kennedy tienen entre 40 y 50 años y durante parte de este tiempo no se evidencio algún tipo de intervención con el objetivo de poder preservarlos; hasta ahora cuando los pavimentos se han deteriorado aproximadamente en un 80% es cuando se les ha intervenido reconstruyendo prácticamente parte de la estructura original. Lo anterior indica que en el papel el gobierno local plasma un seguimiento y control de todas las mallas viales locales que en la práctica no se da.

Con el desarrollo de este proyecto, se evidencio que en las vías administradas por entes públicos como el IDU nuestro caso, aún no se cuenta con procedimientos, políticas o estrategias de calidad que optimicen las actividades de Construcción, mantenimiento o rehabilitación de pavimentos asfálticos sobre estas mallas viales; lo anterior debido a que aún no contamos con la cultura de proteger y preservar nuestro propio patrimonio en este caso las vías. Para nadie es un secreto que hoy en día al interior de las entidades gubernamentales se mueven muchos intereses políticos, económicos y burocráticos que cambios en la planeación de proyectos que benefician al pueblo y a su economía.

Teniendo en cuenta que las vías analizadas fueron intervenidas en el año 2007 se puede conceptuar que el periodo de vida de éstas va prácticamente por la mitad por lo que es indispensable la implementación de medidas de administración vial capaces de generar soluciones a los problemas que posiblemente se van a presentar. Cuando estos sean evidentes es conveniente ejecutar un sobrecapado en concreto Asfáltico, que consiste en colocar una capa de concreto asfáltico sobre el pavimento asfáltico existente. Su espesor mínimo es de 5 cm. Antes de colocarlo, es necesario reparar (Bachear) todas las imperfecciones del camino y si este contara con un perfil muy deteriorado, sería necesario aplicar una capa renivelante.

En reuniones sostenidas con Ingenieros de ASICUM (asociación de Ingenieros de la Universidad Militar) y además con personal de la comunidad de Kennedy, estas dos agremiaciones manifestaban que la priorización para el mantenimiento y rehabilitación de una vía local en Bogotá D.C., como es el caso de la malla vial de Kennedy, se da sobre intereses políticos económicos y burocráticos de los políticos de turno que buscan prevalecer su bien particular sobre el común, lo anterior va en contra de cualquier sistema de gestión de pavimentos que pretende por intermedio de análisis técnicos concienzudos, determinar que segmentos viales deben ser intervenidos justificada y objetivamente.

Todo programa de conservación vial debe tener un objetivo determinado, por esta razón se deben definir los alcances del proyecto y que se busca al final de la vida útil.

Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de sello de grietas cada año y uno periódico de parcheo de sitios localizados cada (3) tres años y conservar los segmentos viales de la localidad de Kennedy libre de materiales y escombros que impidan el buen funcionamiento de obras de drenaje.

9. BIBLIOGRAFÍA

- MONTEJO, Alfonso. “Ingeniería de pavimentos para Carreteras”. Universidad Católica de Colombia. Bogotá 2001. 596 p.
- POSSO ARÉVALO, Orlando Germán; LÓPEZ MORALES, José Gustavo. “Manual para Interventoría de Vías”, Bogotá, 1997. 252 p.
- Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, 2002, INVIAS.
- Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras, 2002, INVIAS.
- Acuerdo 02 de 1999: Por el cual se crea el sistema de información de la malla vial de Santa Fe de Bogotá, D.C.
- SOLMINIHAC HERNÁN DE. Gestión de Infraestructura Vial, Segunda Edición Ediciones Universidad Católica de Chile, 2001.
- TOVAR SABOGAL, Laura. Análisis Deflectométrico a través de la viga Beinkelman en tramos de vías seleccionados en la localidad de Kennedy. Bogotá 2009
- Gestión de Infraestructura Vial, 3ª edición, Hernán de Solminihac T.
- Apuntes y material suministrado en la asignatura “Administración de Pavimentos” de la Especialización en Ingeniería de Pavimentos de la UMNG, Bogotá Octubre – Diciembre de 2009.
- NORMAS DE ENSAYO INVIAS. Medida de la deflexión de un pavimento empleando dispositivos de carga estática no continua, Viga Benkelman. Bogotá: INVIAS, 2007. (I.N.V.E – 795-07).
- Norma ICONTEC, NTC-1486, “**Presentación de Tesis – Trabajos de Grado y otros Proyectos de Investigación**” en su sexta actualización.

ANEXOS

- Descripción de **deterioros tipo A y B** según la Guía Metodológica para el mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos del INVIAS, 2007
- Modelo de un sistema de Gestión de pavimentos, tomado de **PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE**, CIIV - Centro de Ingeniería e Investigación Vial, Dictuc S.A. Guillermo Thenoux Z. Ingeniero Civil, MSc, PhD Profesor Titular Universidad Católica de Chile.

DESCRIPCIÓN DE DETERIOROS TIPO A SEGÚN LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DEL INVIAS

Ahuellamiento. Depresión en la banda de rodamiento, lo cual puede generar levantamientos en las zonas adyacentes. Se produce como resultado de la deformación permanente de cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante a causa de la consolidación o movimiento lateral de los materiales, debido a las cargas del tránsito.

El Ahuellamiento puede ser producido por deformación plástica de la mezcla asfáltica a alta temperatura o por deficiente compactación durante la construcción. Entre mayor sea la magnitud de este deterioro, mayor el compromiso estructural del pavimento.

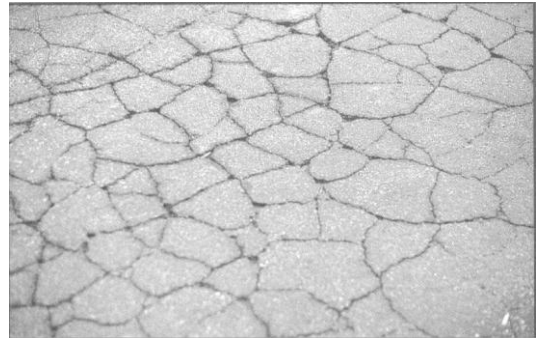


Depresiones. Áreas localizadas del pavimento, cuya elevación es menor que la de la superficie circundante. Pueden ser motivadas por asentamientos del suelo de fundación o pueden ser generadas durante la construcción por deficiente compactación o el uso de materiales inadecuados.



Grietas por fatiga (longitudinales y de piel de cocodrilo. La piel de cocodrilo es un conjunto de grietas interconectadas, las cuales se producen por la falla por fatiga de las capas asfálticas a causa de la acción repetida de las cargas del tránsito. El agrietamiento se inicia en la parte inferior de dichas capas donde los esfuerzos de tensión y las deformaciones a causa de las cargas del tránsito alcanzan su mayor magnitud. Inicialmente, aparecen como grietas longitudinales individuales o series de grietas paralelas en la banda de rodamiento. Luego, bajo

la acción de las cargas repetidas, se van interconectando formando un patrón reticular semejante



Bacheos y Parcheos. Áreas donde el pavimento original ha sido removido y remplazado con materiales similares o diferentes. Las capas involucradas en la reparación pueden ser solo las asfálticas (parcheo) o tanto las asfálticas como las inferiores del pavimento (bacheo). Estas reparaciones se usan como paliativos provisionales o definitivos a ciertos defectos del pavimento.

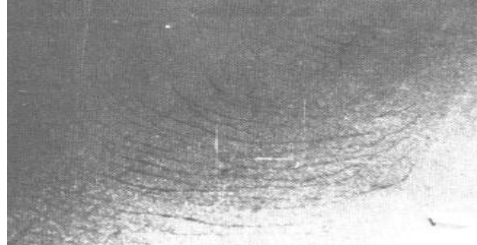


DESCRIPCIÓN DE DETERIOROS TIPO B, SEGÚN LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DEL INVIAS

Grietas longitudinales de Junta de construcción. Grietas en sentido longitudinal coincidentes con la junta de construcción por defectos en la elaboración de esta.



Grietas parabólicas. Grietas en forma de parábola, cuyos extremos apuntan en la dirección del tránsito. Son ocasionadas por el frenado, giro o circulación a muy baja velocidad de ruedas pesadas que hacen deslizar y deformar la capa superior del pavimento. Ocurren generalmente donde existen mezclas asfálticas de baja estabilidad o hay pobreza de liga entre la capa de rodadura y la subyacente.



Otras grietas longitudinales, transversales o en bloque. Las grietas longitudinales son aproximadamente paralelas al eje de la calzada, las transversales son más o menos normales al mismo; y las grietas en bloque dividen el pavimento en trozos de aproximadamente 0.1 m^2 a 2.5 m^2 .

Las grietas son motivadas por contracción de las capas asfálticas a bajas temperaturas, endurecimiento del asfalto o reflejo de grietas de capas inferiores. Este tipo de agrietamiento no está relacionado con las cargas del tránsito, aunque es evidente que estas pueden aumentar su severidad.

El origen de las grietas puede ser verificado extrayendo núcleos del pavimento, en los cuales se pone en evidencia la ausencia de propagación de las grietas hacia las capas inferiores.



Grietas de borde. Grietas continuas, aproximadamente longitudinales, que se presentan cerca del borde de la calzada o en las bermas. Sus causas pueden ser muy variadas:

- Abertura de una junta de ampliación de la calzada por asentamiento de la zona ampliada.
- Indicios de inestabilidad del talud.
- Cambios volumétricos de los suelos de subrasante por modificaciones estacionales de humedad.

- Carril muy angosto que obliga al tránsito a circular muy cerca del borde de la capa de rodadura.
- Deficiencias de drenaje.



Ojos de pescado. Cavidades de tamaño diverso, de forma aproximadamente redondeada, que resultan del desprendimiento ocasionado por el tránsito de trozos de carpeta afectados por agrietamientos del tipo piel de cocodrilo, por depresiones o desintegración localizada de la mezcla asfáltica. Según su gravedad, la reparación deberá incluir solo la capa de rodadura o la totalidad de la estructura. Cuando su número es considerable, su reparación se debe acometer bajo los conceptos de la reparación de los deterioros del tipo A.



Abultamientos. Ondulaciones transversales sucesivas de la superficie del pavimento, motivadas generalmente por deficiencias de estabilidad de la mezcla asfáltica, aunque también pueden ocurrir por falta de liga entre la capa superior y la subyacente o por excesiva humedad en la subrasante. El deterioro también puede ocurrir en áreas donde el tránsito somete al pavimento a elevados esfuerzos tangenciales: tramos de alta pendiente longitudinal, zonas de frenado y arranque, etc.



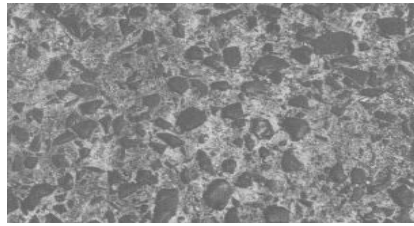
Desprendimientos. La pérdida de película de ligante ocurre cuando los agregados pétreos pierden la envoltura asfáltica en presencia de humedad a causa de su hidrofilia. La pérdida de agregados es el desplazamiento de partículas de agregado pétreo de la superficie del pavimento, fenómeno que ocurre casi exclusivamente en los tratamientos superficiales.



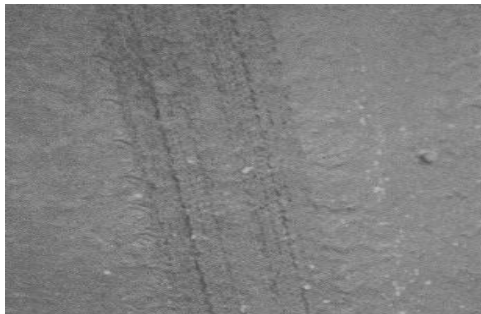
Descascaramiento. Pérdida de fragmentos de la capa superficial asfáltica sin afectar las capas inferiores. Ocurre por deficiencias de liga con la capa subyacente o por insuficiente espesor o inestabilidad de la capa de rodadura.



Pulimento de agregados. Aspecto muy liso de la superficie del pavimento, debido al empleo de agregados muy pulimentables en la elaboración de la capa de rodadura.



Exudación. Presencia de una película de asfalto libre en la superficie del pavimento, la cual da lugar a un aspecto oscuro y brillante, que a veces se hace muy pegajoso y que bajo condiciones de superficie húmeda produce enormes pérdidas de fricción. La exudación se debe a defectos en la manufactura de la mezcla a causa de una excesiva cantidad de asfalto o un contenido muy bajo de vacíos con aire.



Afloramientos.

- el afloramiento de mortero es la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base, por las grietas cuando circulan sobre ellas las cargas del tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie en el borde de las grietas indica la existencia del fenómeno.
- el afloramiento de agua se manifiesta por la presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay lluvia, a causa de la existencia de un gradiente por deficiencias en el sistema de drenaje subterráneo.



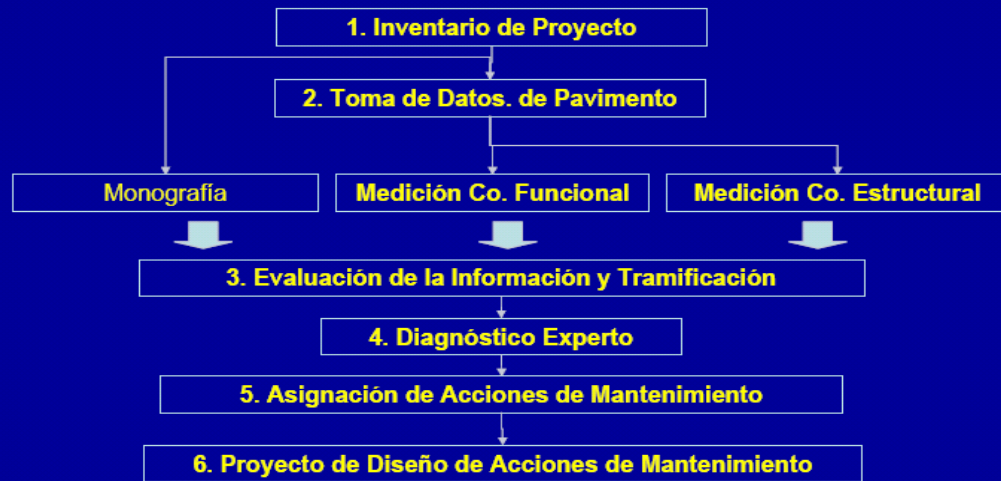
Deterioros relacionados con las bermas.

- **Desintegración de los bordes del pavimento.** Se presenta cuando las bermas no son revestidas y los vehículos se estacionan frecuentemente en ellas o circulan muy cerca del borde de la calzada.
- **Escalonamiento entre calzada y berma.** Asentamiento de las bermas debido a la consolidación de las capas que la constituyen. Ocurre también por arrastre de material por parte de vehículos que circulan sobre bermas no revestidas.
- **Erosión de las bermas.** Destrucción de bermas no revestidas a causa de un inadecuado sistema de drenaje superficial.



ANEXO 2

➤ Modelo de un Sistema de Gestión a Nivel de Proyecto



➤ INVENTARIO → Levantamiento estado de toda la infraestructura relacionada al proyecto

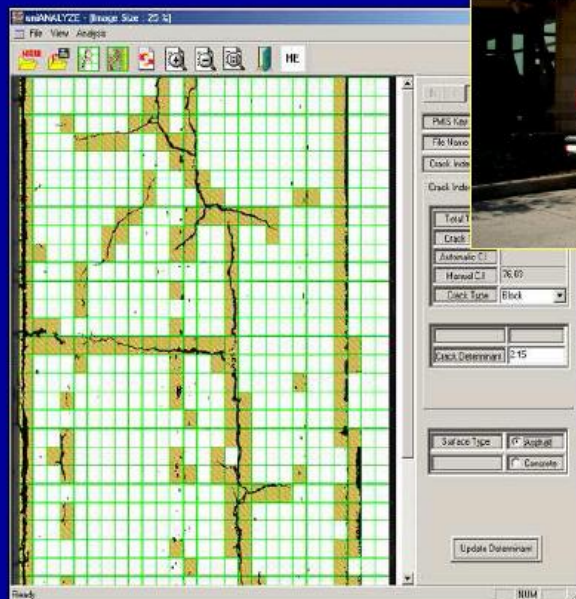


➤ **INVENTARIO → Monografía de Pavimento**

Km			
km 1			
km 2			
km 3			
km 4			
km 5			
km 6			
km 7			
km 8			
km 9			
km 10			
km 11			
km 12			
km 13			
km 14			
km 15			
km 16			
km 17			
km 18			
km 19			
km 20			
km 21			
km 22			
km 23			
km 24			
km 25			
km 26			
km 27			
km 28			



➤ **Levantamiento Monográfico**



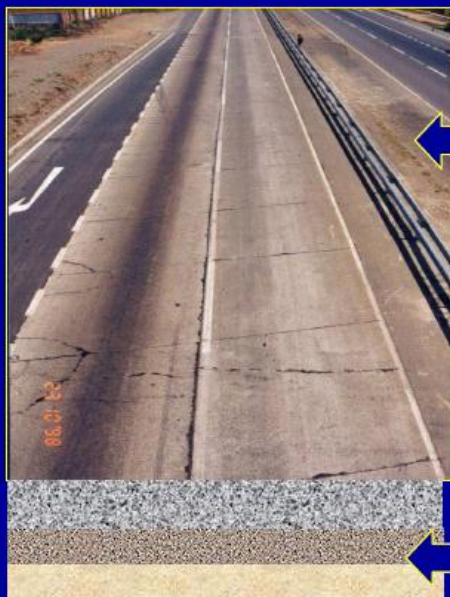
➤ MEDICIÓN CONDICIÓN FUNCIONAL



Condición Funcional

- **Rugosidad (IRI)**
- Resistencia a la fricción (Seguridad)
- Producción de spray (Seguridad)
- **Ahuellamiento (Seguridad)**
- Ruido (Ambiental)
- Apariencia (Funcionalidad del diseño)

➤ MEDICIÓN CONDICIÓN FUNCIONAL



Las condiciones **Funcionales** y **Estructurales** de un pavimento deben ser evaluadas por separado.

Condición Funcional

- Rugosidad (IRI)
- Resistencia a la fricción (Seguridad)
- Producción de spray (Seguridad)
- Ahuellamiento (Seguridad)
- Ruido (Ambiental)
- Apariencia (Funcionalidad del diseño)

Condición Estructural

2.5 Equipos para la Evaluación Condición Estructural del Pavimento

Existen una variedad de ensayos para medir la resistencia de los materiales o la integridad física de la estructura. Sin embargo, todos los resultados de las mediciones deben ser interpretados por un experto o diseñador de pavimentos. Más importante que las mediciones es el estudio de la sintomatología del deterioro

Los métodos de evaluación no son excluyente y cada uno proporcionara información complementaria según el nivel de detalle que se requiera para el diagnóstico.



CPD



LWD



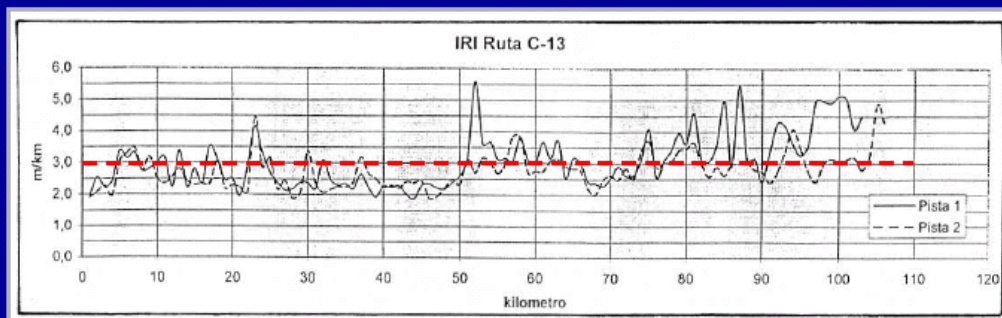
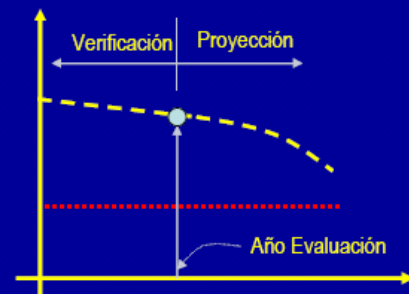
FWD o HWD

EVALUACIÓN INFORMACIÓN

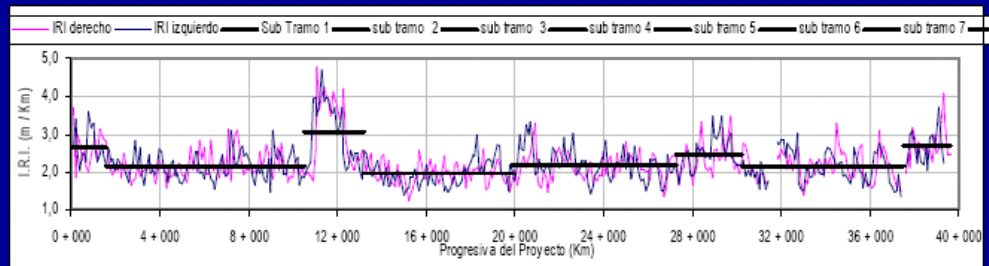
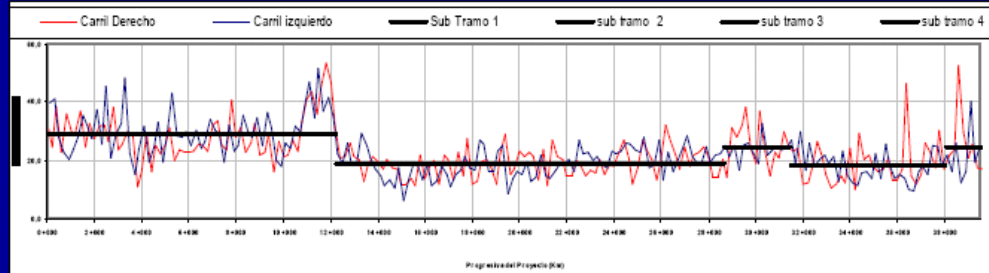
Tiene por objetivo:

- Organizar y transformar los datos en información.
- Tramificar el proyecto en secciones de similares características.
- Verificar cumplimiento de umbrales o estándares para condición funcional y estructural.

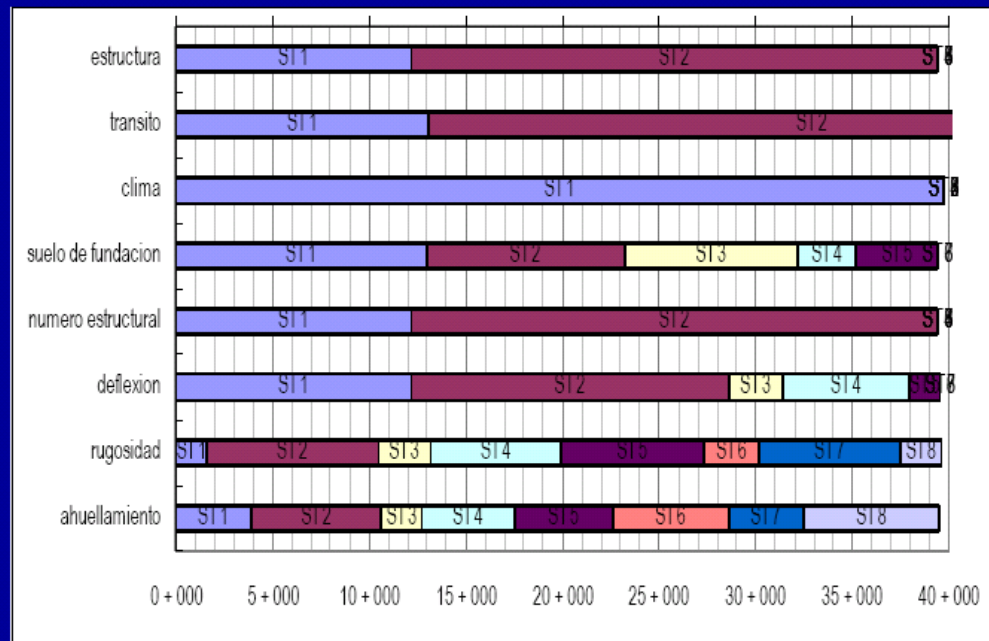
Modelo de Deterioro



ANALISIS DE RESULTADOS Y SECTORIZACION



RESUMEN GRÁFICO SECTORIZACION



RESUMEN SECTORIZACIÓN CON INFORMACIÓN RESUMIDA

SUBSTRATO	estructura			IMD		cúbito	suelo de fundación		numero estructural	deflexión	rugosidad	fisuras en m		parches en m ²	desprendimientos en m ²	afueltas/m ²				
	inicio	final	carpeta (cm)	base (cm)	sub base (cm)		total	veh. Pesados				M _r en Mpa	CBR %				menor	mayor	bajo	medialto
ST-1-1	0 + 000	1 + 600	TSB	25	25	427	139	20PC	98	15	2,58	28,56	2,65	582,1	1909,0	4,2	680,2	5,7		
ST-1-2	1 + 600	10 + 500											2,14	2585,7	7451,4	30,4	2514,1	6,9		
ST-1-3	10 + 500	13 + 050											3,04	535,8	1917,8	2,7	2947,6	6,1		
ST-1-4	13 + 050	19 + 900											1,95	2287,7	2599,6	46,7	8232,2	7,4		
ST-1-5	19 + 900	23 + 250											2,23	857,9	373,7	11,6	5272,3	5,7		
ST-1-6	23 + 250	27 + 300											21,13	2,08	931,5	405,7	12,6	5724,2	7,6	
ST-1-7	27 + 300	30 + 200											22,56	2,43	497,8	203,9	15,1	3904,7	6,3	
ST-1-8	30 + 200	32 + 250											23,38	2,13	530,0	191,2	33,2	4129,0	5,6	
ST-1-9	32 + 250	35 + 250											17,65	2,17	691,3	249,4	43,3	5385,6	7,5	
ST-1-10	35 + 250	38 + 050											18,58	2,14	844,8	184,2	62,3	6630,4	7,6	
ST-1-11	38 + 050	39 + 600											24,70	2,69	457,7	102,0	34,5	3670,4	7,7	

DIAGNÓSTICO

Objetivo: Determinar las causas que están dando origen al deterioro para poder asignar las acciones de conservación o rehabilitación (¿Qué tipo? ¿Cuándo?)

1. Las causas que dan origen al deterioro puede tener su origen en:

(*) Cuidado de los primeros meses de servicio.

1. Proyecto
2. Construcción
3. Uso
4. Conservación (*)

2. El inicio de las fallas estructurales son imperceptibles al ojo humano y a su vez difícil de detectar con diferentes tipos de instrumentación.
3. Cuando una capa de la estructura de un pavimento falla, ésta afecta inmediatamente las otras capas.

ASIGNACIÓN DE ACCIONES de MANTENIMIENTO C&R

Los tipos de acciones de **C&R** pueden ser varias.

El desarrollo que ha alcanzado la ingeniería vial en países desarrollados ha creado la necesidad en estos países de aplicar acciones de C&R de forma eficiente y efectiva (in and out).

Este efecto ha sido la causa principal de que en los últimos años se han desarrollado tecnologías y equipos, que abren un abanico importante de opciones para la elección de acciones de conservación.

El desafío está entonces en conocer estas tecnologías y realizar una adecuada transferencia de ellas.



LA RELACIÓN ENTRE MÉTODO DE CONSERVACIÓN O REHABILITACIÓN VERSUS DEFECTO DE PAVIMENTO

Reparaciones Localizadas	Bacheos Reemplazos localizados	NO REPARAN CONDICIÓN GENERAL DEL PAVIMENTO							
Conservación	Sellado de grieta				X				
	Sello de agregados		xxx	xx	x			xxx	
	Lechadas		xx	xx	x			xxx	
	Microsuperficies		xxx	xx	xx	x		xxx	
	Sellos combinados		xxx	x	x			xxx	
	Cepillado	xxx	xxx	x			xxx		
	MA en Frio	xxx	xxx	x	x	xxx	xxx		
MA en Caliente	xxx	xxx	x	x	xxx	xxx			
Rehabilitación	Recapado directo	xxx	D	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx
	Frezado y recapado	xxx	D	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	x
	Reciclado capa asfáltica	xxx	D	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	x
	Reciclado profundo	xxx	D	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

NO CORRIGEN
PROBLEMAS ESTRUCTURALES

xxx 100% Efectivo
xx Parcialmente efectivo
x Levemente efectivo
D Depende del diagnóstico y diseño

Nota: Para el caso de los tratamientos superficiales se aplica un criterio diferente

TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN FUNCIONAL DE PAV. ASFÁLTICOS

- ❖ **Sellado de Grietas**
- ❖ **Sellos asfálticos superficiales (varios tipos)**
- ❖ **Cepillado**
- ❖ **Micropavimento**

TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE PAV. ASFÁLTICOS

- ❖ **Recapado directo**
- ❖ **Fresado carpeta y recapado**
- ❖ **Reciclado carpeta asfáltica**
- ❖ **Reciclado profundo**

2. Formas de Reciclado en un Sistema de Gestión

En Frío

En Caliente

En Planta



En Sitio



- Asfalto Espumado
- Emulsión
- Asfalto Cortado

- Cemento Asfáltico

G. Thenoux Z.

DISEÑO DE ACCIONES DE C&R

El diseño corresponde a la etapa donde se realiza el proyecto de cálculo, planos y especificaciones.

Los proyectos de rehabilitación estructural suelen ser por naturaleza heterogéneos por lo cual el proyecto de ingeniería debe incluir la menor cantidad posible de soluciones de rehabilitación. *Los proyectos de rehabilitación estructural no pueden ser llamados a propuesta del mismo modo que proyectos nuevos y en algunos casos es recomendable desarrollar una ingeniería de diseño paralela a la construcción.*

Construcción



Rehabilitación

DISEÑO DE ACCIONES DE C&R

El diseño puede realizarse por método empírico (AASHTO) o métodos analíticos.

Cuando se diseña estructuralmente un pavimento por un método analítico se verifica que las tensiones y deformaciones de trabajo sean inferiores a las de diseño y a su vez se verifica la durabilidad del pavimento a ciclos de carga repetida mediante modelos o ecuaciones de fatiga. Esto conlleva a mejorar los métodos de estudio de materiales

