



REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
DIRECCIÓN TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN



MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

2016

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos



MINTRANSPORTE



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE TRANSPORTE
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
DIRECCIÓN TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

2016



MINTRANSPORTE



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



REPÚBLICA DE COLOMBIA

Juan Manuel Santos Calderón
Presidente de la República de Colombia

Jorge Eduardo Rojas Giraldo
Ministro de Transporte

Carlos Alberto García Montes
Director General Instituto Nacional De Vías - INVIAS

Luis Roberto D'Pablo Ramírez
Director Técnico - INVIAS

Carlos Alberto Valencia Escobar
Subdirector de Estudios e Innovación - INVIAS

Alfonso Montejo Fonseca
Supervisor de Contrato - INVIAS

Consortio Manual Vial
Marcos José Mafioly Cantillo
Consultor



MINTRANSPORTE



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ · EQUIDAD · EDUCACIÓN



CONSORCIO MANUAL VIAL

Marcos José Mafioly Cantillo
Representante Legal

GRUPO DE TRABAJO

Fernando Sánchez Sabogal
Director de los Estudios

Marcos José Mafioly Cantillo
Coordinador de los Estudios

Robinson Villamil Rojas
Asesor de Mantenimiento Vial

Miguel Alejandro Jiménez Díaz
José Antonio Solano Puche
María Bleidy Escobar Hernández
Especialistas en Vías

Leonardo Antonio Rosas Sánchez
Especialista en Geotecnia
Especialista en Túneles

Roberto Vásquez Madero
Especialista en Hidráulica e Hidrología

Carlos Argote Medrano
Especialista en Estructuras

Juan Eugenio Cañavera Saavedra
Aseguramiento o Gestión de Calidad

Sandra Patricia Gavilán Acevedo
Auditor de Calidad

Ismael Mafioly Rodríguez
Especialista en Pavimentos

Libardo Joaquín Franco Causil
Especialista Ambiental

Juan Bolívar Mafioly Rodríguez
Ingeniero de Sistemas

Paolo Mafioly Puche
Rafael Enrique Melo Becerra
Ingenieros Auxiliares

Francisco Javier Galaraga
Frank Fredy Galaraga
Julio Cesar Posada Correa
JenySay Espitia Mafioly
Auxiliares de Ingeniería

Carlos Iván Mafioly Niño
Francisco Javier Mafioly Niño
Dibujantes

Diana Carolina Castro Jiménez
Ana Milé Gutiérrez Umbarila
Secretarias

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|--------------|
| INTRODUCCIÓN | V1-IN |
| CAPÍTULO 1 | V1-C1 |
| TABLA DE CONTENIDO | V1-C1 1 |
| 1. ASPECTOS GENERALES | V1-C1 7 |
| 1.1. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS | V1-C1 7 |
| 1.2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS CARRETERAS | V1-C1 8 |
| 1.3. EFECTO DE LAS DEFICIENCIAS GEOMÉTRICAS Y DE DRENAJE SOBRE EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS | V1-C1 12 |
| 1.4. EL MANTENIMIENTO Y EL PATRIMONIO VIAL | V1-C1 13 |
| 1.5. SEGURIDAD Y SALUBRIDAD | V1-C1 14 |
| 1.6. GESTIÓN AMBIENTAL EN RELACIÓN CON EL MANTENIMIENTO VIAL | V1-C1 23 |
| 1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C1 33 |
| CAPÍTULO 2 | |
| TABLA DE CONTENIDO | |
| 2. INSTITUCIONALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA | |
| 2.1. MARCO DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO VIAL | V1-C2 7 |
| 2.2. MISIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS | V1-C2 7 |
| 2.3. ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL | V1-C2 7 |
| 2.4. RED VIAL COLOMBIANA | V1-C2 14 |
| 2.5. ESTADO DE LA RED VIAL A CARGO DEL INVÍAS | V1-C2 15 |
| 2.6. DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN LAS CARRETERAS NACIONALES | V1-C2 16 |
| 2.7. CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL | V1-C2 17 |
| 2.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C2 19 |
| CAPÍTULO 3 | V1-C3 |
| TABLA DE CONTENIDO | V1-C3 1 |
| 3. MODALIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL | V1-C3 5 |
| 3.1. ADMINISTRADORES DEL MANTENIMIENTO VIAL (AMV) | V1-C3 6 |
| 3.2. MANTENIMIENTO RUTINARIO CON MICROEMPRESAS | V1-C3 7 |
| 3.3. MANTENIMIENTO PERIÓDICO POR PRECIOS UNITARIOS | V1-C3 7 |
| 3.4. MANTENIMIENTO INTEGRAL | V1-C3 8 |
| 3.5. MANTENIMIENTO POR INDICADORES DE ESTADO | V1-C3 8 |
| 3.6. CONCESIÓN VIAL | V1-C3 8 |
| 3.7. EXPERIENCIA CON LAS DIFERENTES MODALIDADES DE CONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO | V1-C3 9 |
| 3.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C3 13 |
| CAPÍTULO 4 | V1-C4 |
| TABLA DE CONTENIDO | V1-C4 1 |
| 4. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO VIAL | V1-C4 7 |
| 4.1. INTRODUCCIÓN | V1-C4 7 |
| 4.2. HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL | V1-C4 10 |
| 4.3. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES | V1-C4 15 |
| 4.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C4 18 |

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

CAPÍTULO 5

V1-C5

| | | |
|-------|--|----------|
| | TABLA DE CONTENIDO | V1-C5 1 |
| 5. | NECESIDADES DE MANTENIMIENTO | V1-C5 7 |
| 5.1. | DERECHO DE VÍA | V1-C5 7 |
| 5.2. | TALUDES | V1-C5 9 |
| 5.3. | SISTEMA DE DRENAJE | V1-C5 20 |
| 5.4. | MUROS | V1-C5 21 |
| 5.5. | CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS | V1-C5 23 |
| 5.6. | ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN Y DE SEGURIDAD VIAL | V1-C5 24 |
| 5.7. | OBRAS DE PASO | V1-C5 27 |
| 5.8. | TÚNELES | V1-C5 34 |
| 5.9. | CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ATENCIÓN DE LAS EMERGENCIAS EN LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA | V1-C5 51 |
| 5.10. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C5 55 |

CAPÍTULO 6

V1-C6

| | | |
|------|---|----------|
| | TABLA DE CONTENIDO | V1-C6 1 |
| 6. | RELACIÓN ENTRE LA CONDICIÓN DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO | V1-C6 7 |
| 6.1. | INTRODUCCIÓN | V1-C6 7 |
| 6.2. | GENERALIDADES SOBRE LOS ESTUDIOS DE CONDICIÓN | V1-C6 8 |
| 6.3. | CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LOS PAVIMENTOS | V1-C6 12 |
| 6.4. | CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS | V1-C6 12 |
| 6.5. | CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIORES DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS | V1-C6 13 |
| 6.6. | CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIORES DE LAS CARRETERAS EN AFIRMADO | V1-C6 20 |
| 6.7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C6 21 |

CAPÍTULO 7

V1-C7

| | | |
|------|---|----------|
| | TABLA DE CONTENIDO | V1-C7 1 |
| 7. | TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS | V1-C7 7 |
| 7.1. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | V1-C7 7 |
| 7.2. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | V1-C7 14 |
| 7.3. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-C7 31 |
| 7.4. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-C7 32 |
| 7.5. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO | V1-C7 65 |
| 7.6. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE AFIRMADOS | V1-C7 67 |
| 7.7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C7 76 |
| C7A | APÉNDICE A. INCIDENCIA DE LA CONDICIONES GENERALES DEL DRENAJE SOBRE EL COMPORTAMIENTO Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS (7.29) | V1-C7 79 |

GLOSARIO

V1-G

ANEXOS

V1-A

| | | |
|----|--|-------|
| A1 | ANEXO 1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR | V1-A6 |
| A2 | ANEXO 2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO | V1-A2 |
| A3 | ANEXO 3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO | VA-A3 |
| A4 | ANEXO 4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO VIZIRET PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE UN AFIRMADO | VA-A4 |
| A5 | ANEXO 5. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL | V1-A5 |

INTRODUCCIÓN

“Conservar carreteras no tiene glamour, no requiere de actos oficiales, de discursos y cortes de cinta. Y el ciudadano no percibe la inversión realizada. Siempre y cuando todo funcione bien”
Diario El País, Madrid, España, 27 de abril de 2013

La importancia del sistema de transporte en la actividad económica va más allá de su incidencia como demandante en el contexto del sector productivo. La calidad y la capacidad del sistema de transporte, ya sea por el lado de las infraestructuras o de los servicios, condicionan la competitividad de la economía a través de los costos de producción y distribución y, en consecuencia, pueden alterar las ventajas compartidas desde el punto de vista territorial.

Dentro del sistema de transporte, las infraestructuras son las que presentan una mayor rigidez y, por lo tanto, las que suelen provocar los principales estrangulamientos. En este sentido, la carencia o insuficiencia de infraestructuras adquiere un carácter estratégico como factor condicionante del desarrollo económico, especialmente en áreas territoriales de escasa accesibilidad geográfica.

La calidad y la capacidad de las infraestructuras de transporte presentan elevados niveles de correlación con los indicadores de renta y ocupación, si bien no explican con carácter suficiente el potencial de desarrollo territorial. En todo caso, se puede aceptar que estas infraestructuras desempeñan un papel importante en los procesos de desarrollo, como condición necesaria, aunque no suficiente, para la activación de las potencialidades de ámbito territorial y para la difusión del desarrollo.

No parece haber duda de que en los años venideros la carretera seguirá siendo el modo universal de transporte en Colombia, tanto de carga como de pasajeros, por lo que le corresponde garantizar el acceso de personas y mercancías a los centros de actividad económica y asegurar unos umbrales mínimos de accesibilidad en buena parte del territorio, tanto para garantizar la competitividad y la capacidad exportadora, como para promover el desarrollo y el bienestar social.

Es innegable que, a pesar de su importancia, la infraestructura carretera presenta un rezago muy importante en Colombia, explicable en parte por las complejas condiciones geográficas y geológicas de las mayores áreas de producción y de consumo, que imponen retos importantes para la construcción y el mantenimiento de las redes viales.

Pero si la cobertura de la red vial nacional es muy limitada, el problema se ha visto agravado con su deficiente condición, motivada por la escasez de recursos y la falta de oportunidad en su mantenimiento. De hecho, en el segundo semestre de 2015 el estado del 41 % de la red nacional pavimentada no concesionada se encontraba entre regular y muy malo, mientras que en el caso de la red primaria no pavimentada solamente el 9 % presentaba un

estado calificado como bueno o muy bueno, de acuerdo con las calificaciones por criterio técnico del el Instituto.

El comportamiento de una vía pavimentada o afirmada depende de cuándo y cómo se adelanta su mantenimiento. El cuándo es particularmente importante. Algunos estudios internacionales de reconocido mérito, complementados por opiniones de los ingenieros del Banco Mundial, han llegado a la conclusión de que una carretera cuyo estado sea calificado como “*bueno*” solamente requiere mantenimiento rutinario, mientras que si su estado es “*regular*” necesita una renovación superficial o un refuerzo, en tanto que una en “*mal estado*” se ha deteriorado hasta el extremo de requerir su reconstrucción parcial o total. Debido a que el costo de una reconstrucción es de tres a cinco veces el que implica la renovación superficial o el refuerzo, resulta evidente la inconveniencia de permitir que las carreteras se deterioren hasta alcanzar el mal estado. Por lo tanto, no cabe duda de que las intervenciones de mantenimiento, en especial el periódico, deben ser planeadas mediante sistemas eficientes de administración, con el fin de que se adelanten en el instante óptimo. En la medida en que no lo sean, los trabajos por realizar serán mayores y, consecuentemente, más costosos. Aunque estos conceptos se enseñan en las facultades de ingeniería civil y están en el subconsciente de los ingenieros que ejercen en el ámbito de las carreteras, nunca sobra traerlos a la memoria.

En ese orden de ideas y en cumplimiento de uno de los objetivos del Instituto Nacional de Vías, cual es definir la regulación técnica relacionada con la infraestructura del modo de transporte carretero, así como su función de proponer la adopción de manuales, normas y especificaciones técnicas para la construcción, conservación y seguridad de la infraestructura a cargo del Instituto, la Subdirección de Estudios e Innovación ha considerado necesaria la redacción de este manual, cuyo objetivo es establecer criterios, procedimientos y recomendaciones por aplicar para la gestión del conjunto de actividades técnicas de naturaleza rutinaria y periódica que se deban adelantar en las carreteras nacionales no concesionadas, incluyendo pavimentos, afirmados, puentes, túneles y elementos accesorios, de manera que alcancen y mantengan un nivel de servicio adecuado para los usuarios. En todo caso, el Instituto desea precisar que los criterios expuestos en el documento no pretenden limitar el accionar del ingeniero ni reemplazar el criterio profesional fundado en su experiencia y conocimiento al momento de tomar decisiones en los aspectos relacionados con el ámbito del mantenimiento de carreteras.

El manual está compuesto por dos volúmenes. El primero consta de siete capítulos, cinco anexos y un glosario, y el segundo incluye las especificaciones para el mantenimiento de las carreteras de la red vial nacional no concesionada. Mientras el segundo volumen contiene aspectos normativos, el primero contiene aspectos de carácter informativo, salvo el numeral 1.5, cuyo contenido se debe considerar como parte de las especificaciones generales de mantenimiento, tal como se indica en el numeral 1030.2 de ellas, y el Anexo 1 que es, prácticamente, una transcripción de la norma INV E-813, que forma parte de las Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras adoptadas por el Ministerio de Transporte mediante la resolución 1375 del 26 de mayo de 2014.

Los temas tratados en este primer volumen son los siguientes:

Capítulo 1 – ASPECTOS GENERALES. En este capítulo se describe la importancia del mantenimiento, se reseñan los efectos del cambio climático y de las deficiencias geométricas y de drenaje sobre el mantenimiento de las carreteras, se presentan criterios a considerar para garantizar la seguridad de los trabajadores y usuarios mientras se realizan los trabajos de mantenimiento, y se incluyen recomendaciones para mitigar los impactos negativos que pueden producir sobre el ambiente las actividades del mantenimiento de carreteras.

Capítulo 2 – INSTITUCIONALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA. Presenta el marco de la política del mantenimiento vial; describe la organización administrativa para el mantenimiento de la red vial nacional; analiza de manera somera las características de la red no concesionada y clasifica las operaciones para su mantenimiento.

Capítulo 3 – MODALIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL. Expone las modalidades administrativas que ha utilizado el Instituto Nacional de Vías durante su existencia para adelantar las labores de mantenimiento de las carreteras a su cargo.

Capítulo 4 – GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO VIAL. Incluye una descripción de los principales criterios, procedimientos y requerimientos de los sistemas de administración que aprovechan las técnicas más recientes para planificar y evaluar el mantenimiento de las carreteras y puentes de la red vial no concesionada.

Capítulo 5 – NECESIDADES DE MANTENIMIENTO. Presenta un compendio de los principales elementos constitutivos de las carreteras, analiza sus necesidades de inspección y mantenimiento y relaciona algunas de las actividades requeridas para su mantenimiento rutinario y periódico. También, brinda algunos conceptos generales en relación con la atención de las emergencias que se presenten en la red vial nacional no concesionada.

Capítulo 6 – RELACIÓN ENTRE LA CONDICIÓN DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO. Considerando la preponderancia que tiene la atención de las calzadas pavimentadas y no pavimentadas dentro de la globalidad del mantenimiento de las carreteras, este capítulo trata en detalle los aspectos relacionados con la evaluación de su condición y las necesidades de mantenimiento.

Capítulo 7 – TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS. Describe someramente las técnicas usuales para el mantenimiento de las calzadas pavimentadas y en afirmado, según su estado funcional y estructural, su vida residual estimada y la importancia de la carretera.

Anexo 1 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR. Se transcribe la norma INV E-813, adoptada por el Instituto como base para las inspecciones de las superficies de sus pavimentos asfálticos, cuya aplicación permite obtener un índice numérico que valora la condición superficial del pavimento, a partir del tipo, la gravedad y la densidad de los deterioros de origen estructural que presenta su superficie.

Anexo 2 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO. Habida cuenta de que el Instituto Nacional de Vías no ha normalizado un método específico para la inspección y la evaluación de los pavimentos rígidos a su cargo, para los efectos de este manual se ha considerado el uso del Índice de Condición de Pavimentos (PCI), descrito en la norma ASTM D 6433, que ha sido muy utilizado por los ingenieros colombianos, principalmente en la inspección y la evaluación de pavimentos rígidos urbanos. El Anexo describe la manera de determinar este índice.

Anexo 3 – DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO. Dado que el Instituto tampoco ha normalizado un método específico para la inspección y la evaluación de los pavimentos de adoquines de concreto, en este anexo se describe un procedimiento para determinar su índice de condición PCI.

Anexo 4 – DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO VIZIRET PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE UN AFIRMADO. Se propone el empleo del sistema de inspección y clasificación VIZIRET para determinar la condición de las calzadas en afirmado, a partir de la inspección visual de su superficie y de la calificación de los deterioros catalogados por el sistema como estructurales. El VIZIRET presenta como ventajas, en relación con otros sistemas, tanto su sencillez como el hecho de haber sido desarrollado a partir de la inspección de miles de kilómetros de vías afirmadas en varios países tropicales.

Anexo 5 – CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL. Se describe el procedimiento para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente de gradación continua empleando este método, el cual no se describe completo en las normas de ensayo de carreteras de la entidad. Se incluyen, además, comentarios y recomendaciones sobre los factores a considerar para la correcta elección del porcentaje óptimo de asfalto, dependiendo de las condiciones en las que la mezcla deba prestar servicio al tránsito automotor.

GLOSARIO – En él se definen algunos términos, con la finalidad de precisar su significado en el sentido en el que ellos se mencionan dentro del manual.

El segundo volumen contiene las especificaciones para el mantenimiento de carreteras, y en él se especifica un amplio conjunto de actividades que se deben emprender en desarrollo de los mantenimientos rutinario y periódico de los elementos constitutivos de las carreteras de la red nacional no concesionada.

Dado que el mantenimiento está interrelacionado con todos los demás aspectos de la ingeniería de carreteras, este documento se debe considerar siempre en correspondencia con las disposiciones formuladas en los demás manuales técnicos del Instituto y algunos del Ministerio de Transporte, así como con las especificaciones generales y las normas de ensayo de materiales de construcción de carreteras, documentos todos ellos a los que se puede acceder de manera libre y gratuita a través de las páginas electrónicas de estas entidades. De hecho, y con el fin de evitar la antipática tautología, en varias partes del manual se remite al lector a algunos de estos documentos.

Considerando que la ingeniería de carreteras está en permanente cambio e innovación, el Instituto Nacional de Vías reconoce la necesidad de revisar, actualizar y perfeccionar en un plazo relativamente breve tanto este manual como el resto de los que conforman la esencia técnica de la entidad, motivo por el cual agradece de antemano todas las observaciones que presenten los lectores en relación con su alcance y contenido, tanto para remediar sus deficiencias como para complementar y mejorar el cuerpo de la obra en futuras ediciones.

Aunque el manual se ha elaborado con el mayor de los cuidados, el Instituto Nacional de Vías no acepta responsabilidades por las imprecisiones que eventualmente pueda contener, ni por cualquier consecuencia derivada de su uso inadecuado. Las personas que empleen la información incluida en él deberán disponer de buen juicio técnico y aplicar el debido rigor profesional en relación con cada uno de los asuntos bajo consideración.

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

CAPÍTULO 1

Aspectos Generales

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|---------------|--|-----------------|
| 1. | CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES | V1-C1 7 |
| 1.1. | IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS | V1-C1 7 |
| 1.2. | EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS CARRETERAS | V1-C1 8 |
| 1.3. | EFFECTO DE LAS DEFICIENCIAS GEOMÉTRICAS Y DE DRENAJE SOBRE EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS | V1-C1 12 |
| 1.4. | EL MANTENIMIENTO Y EL PATRIMONIO VIAL | V1-C1 13 |
| 1.5. | SEGURIDAD Y SALUBRIDAD | V1-C1 14 |
| 1.5.1. | SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES Y DE LOS USUARIOS | V1-C1 15 |
| 1.5.2. | SALUBRIDAD | V1-C1 16 |
| 1.5.3. | DISEÑO DEL ÁREA DE TRABAJO | V1-C1 17 |
| 1.5.4. | ESQUEMAS DE SEGURIDAD | V1-C1 22 |
| 1.5.5. | CONSIDERACIONES ADICIONALES | V1-C1 22 |
| 1.6. | GESTIÓN AMBIENTAL EN RELACIÓN CON EL MANTENIMIENTO VIAL | V1-C1 23 |
| 1.6.1. | ALTERACIONES AMBIENTALES PRODUCIDAS POR LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO VIAL | V1-C1 23 |
| 1.6.2. | IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL | V1-C1 32 |
| 1.7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C1 33 |

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------------|
| <i>Figura 1-1. Una carretera del llano colombiano</i> | <i>V1-C1 13</i> |
| <i>Figura 1-2. Señalización de una zona de trabajos en la vía (1.10)</i> | <i>V1-C1 21</i> |

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

| | | |
|--|--------------|-----------|
| <i>Tabla 1-1. Influencia del mantenimiento vial en los objetivos de desarrollo del milenio (1.2)</i> | <i>V1-C1</i> | <i>8</i> |
| <i>Tabla 1-2. Peligros y consecuencias del cambio climático para las carreteras</i> | <i>V1-C1</i> | <i>11</i> |
| <i>Tabla 1-3. Longitud mínima de la zona de prevención en carreteras</i> | <i>V1-C1</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabla 1-4. Longitud mínima de la zona de transición (1.10)</i> | <i>V1-C1</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabla 1-5. Longitud mínima recomendada del área de seguridad (1.10)</i> | <i>V1-C1</i> | <i>19</i> |
| <i>Tabla 1-6. Ancho mínimo de seguridad (1.11)</i> | <i>V1-C1</i> | <i>20</i> |

Página en blanco

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS

En términos amplios, el mantenimiento vial se puede definir como el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen los caminos y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. Su correcta ejecución implica el establecimiento de niveles adecuados de intervención, dentro del período de duración de cada elemento, con el fin de limitar los efectos del deterioro producido por los procesos naturales y el uso, contribuyendo así a prolongar la vida útil de las obras.

El propósito del mantenimiento es, entonces, conservar la red vial dentro de un nivel compatible con el servicio que deba prestar. Conservar adecuadamente las carreteras tiene tres propósitos principales, todos ellos ligados con el buen funcionamiento de la economía nacional y con la generación de toda una gama de beneficios económicos y sociales: (1) prolongar su vida y diferir la fecha en que se deben renovar; (2) proporcionar comodidad y seguridad, y disminuir los costos de operación vehicular; y (3) garantizar la transitabilidad de manera permanente, con el fin de permitir mayor regularidad, puntualidad y seguridad en los servicios de transporte por carretera. El primer propósito está relacionado directamente con los intereses de la organización administradora de las carreteras, el segundo lo está con los intereses de los operadores de los vehículos y el tercero con la ciudadanía en general.

Mientras la ingeniería domina el diseño y la construcción de las carreteras, el mantenimiento es esencialmente un asunto multidimensional en el que los aspectos técnicos y administrativos están influenciados por cuestiones políticas, sociales e institucionales. Un ejemplo de ello es el empleo de mano de obra local para la ejecución de las actividades de mantenimiento rutinario en la red nacional no concesionada.

Los resultados de estudios realizados en muchas partes del mundo han demostrado que los beneficios más importantes del mantenimiento de carreteras no son los que perciben las autoridades de vialidad, sino los que se obtienen en forma de ahorros en el costo de operación vehicular y en el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad; además, que el mantenimiento ofrece el mejor retorno de toda la inversión que se realiza en el sector transporte. Este hecho es muy importante, por cuanto es muy frecuente que la asignación de recursos para atender el mantenimiento se justifique en las agencias viales solamente a partir de un cierto número de consideraciones internas, sin tener en cuenta que los efectos sobre los usuarios y sobre la sociedad en general son mucho más importantes.

La Asociación Mundial de la Carretera, adaptando información contenida en un documento del Comité para el Desarrollo Internacional (1.1), considera que la conservación de

carreteras tiene los efectos que muestra la Tabla 1-1 sobre los objetivos del milenio en los países en desarrollo (1.2).

A comienzos del actual milenio, los 189 países miembros se reunieron en las Naciones Unidas para dar forma a una visión amplia con el fin de combatir la pobreza en sus múltiples dimensiones. Esa visión, que fue traducida en ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), ha sido el marco de desarrollo predominante para el mundo en el curso de los últimos 15 años.

Tabla 1-1. Influencia del mantenimiento vial en los objetivos de desarrollo del milenio (1.2)

| OBJETIVO | APORTE DEL MANTENIMIENTO VIAL |
|--|---|
| Erradicar la pobreza extrema | Es necesario un transporte regional eficaz para el comercio Las carreteras son necesarias para el crecimiento de la economía rural |
| Lograr la enseñanza primaria universal | La facilidad de acceso que proporcionan las carreteras vecinales influye sobre la escolarización y la asistencia a la escuela |
| Promover la igualdad de género en la educación | La asistencia de las niñas a la escuela aumenta considerablemente si las carreteras son más seguras |
| Reducir la mortalidad infantil | El acceso adecuado a los servicios de salud se refuerza con carreteras en buen estado |
| Mejorar la salud materna | |
| Combatir el VIH, el paludismo y otras enfermedades | |
| Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente | El mantenimiento oportuno de las vías ahorra costos de largo plazo y reduce el consumo de recursos no renovables |
| Fomentar una alianza mundial para el desarrollo | Se requieren inversiones para compartir conocimientos sobre las mejores prácticas de conservación vial |

1.2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS CARRETERAS

Así se observen de manera rigurosa las especificaciones en cuanto a calidad y construcción, es inevitable que las carreteras se deterioren con el transcurso del tiempo. La velocidad con que ello ocurre varía en función del clima y del volumen y la magnitud de las cargas vehiculares. En las vías pavimentadas, el desgaste de su capa de rodadura se acelera por los efectos de las lluvias y los cambios de temperatura, mientras que en las afirmadas las precipitaciones producen huellas y erosión y disminuyen su capacidad portante dando lugar a deformaciones. Cuando el clima es seco, la evaporación del agua reduce el grado de cohesión de las partículas superficiales en estas últimas, de manera que el material aglutinante fino se pierde en forma de polvo bajo la acción del tránsito, dejando la grava suelta.

A menudo se hace referencia al cambio climático como el mayor reto de la actualidad. El calentamiento global, la elevación del nivel del mar y el aumento en la intensidad y en la frecuencia de los eventos climáticos representan una amenaza muy seria tanto para la naturaleza como para los espacios construidos por el hombre. A medida que el patrimonio vial envejezca y el ambiente se exacerbe como resultado del cambio climático, las redes viales serán cada vez más vulnerables si no reciben una atención apropiada.

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el cambio climático es el cambio que sufre el clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables

Tanto los pavimentos como los caminos en afirmado y los demás elementos de las infraestructuras viales son propensos a sufrir deterioros ante un cambio potencial en el clima. Algunos de los problemas que deberán enfrentar bajo un escenario climático extremo son los siguientes:

- Largos períodos de calor que aumentan la magnitud del alabeo en las losas de los pavimentos de concreto aumentando los esfuerzos de tensión bajo las cargas del tránsito. También, pueden dar lugar al desarrollo de esfuerzos de compresión en las juntas, los cuales conduce a la rotura de las losas involucradas. En el caso de los pavimentos asfálticos, su integridad se puede ver comprometida principalmente a causa del ablandamiento del asfalto y del incremento del ahuellamiento y las exudaciones ante la acción de las cargas vehiculares. Las elevadas temperaturas, acompañadas de aumentos en la intensidad y la duración de los rayos ultravioleta, dan lugar a incrementos en la velocidad y la severidad de la oxidación del ligante de las capas superficiales bituminosas, haciendo que éstas se rigidicen. Si bien este fenómeno puede generar agrietamientos en las capas asfálticas, tiene también un efecto favorable cual es aumentar la rigidez de las capas mejorando su capacidad de distribuir las cargas hacia las capas inferiores del pavimento.
- El ascenso en el nivel del mar debido al deshielo de los polos que, combinado con la generación de tormentas intensas, puede inundar las carreteras o erosionar sus bases, socavar las pilas y apoyos de los puentes e incrementar los deslizamientos en las zonas montañosas.

Aunque no se prevé que en Colombia las condiciones vayan a ser muy dramáticas a mediano plazo, no se deben escatimar esfuerzos para preservar la infraestructura vial y minimizar estos posibles impactos de manera de reducir los deterioros y las pérdidas que se puedan producir ante cambios inesperados en el clima. Simulaciones realizadas por el IDEAM para el Departamento Nacional de Planeación (1.3) indicaron que la temperatura media en el país tendrá una tendencia creciente y sostenida durante todo el siglo XXI, esperándose que para el periodo 2011-2040 el aumento oscile entre 0.5 °C y 1.5 °C en la región andina y la Orinoquía, mientras que para el periodo 2041-2070 el aumento se

extiende a todo el territorio nacional con incrementos de 2.5 °C a 4.5 °C, siendo mayor en los valles interandinos.

En relación con la precipitación, el mismo estudio señala que las expectativas varían de acuerdo con la región. El promedio de los escenarios analizados sugiere una disminución de las lluvias, sobre toda la región andina, el Caribe y el sur del Pacífico, que se intensificaría a lo largo del siglo. Hacia el final del siglo XXI (2071-2100) las disminuciones de precipitación en la cordillera Oriental y la Guajira serían las más pronunciadas y podrían ser de hasta 70 % inferiores a las del clima actual. Por su parte, algunas partes de la región amazónica, del litoral Pacífico y del Magdalena Medio presentarán aumentos en la precipitación, que se estiman entre 10 % y 40 %.

De acuerdo con los escenarios evaluados por el IDEAM, los deslizamientos producidos por los nuevos regímenes de lluvias afectarán la circulación por las carreteras nacionales, en promedio, durante el 5.9 % del tiempo. Los departamentos ubicados en las cordilleras serían los más afectados, sobre todo, aquellos localizados en la central y la occidental: Quindío, Nariño, Risaralda, Caldas y Cauca. En el extremo opuesto, los departamentos de la costa y los llanos orientales (Sucre, Bolívar, Atlántico, Guaviare, Magdalena, Caquetá, Cesar y Meta), presentarían los menores impactos, inferiores a la media nacional. El comportamiento general y por departamento podría ser superior al recién mencionado si se considera, además, el impacto que tendrán los eventos de cierre vial a causa de las inundaciones producidas por las lluvias o por el aumento del nivel del mar, entre otros.

A la fecha, muchas agencias viales del mundo han tenido que enfrentar algunos de los problemas causados por los cambios del clima y han experimentado varios de los impactos que las condiciones ambientales extremas pueden tener sobre las necesidades de mantenimiento de las carreteras a su cargo. Sus experiencias y los escenarios de cambio climático estudiados en un gran número de países sugieren que los mayores peligros para las carreteras serán el exceso de agua en algunas regiones, los aumentos de temperatura generalizados y un alto déficit en la humedad de los suelos por reducción de las precipitaciones en otras regiones. La magnitud del riesgo de que estos peligros se materialicen haciendo más onerosos los trabajos de construcción y mantenimiento de las carreteras dependerá tanto de la probabilidad de que el cambio climático se manifieste como lo indican los escenarios analizados, como del tipo de superficie de las carreteras, de su condición y de sus sistemas de drenaje, así como de las características y condiciones de los demás elementos de la infraestructura vial. Una lista breve de los principales peligros del cambio climático y sus consecuencias sobre los pavimentos y afirmados de la red vial nacional se presenta en la Tabla 1-2. Prácticamente en todos los casos, estas consecuencias incrementarán las necesidades de mantenimiento y reparación y darán lugar a interrupciones en el flujo de tránsito, con los impactos que ellas tendrán sobre los costos de los usuarios.

Tabla 1-2. Peligros y consecuencias del cambio climático para las carreteras

| PELIGRO | CAMBIO EN EL CLIMA | CONSECUENCIAS SOBRE CARRETERAS CON | | |
|--------------------|--|--|--|--|
| | | PAVIMENTO ASFÁLTICO | PAVIMENTO RÍGIDO | AFIRMADO |
| Exceso de agua | Lluvias de mayor intensidad, duración y frecuencia | Desprendimiento de la película de asfalto | Infiltración de agua a través de juntas y grietas que puede generar bombeo | Erosión intensa de la superficie |
| | Elevación del nivel de agua en los mares | Hidroplaneo en áreas deformadas con acumulación de agua | Movimiento diferenciales verticales en las juntas que producen escalonamientos | Rápido deterioro funcional y estructural |
| | | Disminución de la resistencia al deslizamiento | Disminución de la resistencia al deslizamiento | |
| | | Efectos adversos sobre la visibilidad de los conductores | Erosión de subbases no ligadas Efectos adversos sobre la visibilidad de los conductores | |
| | | Debilitamiento de los suelos de subrasante | | |
| | | Inestabilidad y posibilidad de colapso de los terraplenes | | |
| | | Inestabilidad de taludes | | |
| Altas temperaturas | Aumento de la temperatura media anual | Aumento del ahuellamiento | Alabeo excesivo de las losas | Generación excesiva de polvo |
| | Mayor frecuencia de días muy calurosos | Incomodidad e inseguridad por deformaciones permanentes en la superficie del pavimento | Mayores posibilidades de fallas por compresión en las juntas | Desintegración del afirmado por pérdida de finos |
| | Mayor exposición del pavimento a la radiación ultravioleta | Disminución de resistencia al deslizamiento | Problemas de trabajabilidad y curado de las mezclas de concreto | |

| PELIGRO | CAMBIO EN EL CLIMA | CONSECUENCIAS SOBRE CARRETERAS CON | | |
|---|---|---|---|----------|
| | | PAVIMENTO ASFÁLTICO | PAVIMENTO RÍGIDO | AFIRMADO |
| | | Oxidación más rápida del ligante asfáltico (1) Disminución del albedo | Disminución de resistencia al deslizamiento | |
| | | Riesgos para la salud y la seguridad del personal de mantenimiento | | |
| Déficit de humedad en el suelo | Efecto combinado del aumento de temperatura y la disminución de la precipitación en algunas zonas | Subsistencia y generación de grietas Las construcciones vecinas pueden colapsar generando deterioros en la estructura vial | | |
| (1) La oxidación puede resultar favorable para el comportamiento estructural del pavimento, por cuanto produce un aumento en el módulo dinámico de las capas asfálticas | | | | |

1.3. EFECTO DE LAS DEFICIENCIAS GEOMÉTRICAS Y DE DRENAJE SOBRE EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

El incremento de la humedad en los materiales que constituyen las capas del pavimento y las explanaciones de una carretera lleva generalmente asociada una disminución de su capacidad de soporte y puede dar lugar a fenómenos físico-químicos que modifiquen su estructura y comportamiento de modo perjudicial, tales como erosión, meteorización, disolución, expansión, colapso, etc. Todos estos efectos no solamente incrementan las necesidades de mantenimiento, sino que, además, le restan eficiencia a las que se realicen.

Teniendo en cuenta este riesgo, la guía de diseño de pavimentos flexibles publicada por el Ministerio de Obras Públicas en 1970 (1.4) estableció lo siguiente: *“Es práctica reconocida por los ingenieros de carreteras que el nivel más bajo de la estructura del pavimento debe estar por lo menos de 0.60 a 0.90 metros por encima de la tabla de agua lo cual, generalmente, se consigue mediante una combinación de instalaciones de drenaje y la construcción de rellenos de pequeña altura”*. Documentos normativos foráneos recientes presentan conceptos similares. Por ejemplo, el instructivo español de diseño de pavimentos (1.5) menciona que: *“La cota de la explanada deberá quedar al menos a sesenta centímetros (60 cm) por encima del nivel más alto previsible de la capa freática donde el macizo de apoyo esté formado por suelos seleccionados; a ochenta centímetros (80 cm) donde esté formado por suelos adecuados; a cien centímetros (100 cm) donde sean tolerables, y a ciento veinte centímetros (120 cm) donde sean marginales o inadecuados. A tal fin se adoptarán medidas tales como la elevación de la cota de la explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc.,*

asegurando además la evacuación del agua que se pueda infiltrar a través del firme de la calzada y de los arcenes”. La omisión de este principio elemental no solamente puede hacer inútiles las operaciones de mantenimiento, sino que, además causa enormes perjuicios a los usuarios y a los vecinos de las carreteras (Figura 1-1).

Las propiedades físico-químicas y mecánicas de los suelos seleccionados, adecuados y tolerables se describen en el Artículo 220 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías

Figura 1-1. Una carretera del llano colombiano



Fuente: www.youtube.com/watch?v=CfE7jjXdQEQ

1.4. EL MANTENIMIENTO Y EL PATRIMONIO VIAL

En la práctica, lo que se busca con el mantenimiento es preservar en las mejores condiciones el capital invertido en las carreteras y evitar su deterioro físico prematuro. Esto no solo hace referencia a las condiciones materiales, sino que se debe tener en cuenta que la funcionalidad de las carreteras es la parte más importante del patrimonio que representan. Es decir, lo que verdaderamente hace que una carretera sea valiosa es el servicio que presta, más que el cómputo de unos materiales más o menos costosos utilizados en la conformación de estructuras que se presumen adecuadamente diseñadas.

En épocas en las que existen problemas de financiación y de tesorería, conocer el estado de los activos de una carretera resulta fundamental para disponer la estrategia de inversión más eficiente posible. Los activos principales de una carretera son sus trazados, sus pavimentos, sus obras de arte, sus equipamientos y sus singularidades. El conocimiento cualitativo y cuantitativo de estos activos permite establecer planes de inversión eficientes, optimizando los recursos materiales y económicos.

A finales de los años ochenta, el Banco Mundial publicó un estudio (1.6) en el que resaltaba que, por falta de conservación adecuada, el estado de la mayoría de los caminos de los países en desarrollo era regular o deficiente, con una tendencia que apuntaba hacia el

deterioro acelerado llegando, inclusive, al fin de su vida de diseño mucho antes de lo previsto, y que los trabajos necesarios de reconstrucción costarían el triple de lo que hubiera costado la toma de medidas preventivas oportunas, a lo que habría que sumar los incrementos en los costos de operación vehicular.

Considerando esa preocupante realidad, la CEPAL (1.7) propuso un reenfoque de la gestión de conservación de las redes viales, en particular en materia de organización y financiamiento. Entre otros, recomendó la adopción de métodos y herramientas similares a los utilizados en las empresas privadas, consistiendo una de esas herramientas en la evaluación periódica de los activos de la empresa, en este caso particular el patrimonio nacional de carreteras. En ese orden de ideas, definió el patrimonio vial como el conjunto de caminos públicos existentes en un país, cuyo valor puede ser cuantificado en términos monetarios. Dicho valor depende de la magnitud de las obras ejecutadas y, por supuesto, de su estado de conservación.

El patrimonio vial es, en síntesis, un bien de capital muy importante. La existencia de la red vial actual ha significado no solamente un esfuerzo permanente en términos monetarios sino, también, el esfuerzo personal de millones de pobladores que, desde épocas muy remotas, necesitaban comunicarse entre ellos. Por tal motivo, la mayor prioridad de los administradores de vialidad es la protección del patrimonio vial existente, actuando con eficiencia para evitar su deterioro y la eventual pérdida de las carreteras, los puentes, los túneles y demás obras accesorias.

El Instituto Nacional de Vías adelantó en 1996 un estudio para determinar el valor de la red vial a su cargo (1.8). De acuerdo con los cálculos realizados sobre un total de 11.584 km (8340 km pavimentados y 3244 km en afirmado), se determinó que, en dinero de 1995, su valor promedio por kilómetro era US\$ 455.000.

Este valor parece sobreestimado, si se tiene en cuenta que en esa época el Instituto consideraba que las proporciones de sus vías pavimentadas y no pavimentadas que se encontraban en regular o mal estado eran, respectivamente, 40 % y 77 %. Por otra parte, un cálculo del patrimonio vial de Chile, efectuado en 2009 por la Dirección de Vialidad de ese país, arrojó valores de US\$ 377.000 y de US\$ 216.000 por km pavimentado y no pavimentado, sin considerar las carreteras concesionadas, los puentes y los túneles (1.9).

1.5. SEGURIDAD Y SALUBRIDAD

Los trabajos de mantenimiento introducen en las carreteras unas discontinuidades que no son habituales para la mayoría de los usuarios y los afectan tanto a ellos como a los trabajadores. Estas situaciones deben ser atendidas especialmente, adoptando normas y medidas técnicas apropiadas que se deben incorporar al desarrollo del proyecto, independientemente de su magnitud, con el fin de reducir el riesgo de accidentes y hacer más ágil y expedito el tránsito, minimizando las molestias a los usuarios en su desplazamiento por la vía (1.10).

1.5.1. Seguridad de los trabajadores y de los usuarios

Normalmente, los trabajos de mantenimiento se deben adelantar sin interrumpir el tránsito y, por lo tanto, son labores potencialmente peligrosas, en particular durante las horas de la noche. En estos casos, las medidas de seguridad deben cumplir un doble objetivo: prevenir accidentes entre los usuarios y permitir que los trabajadores se puedan desempeñar bajo condiciones de seguridad adecuadas.

Al programar las tareas de mantenimiento se debe tener presente que la seguridad es un requisito inherente a toda buena gestión, de manera que las medidas que se tomen para la protección de los trabajadores y usuarios serán siempre importantes e imprescindibles. Conciernen aquí las disposiciones previstas en el decreto-ley 1295 de 1994 y en la ley 1562 de 2012 sobre el sistema general de riesgos profesionales, el cual aplica a todas las empresas que funcionen en el territorio nacional, y a los trabajadores, contratistas y subcontratistas de los sectores público, oficial, semioficial, en todos sus órdenes, y del sector privado en general. Por lo tanto, todo trabajo de mantenimiento debe contar con la participación de un profesional experto en riesgos laborales, quien tendrá las funciones asignadas por las bases de prevención de riesgos para los contratos de obras públicas.

Es indispensable que todo el personal asignado al mantenimiento cuente con entrenamiento básico, donde se le instruya sobre las condiciones y los tipos de trabajos que le corresponderá realizar. Asimismo, deberá disponer de la indumentaria que les proporcione una protección personal adecuada. Por ejemplo, siempre que deban realizar labores que impliquen proyecciones de partículas, deberán estar protegidos con delantales y lentes de seguridad.

Para la ejecución de actividades que requieran el trabajo en altura, entendiendo por tales aquellas que presenten el riesgo de caer a 1.50 m o más sobre un nivel inferior, el Contratista deberá satisfacer todos los requisitos exigidos por el reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas, contenido en las resoluciones 1409 de 2012 y 3368 de 2014 del Ministerio del Trabajo, o la que las sustituyan en el futuro.

La elevación manual de cargas cuyo peso entrañe peligros para la seguridad y la salud de los trabajadores se deberá realizar con el apoyo de equipos mecánicos que limiten el esfuerzo a niveles que resulten razonables, de acuerdo con lo que establezca la reglamentación aplicable.

Los bandereros y paleteros, llamados auxiliares de tránsito en el más reciente manual de señalización vial del Ministerio de Transporte, tienen gran responsabilidad en la seguridad de los usuarios y del personal dentro de la zona de los trabajos de mantenimiento vial siendo, además, los trabajadores que mantienen mayor contacto con el público. Por ello, el manual les exige cumplir, como mínimo los siguientes requisitos generales (1.10):

- Haber cursado al menos la educación primaria
- Haber aprobado una capacitación y un entrenamiento con certificado físico que los habilite como auxiliares de tránsito para obras en vías
- Poseer buenas condiciones físicas y visión y audición compatibles con las labores a desarrollar, aceptándose que estos aspectos puedan estar corregidos por dispositivos tales como lentes o audífonos, soportados por los certificados médicos expedidos por su EPS
- Contar con aptitudes adecuadas de comportamiento ciudadano
- Poseer sentido de responsabilidad, particularmente para la prevención de riesgos de accidentes al público y a los demás trabajadores

Su indumentaria de trabajo deberá satisfacer los requisitos señalados en el numeral 4.12.2 del manual de señalización vial del Ministerio de Transporte (1.10). Los demás trabajadores deberán portar la vestimenta de alta visibilidad mencionada en el numeral 4.12.1 y los vehículos asignados a la obra deberán contar con los elementos retrorreflectantes relacionados en el numeral 4.12.4 del mismo manual (1.10).

Los choferes y operadores de las obras y trabajos de mantenimiento deberán tener al día su licencia de conducción y tener la conciencia de que no tienen privilegios especiales en la conducción de los vehículos a su cargo. Durante los trabajos, deberán circular exclusivamente por las vías señalizadas y adaptadas para ese objetivo.

Las sustancias combustibles y tóxicas y otras mercancías peligrosas que se empleen en los trabajos se deberán transportar en recipientes adecuados, con la señalización apropiada y de acuerdo con lo indicado en la norma NTC 1692 y demás disposiciones reglamentarias vigentes.

1.5.2. Salubridad

La zona de los trabajos de mantenimiento deberá disponer de instalaciones sanitarias, de higiene personal y de alimentación apropiadas, dotadas de los elementos necesarios para prevenir brotes epidémicos y transmisión de enfermedades.

El Contratista deberá adoptar todas las medidas necesarias para evitar que la piel de cualquier miembro de su personal tenga contacto con sustancias químicas peligrosas cuando ellas puedan penetrar por la piel o producir dermatitis, como sucede con la cal, el cemento y otros productos; así como el contacto o la inhalación de cualquier sustancia reconocida como cancerígena.

Asimismo, deberá adoptar las medidas contempladas en la reglamentación vigente tendientes a proteger a los trabajadores de la obra contra los efectos nocivos del ruido, de las vibraciones de las máquinas y de los procedimientos de trabajo.

1.5.3. Diseño del área de trabajo

El plan de manejo de tránsito al cual hace referencia el numeral 4.5 del manual de señalización vial del Ministerio de Transporte, tiene por finalidad *“mitigar el impacto generado por las obras que se desarrollan en las vías públicas o privadas abiertas al público (rurales y urbanas) y en las zonas aledañas a éstas, con el propósito de brindar un ambiente seguro, ordenado, ágil y cómodo a los conductores, pasajeros, ciclistas, peatones, personal de la obra y vecinos del lugar, en cumplimiento a (sic) las normas establecidas para la regulación del tránsito”* (1.10). En ese orden de ideas, el diseño del área de trabajo deberá formar parte del plan de manejo de tránsito del contrato bajo el cual se realizan las labores de mantenimiento. El diseño deberá definir la velocidad vehicular a la cual operará el desvío, así como las dimensiones de las diversas áreas, de manera de proveer las condiciones mínimas de seguridad y comodidad a las cuales hace referencia el manual de señalización vial. El manual establece que una zona de obras en la vía está compuesta por las áreas o sectores mostrados en la figura 1.2, cuya finalidad se describe a continuación.

Zona de prevención

Es la zona previa al sector de transición, es decir, antes de que se produzcan los cambios geométricos debidos a la ejecución de los trabajos. En esta área se advierte a los usuarios la situación que presenta la vía más adelante, con el fin de que los conductores dispongan de tiempo suficiente para modificar su patrón de conducción (velocidad, atención, maniobras, etc.).

La distancia mínima a la cual se debe instalar la señalización de prevención de trabajos (señal vertical SPO-01) depende de la velocidad máxima permitida en el tramo de vía objeto de los trabajos y si éste se encuentra en una zona urbana o rural. En el caso de las carreteras, deberá cumplir lo establecido en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Longitud mínima de la zona de prevención en carreteras

| Velocidad máxima admisible antes de la zona de transición (km/h) | Distancia mínima (m) |
|---|-----------------------------|
| ≤ 40 | 100 |
| 50 | 150 |
| 60 | 200 |
| 70 | 270 |
| 80 | 350 |
| 90 | 400 |
| 100 | 500 |
| 110 | 550 |
| 120 | 650 |

Zona de transición

Es el sector donde los vehículos deben abandonar el o los carriles ocupados por los trabajos de mantenimiento. Esto se consigue, generalmente, con canalizaciones o angostamientos suaves, delimitados por conos, delineadores tubulares, canecas u otros de los dispositivos especificados en la sección 4.7 del manual de señalización vial. La zona de transición constituye el principal elemento individual que se debe utilizar en zonas donde los trabajos por realizar impliquen reducciones en el ancho del pavimento o cambios de carril. Una transición inadecuada casi siempre da lugar a maniobras de conducción indeseables que generan congestión y, eventualmente, accidentes.

La Tabla 1-4 presenta las longitudes mínimas de transición recomendadas en el manual de señalización vial en una carretera en terreno plano y en tangente, las cuales dependen de la velocidad máxima admisible antes de la zona de transición (V) y del ancho de carril que se debe cerrar (A).

Tabla 1-4. Longitud mínima de la zona de transición (1.10)

| V (km/h) | A (m) | | | | | | |
|---------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| | Longitud mínima de la zona de transición (m) | | | | | | |
| 40 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 50 | 10 | 20 | 25 | 35 | 45 | 50 | 60 |
| 60 | 20 | 40 | 60 | 75 | 95 | 115 | 135 |
| 70 | 25 | 45 | 70 | 90 | 110 | 135 | 155 |
| 80 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 |
| 90 | 30 | 60 | 85 | 115 | 145 | 170 | 200 |
| 100 | 35 | 65 | 95 | 125 | 160 | 190 | 220 |
| 110 | 35 | 70 | 100 | 135 | 170 | 200 | 240 |
| 120 | 40 | 75 | 110 | 145 | 180 | 220 | 260 |

Área de seguridad

Es el espacio que separa el área de trabajos de los flujos vehiculares o peatonales. Su objetivo principal es proporcionar al conductor, que por error traspasa las canalizaciones de la zona de transición o la de tránsito, un sector despejado en el que recupere el control total o parcial del vehículo antes que éste ingrese al área de las obras, aumentando también la seguridad de los trabajadores. Por ello, en esta área no se deben ubicar materiales de excavación o de construcción, vehículos, señales u otros elementos. La longitud del área de seguridad (L_s) es la distancia entre el final de la zona de transición y el inicio del área de obras o trabajos de mantenimiento, y es función de la velocidad máxima de operación de la vía, según se muestra en la Tabla 1-5.

Tabla 1-5. Longitud mínima recomendada del área de seguridad (1.10)

| V (km/h) | L_s (m) |
|---------------------|---------------------------------|
| ≤ 50 | 10 |
| 60 a 70 | 30 |
| 80 a 90 | 50 |
| > 90 | 100 |

Área de obras

Es aquella zona cerrada al tránsito donde se realizan las actividades requeridas por las obras o trabajos de mantenimiento, cuyo acceso es restringido. En su interior operan los trabajadores y los equipos y se almacenan los materiales. Sus dimensiones, que dependen de la magnitud de los trabajos, deben ser propuestas por el Contratista y avaladas por el Interventor.

Ancho de seguridad

Corresponde a la separación mínima que debe existir entre el área de los trabajos y el paso destinado al flujo vehicular, cuando éste opera en forma paralela y contigua. Es un ancho de protección orientado básicamente a peatones, trabajadores y ciclistas, para que cuenten con una zona segura de desplazamiento enfrente del área de trabajo. Su dimensión se presenta en la Tabla 1-6.

Tabla 1-6. Ancho mínimo de seguridad (1.11)

| V (km/h) | As (m) |
|---------------------|-------------------|
| 40 | 1.0 |
| 50 | 1.2 |
| 60 | 1.5 |
| 70 | 1.5 |
| 80 | 2.0 |
| 90 | 2.0 |
| 100 | 2.0 |
| 110 | 2.5 |
| 120 | 2.5 |

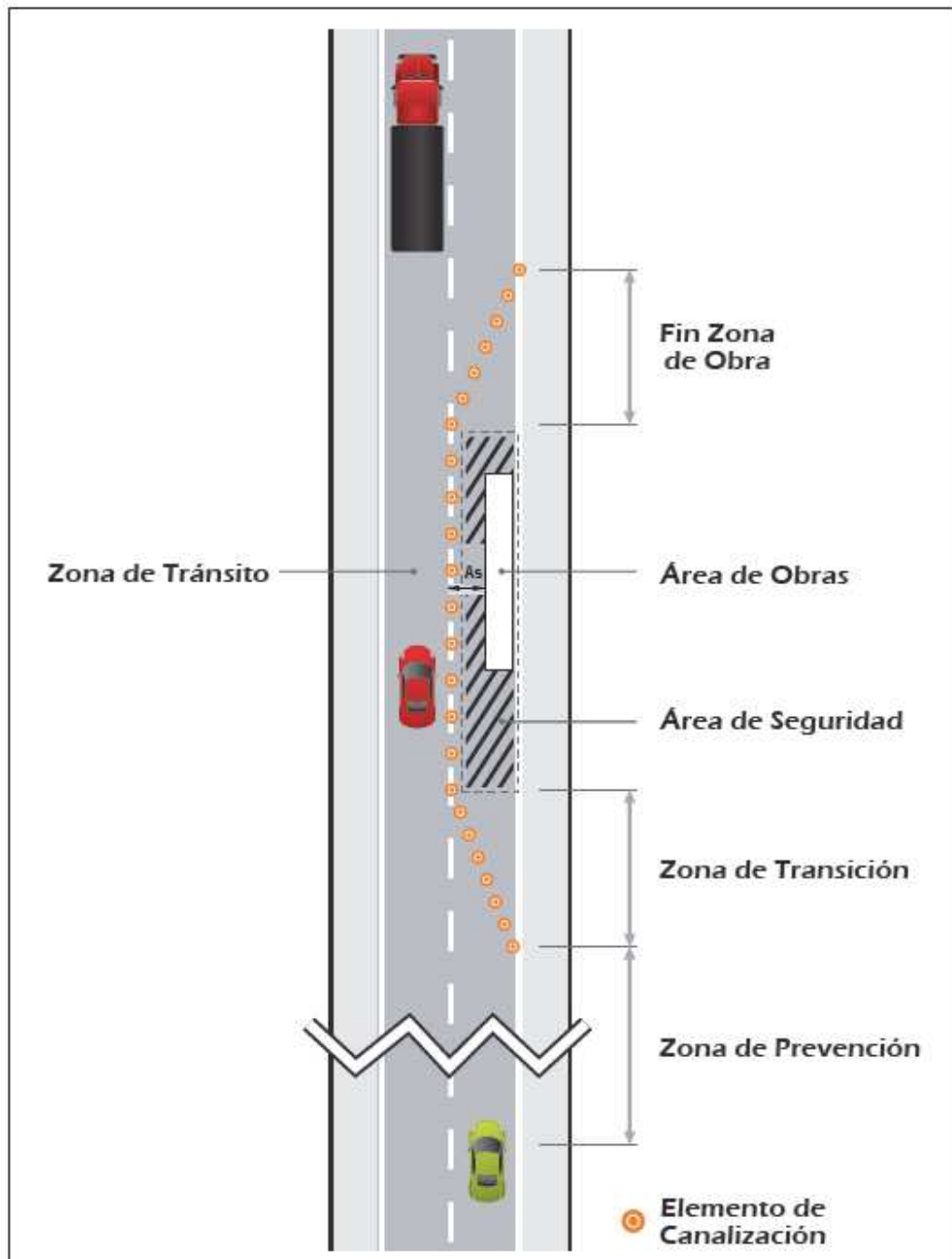
Zona de tránsito

Corresponde a la zona por donde circulan los vehículos al desplazarse frente al área de los trabajos de mantenimiento. La velocidad admisible en ella se suele establecer como el 80 % de la máxima admisible de operación, salvo que el especialista en seguridad vial del proyecto considere que la complejidad del lugar o los riesgos involucrados en los trabajos ameriten una velocidad menor.

Fin de la zona de trabajos

Es el sector utilizado para que el tránsito retorne a las condiciones de circulación que presentaba antes de la zona de trabajo. Su desarrollo geométrico debe permitir retomar las condiciones habituales de circulación, por lo que no se permite que termine de manera abrupta. A una distancia no menor de 120 m del punto donde finaliza el área de seguridad, se deberá instalar la señal vertical SIO-03 de fin de obra para indicar a los usuarios que la circulación a través de la zona de trabajos ha concluido y se restablecen las condiciones que existían antes de ella (1.10).

Figura 1-2. Señalización de una zona de trabajos en la vía (1.10)



1.5.4. Esquemas de seguridad

El numeral 4.13 del manual de señalización vial del Ministerio de Transporte (1.10) presenta varios esquemas tipo relacionados con la señalización, la segregación del área de trabajo y las medidas de control de tránsito y de seguridad por adoptar en zonas de trabajos en vías urbanas y rurales en servicio. Los esquemas incluidos allí no consideran todas las alternativas posibles sino, simplemente, presentan ejemplos prácticos de la aplicación de los diferentes temas considerados a lo largo del Capítulo 4 de dicho manual, siendo necesario en todos los casos incorporar el criterio profesional para adaptarlos a las características y condiciones de cada caso particular.

1.5.5. Consideraciones adicionales

Aunque existen normas e instrucciones para la adecuada señalización de las obras de larga y corta duración, no siempre es suficiente el disponer de ellas. Es preciso concienciar a todos los involucrados en los trabajos de mantenimiento de la necesidad de evitar los riesgos, en la medida de lo posible. La seguridad no debe ser solamente motivo de preocupación desde el punto de vista legal o económico, sino una obligación moral fundamental. Si esa mentalidad no está inculcada en todos los actores que intervienen en las labores de mantenimiento vial, de poco servirán los imperativos meramente legales.

Antes de realizar cualquier trabajo, se requiere estudiar en detalle cada una de las operaciones de inspección, auscultación y mantenimiento, para prever las posibles situaciones de riesgo y desarrollar medidas para eliminarlas o, cuando menos, disminuirlas o atenuar sus efectos. Para poder afrontar con éxito esos planes, es necesario realizar una labor de formación continua en todos los niveles, tanto de la administración como de sus firmas contratistas (1.12).

Son numerosos los organismos, asociaciones y administraciones que vienen prestando atención a los aspectos relacionados con la seguridad en los trabajos de mantenimiento vial. La AIPCR ha dedicado a ello algunos de los trabajos de sus comités. Uno de sus primeros estudios se presentó en una publicación en la que se recogen las experiencias de Australia, Finlandia, Hungría, Italia, Japón, Canadá (Quebec), España, Estados Unidos, Suecia y Reino Unido (1.13).

En el ámbito europeo se desarrollaron en los años finales del siglo pasado los proyectos ARROWS y PREVENT, cuyo objetivo fue identificar las mejores prácticas referentes a la seguridad en los trabajos relacionados con las carreteras. Recientemente, se han realizado otros estudios con capítulos relacionados con la seguridad durante las obras de construcción y mantenimiento, siendo los más recientes BROWSER (Baselining Road Works Safety on European Roads) y ASAP (*Appropriate Speed saves All People*), cuya culminación estaba prevista para finales de 2015. Todos estos proyectos apuntan a avanzar el trabajo relacionado con la administración de la seguridad vial y ofrecer conocimiento a los empleadores que deban enfrentarse a este desafío, así como estándares sobre la seguridad en las vías públicas.

1.6. GESTIÓN AMBIENTAL EN RELACIÓN CON EL MANTENIMIENTO VIAL

Todas las actividades relacionadas con el mantenimiento de las carreteras a cargo del Instituto Nacional de Vías se deberán realizar en consonancia con la política ambiental del Instituto, los preceptos de la guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura vial (1.14) y todas las disposiciones reglamentarias que resulten aplicables.

Cuando se habla del impacto ambiental de la actividad vial, la atención se suele centrar en el proceso constructivo. Sin embargo, una vez que las carreteras están abiertas al tránsito automotor, es necesario que las actividades de mantenimiento desempeñen un papel importante en la no afección del entorno. El objetivo es, en esencia, lograr que los trabajos destinados al mantenimiento de las carreteras no alteren las condiciones medio ambientales del espacio físico, tanto natural como artificial, que circundan las carreteras, eviten toda alteración innecesaria del medio, no contaminen con residuos derivados de los trabajos y no provoquen otros impactos negativos al ambiente. Los contratistas, al margen de sus propias responsabilidades legales y contractuales, deberán acatar las instrucciones que, en relación a la protección del medio ambiente, les imparta el Instituto Nacional de Vías a través de sus representantes en las obras, instrucciones que se deberán efectuar siempre por escrito y conforme a los términos y condiciones del respectivo contrato.

1.6.1. Alteraciones ambientales producidas por los trabajos de mantenimiento vial

Existe abundante documentación, en forma de manuales de buenas prácticas ambientales en conservación, centrada en la minimización de consumos, emisiones y ruidos y en la manera abordar los vertidos y tratar los residuos que se generan. Las alteraciones ambientales que se analizan con mayor frecuencia en estos manuales en relación con las actividades de mantenimiento de carreteras son las siguientes:

- Emisiones a la atmósfera
- Ruido
- Generación de residuos
- Vertidos al agua
- Consumo de agua
- Impactos en el suelo
- Impactos sobre la fauna
- Impactos sobre la flora
- Impacto visual
- Consumo de energía

Emisiones a la atmósfera

Incluyen las emisiones atmosféricas de los vehículos y maquinaria, y la emisión de polvos en suspensión.

Las emisiones generadas por los vehículos y maquinaria, como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), etc., contribuyen a los problemas ambientales globales como el cambio climático o la contaminación atmosférica y, además, pueden poner en peligro la salud de las personas, animales y plantas. Para el control de estas emisiones es necesario mantener al día los certificados de revisión técnico mecánica de los vehículos asignados a las obras y cumplir el plan de mantenimiento tanto de vehículos como de maquinaria.

Las partículas emitidas, ya sea en forma de polvo o en suspensión, no solamente generan suciedad, sino que, además, se pueden instalar en organismos vivos dificultando su respiración. Entre las acciones que se pueden adelantar para su control con motivo de los trabajos de mantenimiento vial se encuentran:

- Regar frecuentemente las superficies de trabajo susceptibles de generar polvo, utilizando agua sin estabilizantes químicos
- Dotar de máscaras a los trabajadores cuando deban realizar tareas contaminantes
- Regar periódicamente la vegetación arbórea afectada por el polvo
- Durante el transporte de elementos sólidos como tierra, materiales de demolición, etc., cubrir el cajón de la volqueta con una lona firmemente asegurada para evitar la dispersión del polvo durante el trayecto, especialmente cuando se circula por fuera de la zona donde se están realizando los trabajos de mantenimiento (resolución 541/94 del Ministerio de Medio Ambiente)
- Si se circula por pistas de tierra o afirmado, disminuir la velocidad de los vehículos

Ruido

El ruido ambiental es el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el emitido por los medios de transporte, por el tránsito rodado, ferroviario y aéreo y por emplazamientos de actividades industriales.

Sus efectos son difíciles de cuantificar, por cuanto la tolerancia de los individuos ante los diferentes niveles y tipos de ruido varía considerablemente. Sin embargo, existe una gran cantidad de documentación científica que analiza y evalúa los efectos del ruido en los seres humanos. La OMS señala que el ruido ambiental puede tener una serie de efectos nocivos directos para las personas expuestas al mismo, entre ellos, alteraciones del sueño, efectos fisiológicos auditivos y no auditivos - básicamente cardiovasculares -, interferencias en la comunicación y malestar general. La exposición al ruido ambiental no causa normalmente pérdida auditiva, excepto en casos de exposición a niveles excepcionalmente elevados durante largos períodos de tiempo.

De acuerdo con lo anterior, las tareas de prevención y vigilancia de posibles situaciones que generan contaminación acústica, producto de las tareas propias de los trabajos de mantenimiento vial, coadyuvan a la protección ambiental. La Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 8 de mayo de 2000, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno, debidas al

funcionamiento de las máquinas de uso al aire libre, propone la armonización de los requisitos sobre el ruido emitido por ellas, considerando que la reducción de los niveles acústicos protege la salud y el bienestar de los ciudadanos, así como el medio ambiente. Al efecto, en su Artículo 12, la Directiva establece que en un grupo de máquinas entre las que se encuentran la mayoría de las empleadas normalmente en los trabajos de construcción y mantenimiento vial, los niveles de potencia acústica garantizados no deben superar los valores admisibles fijados en esa norma. Además, recomienda que se informe al público sobre el ruido emitido por dichas máquinas.

En tanto en Colombia no se disponga de una reglamentación similar, en los trabajos relacionados con la construcción y el mantenimiento vial se deben establecer algunas actuaciones básicas de control que hagan más llevaderos los efectos relacionados con el ruido, entre las que se pueden mencionar:

- Calentar la maquinaria en zonas lo más alejadas de los posibles receptores, tratando de interponer barreras acústicas naturales o artificiales
- Asegurar que todos los vehículos asignados a las obras tengan la revisión técnica mecánica en vigor
- Revisar y controlar periódicamente los silenciadores de los motores
- Realizar oportunamente el mantenimiento preventivo de los equipos y vehículos que se utilicen
- Cumplir los horarios de trabajo habituales de la zona
- Facilitar a los operarios los elementos necesarios para protegerlos del ruido producido por los equipos de la obra
- Ejecutar los programas de obra tratando que los trabajos se alejen lo más posible de las épocas de celo y cría de la fauna de la zona

Generación de residuos

Las operaciones de mantenimiento vial llevan asociada la generación de distintos tipos de residuos. Es importante saber diferenciar cada uno de ellos, puesto que de sus características va a depender el grado de peligrosidad del residuo y los daños ambientales que puede generar si no se trata de la manera adecuada. Aunque en su mayoría los residuos se generan en el ámbito urbano, en la operación y el mantenimiento de las carreteras también se producen.

Al respecto, se deben adelantar las acciones que permitan cumplir la política de gestión integral de residuos, atendiendo todo lo que resulte pertinente del Proyecto 5 “*Manejo de*

residuos sólidos convencionales y especiales” (PAC-2.5-08) del Programa 2 “Actividades constructivas”, y del Proyecto 2 “Manejo de residuos líquidos, domésticos e industriales” (PGH-3.2-10) del Programa 3 “Gestión recurso hídrico”, de la guía ambiental para proyectos de infraestructura del Instituto (1.14).

Vertidos al agua

El agua es un recurso escaso y, a pesar de ser renovable, las actividades humanas han provocado el deterioro de gran parte de este recurso. La idea de que es regenerable y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero en el que se arrojan habitualmente los residuos producidos por las actividades humanas. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran en cantidades mayores o menores al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana y dañinas para la vida.

Algunas de las sustancias que se pueden generar en las operaciones de mantenimiento de carreteras y que pueden afectar a la calidad de las aguas son las siguientes:

- Microorganismos patógenos
- Desechos orgánicos
- Sustancias químicas inorgánicas
- Nutrientes vegetales inorgánicos
- Compuestos orgánicos,
- Sedimentos y materiales suspendidos

La guía ambiental para proyectos de infraestructura del Instituto (1.14) presenta algunas recomendaciones generales para reducir el impacto generado por los vertidos:

- En las obras cercanas a cuerpos de agua se deben tomar las medidas necesarias para la protección y el aislamiento de estas corrientes, con el objeto de evitar el aporte de materiales
- Supervisar en forma permanente durante la ejecución de las obras los cruces de quebradas y/o ríos con la vía, con el objeto de detectar la contaminación de estos cuerpos por el aporte de residuos sólidos, grasas o aceites entre otros, y adoptar las medidas correspondientes para la mitigación de estos impactos
- El manejo de los materiales de excavación, residuos sólidos y líquidos se deberá hacer con base en los lineamientos trazados en los proyectos
- Bajo ninguna circunstancia se debe permitir la disposición de residuos sólidos en las corrientes hídricas

- El material de las excavaciones para la ejecución de obras de drenaje en cercanías de cauces naturales se debe acopiar lo más lejos posible, evitando que sea arrastrado por aguas de escorrentía superficial
- Prohibir el lavado de la maquinaria y equipo en los cursos de agua, para evitar el derrame de lubricantes o hidrocarburos que contribuyan a la contaminación de los mismos
- No se deberá disponer ningún residuo líquido en cuerpos hídricos relacionados con el proyecto
- No se deberá disponer en las corrientes hídricas ni en sus rondas de algún tipo de residuo industrial como solventes, aceites usados, pinturas u otros materiales
- En caso de contingencia o accidente, se deben adelantar labores de limpieza inmediatamente y tomar las correcciones apropiadas, conforme se establezca en un documento aprobado por la interventoría

Consumo de agua

Como se acaba de mencionar, el agua es un recurso escaso. Son ya habituales en televisión, radio y otros medios de comunicación las campañas que incitan a la ciudadanía al ahorro del agua, inclusive sin tratarse de periodos de sequía tan intensos como el que genera el fenómeno de “el Niño”.

Por lo general, las actividades relacionadas con la construcción y el mantenimiento de carreteras requieren agua proveniente de fuentes naturales, las cuales se pueden ver afectadas durante el proceso de la captación, por lo que antes de su uso se deben atender los siguientes requerimientos ambientales incluidos en la guía ambiental para proyectos de infraestructura (1.14):

- Solicitar la concesión de aguas en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. El contratista de los trabajos de mantenimiento es responsable de solicitar el permiso, cumplir las exigencias que imponga la autoridad ambiental y pagar la tasa retributiva
- En relación con el sistema de captación se recomienda, para el caso en que ella no sea continua, emplear un carro tanque provisto de una bomba con la potencia suficiente para succionar desde una zona donde no se intervenga la ronda o lecho del río o quebrada. Como alternativa limpia, utilizar el sistema de captar conectando mangueras desde la parte alta del curso de agua.

En todos los casos, se debe mantener un control sobre las cantidades de agua que se emplean con el fin de evitar derroches y por ningún motivo se podrán hacer tomas de agua de los cauces de agua sin los permisos de las autoridades ambientales competentes.

Impactos en el suelo

Aunque las actividades normales de mantenimiento vial afectan mucho menos el suelo que las de construcción, son importantes su cuidado y conservación teniendo en cuenta que se trata de un recurso no renovable.

El Proyecto 2 “*Manejo del descapote y la cobertura vegetal*” (PBSE-4.1-11) del Programa 4 “*Biodiversidad y servicios ecosistémicos*”, de la guía ambiental para proyectos de infraestructura (1.14) presenta una serie de requerimientos en relación con el manejo del material vegetal de desmonte y descapote, el manejo de la vegetación que debe permanecer y la disposición de los residuos vegetales.

Impactos sobre la fauna

La alteración de ecosistemas es el impacto más negativo sobre la fauna. Por ello, es recomendable extremar las precauciones para evitar la modificación de lugares que no sean estrictamente necesarios para la ejecución de los trabajos de mantenimiento. Es aconsejable que los campamentos, sitios de acopio temporal, talleres y vertederos se sitúen en zonas de escaso valor natural, evitando su asentamiento en zonas de paso o de hábitat de fauna o en el entorno de los cauces naturales, ya que estas áreas se suelen convertir en basureros incontrolados en los que se acumula una gran cantidad de desperdicios que se extienden por los alrededores.

Se debe ejercer, asimismo, un estricto control de los vertidos de materiales, lubricantes y combustibles, evitando que sean arrojados a cursos de agua provocando su contaminación con efectos negativos sobre la fauna de medios acuáticos, inclusive en zonas alejadas. Todo tipo de residuos se deberá disponer en lugares específicamente adaptados para ello, los cuales deben quedar definidos en el plan de gestión de residuos del proyecto.

En el caso de que sea necesario desviar temporalmente algún curso superficial de agua, se deberá mantener su caudal ecológico de modo de garantizar la preservación del ecosistema fluvial.

Las infraestructuras viales suponen, en la mayoría de los casos, una barrera para los animales, puesto que los cerramientos perimetrales de las vías o el propio tránsito automotor no les dejan pasar de un lado a otro. Esto repercute de manera negativa en los movimientos que los animales realizan para alimentarse o reproducirse. Una manera de mitigar este impacto es la utilización de las obras de drenaje o la creación de pasos de fauna específicos para favorecer el cruce de los animales a ambos lados de la vía. Resulta, por lo tanto, muy importante la conservación periódica de estos elementos para permitir la permeabilidad de la fauna. En las áreas en las que se tenga certeza de la presencia ocasional o permanente de animales en la vía, se deberán instalar señales de tránsito preventivas SP-49, “*Animales en la vía*”.

Durante la realización de actividades de desmonte y poda se debe prestar atención a la posible presencia de nidos para evitar que sean afectados y, de ser necesario, realizar su traslado.

Durante la retirada de los animales atropellados en la calzada se pueden encontrar animales heridos. Es conveniente disponer de un directorio de centros de recuperación de fauna donde se pueda acudir en estos casos.

El contratista de mantenimiento vial deberá implementar todas las acciones adicionales que resulten aplicables del Proyecto 3 “*Protección de fauna*” (PBSE-4.3-13) del Programa 4 “*Biodiversidad y servicios ecosistémicos*”, de la guía ambiental para proyectos de infraestructura (1.14). Además, deberá adoptar las medidas necesarias para impedir que sus empleados y trabajadores realicen actividades no autorizadas de caza y pesca.

Impactos sobre la flora

Las márgenes de las carreteras constituyen extensiones de territorio considerables. A ellas están asociadas grandes cantidades de flora y fauna. En muchos casos, estas márgenes pueden contribuir a la conservación de la naturaleza, especialmente, si se mantienen de manera apropiada.

Las medidas más inmediatas a la hora de subsanar el impacto en el medio vegetal son de carácter preventivo y pretenden evitar, en lo posible, la afectación de la vegetación, en especial los ejemplares arbóreos. Siempre que resulte factible, se deben limitar los movimientos de maquinaria y evitar la localización de campamentos y áreas auxiliares de trabajo en zonas con vegetación.

Se deberá evitar encender fuego cerca de árboles y arbustos, manipular combustibles, aceites y productos químicos en áreas con vegetación frondosa, dejar raíces sin cubrir y sin protección durante las operaciones de desmonte, estacionar vehículos con catalizador de gases en zonas con pastizales y realizar revestimientos impermeables en áreas en las que haya raíces.

Aparte de estas medidas preventivas, en las zonas que inevitablemente deban ser afectadas por las obras se deberán adoptar medidas correctoras. Como en el caso de la protección de la fauna, se ha de ejercer un control de los vertidos de materiales, lubricantes y combustibles, para evitar que sean arrojados a cursos de agua, lo que podría provocar su contaminación con efectos negativos sobre la flora de medios acuáticos. Los árboles y arbustos que se encuentren dentro del derecho de vía que no representen peligro para los usuarios ni afecten la integridad de las calzadas, se deberán mantener en su sitio, sometiéndolos a las podas periódicas que sean necesarias.

En los casos en los que el uso de herbicidas y pesticidas sea indispensable, se deberán utilizar los productos menos tóxicos, aplicándolos en las cantidades estrictamente necesarias.

Impacto visual

La contaminación visual se refiere al abuso de ciertos elementos “no arquitectónicos” que alteran la estética y la manera de percibir el paisaje tanto rural como urbano y que, a menudo, generan una sobreestimulación visual agresiva, invasiva y simultánea. Estos elementos pueden ser vallas publicitarias y políticas, cables, chimeneas, antenas, postes, escombros, materiales de demolición y otros elementos, que de por sí no provocan contaminación, pero que merced a la manipulación indiscriminada del hombre (tamaño, orden, distribución) se convierten en agentes contaminantes.

En atención al inciso 2° del Artículo Quinto de la ley 769 de 2002 (Código Nacional de Tránsito Terrestre), el Ministerio de Transporte promulgó la resolución 2444 del 7 de mayo de 2003, por medio de la cual reglamentó la ubicación, colocación, características y medidas de las vallas publicitarias y promocionales, letreros y avisos en la infraestructura vial de “manera que no afecten la visibilidad y concentración del conductor” y estableció que “las entidades encargadas de la inspección y vigilancia del cumplimiento de lo estipulado en la presente Resolución serán los Alcaldes Municipales y los Organismos de Tránsito, según el caso”.

En relación con los escombros, materiales de construcción, demolición, capa orgánica, suelo y subsuelo de excavaciones, la resolución 541 del 14 de diciembre de 1994 del Ministerio de Medio Ambiente prohíbe su disposición final en áreas de espacio público. Sobre el particular, se deberán atender las instrucciones contenidas en el Proyecto 4 “Manejo y disposición final de escombros y lodos” (PAC-2.4-07) del Programa 2 “Actividades constructivas”, de la guía ambiental para proyectos de infraestructura (1.14).

“La contaminación visual debe ser considerada definitivamente como un tema ambiental y se debe legislar en concordancia. Se debe tomar conciencia de que no se trata solamente de intervenir sobre medidas y proporciones de carteles. El Estado debe tener una política ambiental global con reglas claras y precisas cuya finalidad sea una mejor calidad de vida para todos. Así como la degradación es voluntaria y producida por el hombre, también debe ser controlada y modificada por él.” (1.15)

Consumo de energía

El consumo de energía está presente en la mayoría de las actividades de mantenimiento vial, pero raramente hay preocupación sobre la manera de administrarlo no sólo para ahorrar dinero sino, principalmente, para ayudar al medio ambiente. Se debe tener claro que es la propia naturaleza la que más caro pagará todos los derroches energéticos, sobre todo si buena parte de la energía utilizada proviene de fuentes no renovables. Resulta prioritario, en consecuencia, potenciar el uso de fuentes alternativas y renovables y, aún más importante, aprender a usar eficientemente la energía.

De acuerdo con un informe de la Unidad de Planeación Minero Energética, la canasta energética en Colombia en el año 2009 estuvo soportada principalmente por la oferta de petróleo (46%), leña (20%), carbón mineral (13%), gas natural (9.6%) e hidroenergía (6%) (1.16)

Entre las medidas para reducir el impacto, lo primero que corresponde es identificar los puntos de consumo y determinar los consumos más significativos, distinguiendo el consumo de recursos de las actividades de mantenimiento propiamente dichas, del consumo específico de las instalaciones o equipos. Se deberá hacer un seguimiento a los consumos de recursos, identificar los excesivos y establecer medidas para su corrección.

Se intentará elegir los vehículos y la maquinaria de mayor rendimiento energético. Muchos vehículos y electrodomésticos ya disponen de una etiqueta que hace referencia al consumo de energía.

Consideraciones adicionales

Otras actividades que exigen medidas de manejo ambiental con motivo de los trabajos de mantenimiento vial son las relacionadas con el manejo de las instalaciones temporales y la explotación de fuentes de materiales, consideradas en el Programa 5 y en el Proyecto 2 del Programa 2, respectivamente, de la guía ambiental para proyectos de infraestructura (1.14).

En relación con el manejo y transporte de materiales peligrosos por carretera, se deberá seguir la guía sobre el tema del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (1.17).

Por ningún motivo se permitirá la quema abierta de los productos de desecho resultantes de las actividades de mantenimiento, ni siquiera mediante incineraciones controladas (Decreto 4296 de 2004).

Teniendo en cuenta que para la ejecución de algunos de los ensayos rutinarios de control se emplean solventes químicos, se deberán aplicar las medidas correctivas que eviten el uso inadecuado de estos elementos o de accidentes que puedan tener consecuencias sobre los seres humanos y el medio ambiente, quienes deberán utilizar los elementos de seguridad apropiados. Al respecto, se considera conveniente reproducir el contenido de los numerales I.4.1 y I.4.2 de la introducción de las normas de ensayo de materiales para carreteras del Instituto (1.18):

“I.4.1 Las normas de ensayo de materiales contienen un conjunto de instrucciones para realizar una o más operaciones específicas y no pretenden tratar sobre los eventuales problemas de seguridad asociados con su empleo. Aunque ocasionalmente incluyen previsiones específicas sobre la protección de los operarios, de terceros y de los equipos e instalaciones, no resulta posible incluir en ellas todos los asuntos relacionados con la seguridad. Por lo tanto, es de absoluta responsabilidad del usuario de cada norma, adoptar las medidas de seguridad e higiene adecuadas y determinar la aplicabilidad de las

limitaciones legales, antes de su uso. El Instituto Nacional de Vías no asume responsabilidad alguna por los accidentes y riesgos derivados del uso de las normas incluidas en el manual”.

“1.4.2 Es política del Instituto Nacional de Vías asegurar que los riesgos de todos los productos, equipos, procedimientos y métodos de ensayo sean debidamente identificados, y que la información relacionada con ellos sea oportuna y debidamente transmitida a los empleados de cada laboratorio, por parte de la persona legalmente responsable del mismo. En consecuencia, la ejecución de cualquiera de los ensayos a los cuales se refieren las normas contenidas en este Manual – tanto las que se deban realizar en las instalaciones del laboratorio como en el terreno – implica una declaración implícita del laboratorio que la realiza, en el sentido de que posee un manual de seguridad completo, aprobado por entidad competente, y que todo el personal involucrado directa o indirectamente en su aplicación tiene cabal conocimiento de él y está comprometido con su cumplimiento”.

Los equipos nucleares empleados en la ejecución de algunos ensayos de campo y laboratorio deberán disponer de licencia de operación expedida por el Servicio Geológico Colombiano. La persona responsable de la protección radiológica de los equipos está obligada a cumplir todas las normas referentes a la protección del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes y del público en general. Todo lugar donde se almacenen los equipos deberá estar señalizado claramente con el símbolo de trébol que identifica la presencia de material nuclear.

A la terminación de las obras de mantenimiento, el Contratista deberá retirar todo el equipo de construcción o mantenimiento, los materiales sobrantes, escombros y obras temporales de toda clase, dejando la totalidad de la zona de los trabajos en un estado de limpieza satisfactorio para el Interventor. Las áreas pavimentadas deberán quedar completamente libres de cualquier material extraño, suciedad y polvo.

Así mismo, el Contratista deberá retirar toda la señalización provisional y cancelar los desvíos de tránsito que haya implementado para el desarrollo de los trabajos, de manera que no se advierta la existencia previa de ellos. Si se requiere borrar demarcaciones efectuadas sobre la superficie de pavimentos para la regulación del tránsito durante el período de las obras, se emplearán métodos que sean efectivos y que no afecten adversamente ni el ambiente ni la integridad de los pavimentos.

1.6.2. Implantación de un sistema de gestión ambiental

La progresiva implantación de la norma ISO 14001 (en Colombia, NTC-ISO 14001) en los contratos de mantenimiento de carreteras en muchos países, ha sido esencial para elevar el grado de compromiso del sector, adaptándose a los requerimientos del siglo XXI. Esta certificación no fija metas ambientales concretas, sino que establece las herramientas y los sistemas que permiten optimizar los procesos de producción de cualquier industria para minimizar su huella en el entorno, además de cumplir con toda la normativa existente en

materia de medio ambiente. Donde se ha venido aplicando, la norma ISO 14001 ha revolucionado el compromiso ecológico del mantenimiento de carreteras.

1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.1 House of Commons. International Development Committee, *“DFID's Role in Building Infrastructure in Developing Countries, Ninth Report of Session 2010–12, Volume I: Report, together with formal minutes, oral and written evidence”*, Published on 7 October 2011 by authority of the House of Commons London: The Stationery Office Limited

1.2 Asociación Mundial de la Carretera, *“Importancia de la conservación de carreteras”*, 2014R02ES

1.3 Dirección Nacional de Planeación, *“Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Síntesis”*, Bogotá, Colombia, 2014

1.4 Ministerio de Obras Públicas, Tropical Section Road Research Laboratory, *“Guía para el diseño estructural de pavimentos flexibles en Colombia”*, Bogotá D.C., enero 1970

1.5 Ministerio de Fomento, *“Orden FOM/3460/2003, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la norma 6.1 IC Secciones de firme, de la Instrucción de carreteras”*, Madrid, 28 de noviembre de 2003

1.6 Banco Mundial, *“El deterioro de los caminos en los países en desarrollo. Causas y soluciones”*, Washington D.C., 1988

1.7 Andreas Schliessler, Alberto Bull, *“Caminos. Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”*, CEPAL, Santiago de Chile, 1994

1.8 Efraín de Jesús Solano Fajardo, Hugo Triana, J. Orlando Gómez Jiménez, *“Patrimonio vial. Red de carreteras nacionales”*, Instituto Nacional de Vías, Bogotá D.C., febrero de 1997

1.9 Juan Acevedo C., Daniel Muñoz P., *“Valor del patrimonio vial de la red vial nacional. Año 2009”*, Departamento de gestión vial, Dirección de Vialidad, Santiago de Chile, octubre de 2010

1.10 Ministerio de Transporte, *“Manual de señalización vial. Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia”*, Bogotá D.C., 2015

1.11 Dirección de Vialidad, *“Manual de carreteras. Volumen No. 7. Mantenimiento vial”*, Santiago de Chile, Edición 2014

1.12 Oscar Gutiérrez-Bolívar Álvarez, *“La seguridad y la conservación de carreteras”*, CEDEX, s/f

1.13 PIARC Committee on Road Management, *“Safety at Roadworks - Sécurité sur les Chantier routiers”*, 1996

1.14 Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *“Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura. Subsector vial”*, Segunda edición, Incoplan S. A., Bogotá D. C., abril de 2011

1.15 Fernanda García, <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamVis.htm>

1.16 Ministerio de Minas y Energía, *“Plan de acción de mitigación del sector energético hidrocarburos”*, Estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono, s/f

1.17 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Consejo Colombiano de Seguridad, *“Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos”*, s/f

1.18 Instituto Nacional de Vías, *“Normas de ensayo de materiales para carreteras”*, Consorcio Normas 2012, Bogotá D.C., 2013

CAPÍTULO 2

Institucionalidad para el Mantenimiento de la Red Vial Nacional no Concesionada

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-----------|--|-----------------------|
| 2. | <u>CAPÍTULO 2 INSTITUCIONALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA</u> | <u>V1-C2 7</u> |
| 2.1. | MARCO DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO VIAL | V1-C2 7 |
| 2.2. | MISIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS | V1-C2 7 |
| 2.3. | ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL | V1-C2 7 |
| 2.4. | RED VIAL COLOMBIANA | V1-C2 14 |
| 2.5. | ESTADO DE LA RED VIAL A CARGO DEL INVÍAS | V1-C2 15 |
| 2.6. | DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN LAS CARRETERAS NACIONALES | V1-C2 16 |
| 2.7. | CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL | V1-C2 17 |
| 2.8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C2 19 |

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------------|
| <i>Figura 2-1. Transferencia de la red primaria (2.2)</i> | <i>V1-C2 10</i> |
| <i>Figura 2-2 Estructura orgánica del Instituto Nacional de Vías</i> | <i>V1-C2 12</i> |
| <i>Figura 2-3 Evolución de red de carreteras de Colombia (2.2)</i> | <i>V1-C2 15</i> |
| <i>Figura 2-4 Estado de las redes pavimentada y no pavimentada a cargo del INVÍAS en 2014</i> | <i>V1-C2 16</i> |
| <i>Figura 2-5 Distribución del tránsito en la red primaria colombiana (2.5)</i> | <i>V1-C2 17</i> |

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Infraestructura carretera de Colombia (2.2) _____ *V1-C2 15*

Página en blanco

CAPÍTULO 2. INSTITUCIONALIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA

2.1. MARCO DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO VIAL

El marco general de la política de mantenimiento de las carreteras nacionales no concesionadas se desprende de las definiciones institucionales respecto de la misión del Instituto Nacional de Vías y sus objetivos estratégicos, en los cuales se enfatiza la necesidad de proveer y mantener servicios de infraestructura vial orientados a satisfacer las necesidades de los usuarios con estándares adecuados y realizando una conservación oportuna.

2.2. MISIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

La misión del Instituto es *“ejecutar políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de infraestructura de la red vial carretera, férrea, fluvial y marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el gobierno nacional”*.

2.3. ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL

En el instante de su nacimiento, el 1 de enero de 1994, el Instituto Nacional de Vías solamente tenía bajo su jurisdicción la infraestructura vial a cargo de la Nación en lo referente a carreteras, infraestructura que se encontraba definida en el Artículo 12 de la ley 105 de 1993, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Las carreteras cuyos volúmenes de tránsito sean superiores a aquellas que sirven hasta un 80 % del total de la red vial de carreteras
- Las carreteras con dirección predominante sur - norte, denominadas troncales, que inician su recorrido en las fronteras internacionales y terminan en los puertos del Atlántico o en fronteras internacionales
- Las carreteras que unen las troncales anteriores entre sí, denominadas transversales, cuyo volumen de tránsito esté justificado, según el contenido del primer literal, que comuniquen con los países limítrofes o con los puertos de comercio internacional

- Las carreteras que unen las capitales de Departamento con la red conformada con los anteriores criterios, de acuerdo con su factibilidad técnica y económica; esta conexión puede ser de carácter intermodal
- Las vías para cuya constitución se ha comprometido el gobierno nacional con gobiernos extranjeros mediante convenios o pactos internacionales

Atendiendo estos principios y previendo que se debían transferir a los Departamentos las carreteras heredadas del Ministerio de Obras Públicas y Transporte que no cumplieran estos requisitos, se esperaba que la red vial nacional a cargo del Instituto, incluyendo algunos proyectos por construir, tuviera una longitud de 12.400 km (2.1).

En aquel instante, el Instituto tenía la estructura interna definida en el Acuerdo 001 de su Junta Directiva, del 20 de diciembre de 1993, aprobado a través del decreto 2663 del mismo año. La parte técnica de la nueva entidad estaba a cargo de la Secretaría General Técnica, bajo cuya tutela quedaron dos oficinas y cinco subdirecciones, de las cuales la Subdirección de Ingeniería fue encargada de los aspectos referentes al manejo de los proyectos de construcción y conservación de la red nacional de carreteras.

La emergencia nacional ocurrida con motivo del terremoto de Páez el 6 de junio de 1994, dio lugar a la declaración del estado de emergencia por razones de grave calamidad pública y al esfuerzo conjunto de todas las entidades del Estado, entre ellas el Instituto Nacional de Vías, para conjurar la crisis y restablecer el orden económico, social y ecológico del país. Esta situación, junto con otras detectadas durante el primer año de vida del Instituto, en particular el hecho de que el estructura original de la entidad daba más énfasis a los procesos de soporte a la gestión que a la focalización de la labor institucional en los principales productos relacionados con la red carretera, advirtiéndose en especial la falta de una unidad responsable de su mantenimiento con procesos gerenciales bien definidos, motivaron una temprana reestructuración de la entidad y la creación de una nueva estructura orgánica, cambios adoptados mediante el decreto 288 del 8 de febrero de 1995. En lo relacionado con la Secretaría General Técnica, el hecho de mayor trascendencia para la atención de la red de carreteras lo constituyó la supresión de las Subdirecciones de Contratación e Ingeniería y la creación de las Subdirecciones de Construcción y Conservación.

En febrero de 1995, el Instituto Nacional de Vías lanzó un plan para la conservación del patrimonio vial colombiano, llamado PROVIAL, bajo el concepto de que la red nacional de carreteras era una infraestructura de servicio social y que su mantenimiento debía ser una labor integral preventiva. En ese orden de ideas, el plan pretendía resolver en forma definitiva el problema del deterioro de la red vial nacional y adecuarla para satisfacer plenamente las necesidades de transporte terrestre del país. Sin embargo, las circunstancias que rodearon el funcionamiento del gobierno nacional y, consecuentemente, el desempeño de la entidad en los años siguientes, impidieron alcanzar los resultados previstos para el final del bienio siguiente.

La afortunada participación del Instituto en la solución de los problemas derivados de la emergencia de Páez tuvo su colofón con la ley 218 del 17 de noviembre de 1995, cuyo Artículo 13 estableció que *“Las carreteras, de diferentes categorías, afectadas por la catástrofe del Páez, en las que el Instituto Nacional de Vías haya invertido, invierta o proyecte invertir, tanto en su construcción, reconstrucción, conservación, mejoramiento, rehabilitación, atención de emergencias y demás obras que requiera la infraestructura vial, quedarán nacionalizadas”*. Esta fue la primera de una serie de leyes y decretos posteriores que han modificado la longitud de la red vial nacional, así como el objeto, la planta y las funciones del Instituto, al punto de que en 2001 la red a cargo del Instituto se había aumentado en más de 4000 km y un par de años más tarde se incrementó de manera sustancial al serle asignada la competencia sobre la red terciaria.

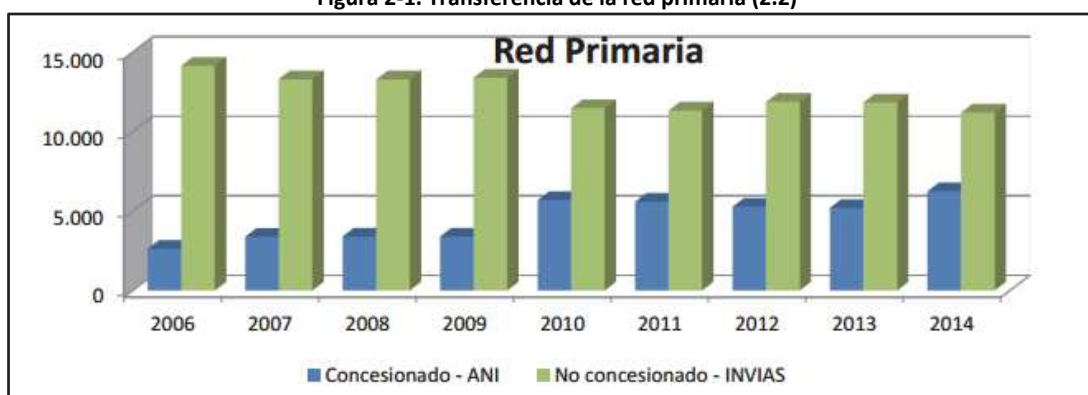
El decreto 1735 del 28 de agosto de 2001 fijó la Red Nacional de Carreteras construida a cargo del Instituto Nacional de Vías en 16.575,1 km. de los cuales 11.650,4 km correspondían a carreteras pavimentadas y 4.924,70 km a carreteras en afirmado.

El decreto 2056 de 2003 le fijó como objeto al Instituto Nacional de Vías la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la red vial nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Ministerio de Transporte. Este objeto se ha mantenido, pues coincide con el establecido en los decretos 2618 de 2013 y 1944 de 2015, últimos modificatorios de la estructura del Instituto hasta el instante de la redacción de este Manual.

Cabe anotar que el decreto 1800 de 2003, por medio del cual se creó el Instituto Nacional de Concesiones – INCO, fijó como objeto de esta nueva entidad *“planear, estructurar, contratar, ejecutar y administrar los negocios de infraestructura de transporte que se desarrollen con participación del capital privado y en especial las concesiones, en los modos carretero, fluvial, marítimo, férreo y portuario”*. En ese orden de ideas, estableció que la infraestructura de transporte a cargo de la Nación o de sus entidades descentralizadas por servicios que debía ser administrada por el INCO era aquella en la cual existiera o se realizara la vinculación de capital privado, incluido el traslado o la transferencia de riesgos, para todas o alguna de las actividades de construcción, rehabilitación, mantenimiento, operación y administración de la misma y de los servicios conexos o relacionados con ella. Así mismo, ordenó al Instituto Nacional de Vías transferir al INCO, mediante acto administrativo, todos los tramos de carreteras en los que estuviera vigente o se fuera a aplicar esta condición. Debido a ello y al énfasis puesto por los últimos gobiernos en los proyectos de concesión vial, el Invías ha venido transfiriendo desde aquel instante las carreteras de mayor tránsito de la red primaria nacional (Figura 2-1).

El decreto 4165 de 2011 cambió la naturaleza jurídica del Instituto Nacional de Concesiones – INCO, de establecimiento público a Agencia Nacional Estatal de Naturaleza Especial, del sector descentralizado de la rama ejecutiva del orden nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, financiera y técnica, denominada Agencia Nacional de Infraestructura – ANI, adscrita al Ministerio de Transporte, cuyo objeto es planear, coordinar, estructurar, contratar, ejecutar, administrar y evaluar proyectos de concesiones y otras formas de asociación público privada –APP, para el diseño, construcción, mantenimiento, operación, administración y/o explotación de la infraestructura pública de transporte en todos sus modos y de los servicios conexos o relacionados y el desarrollo de proyectos de asociación público privada para otro tipo infraestructura pública cuando así lo determine expresamente el gobierno nacional.

Figura 2-1. Transferencia de la red primaria (2.2)



El decreto 2618 de 2013, asigna al Instituto Nacional de Vías las siguientes funciones:

- Ejecutar la política del Gobierno Nacional en relación con la infraestructura de su competencia, de conformidad con los lineamientos establecidos por el Ministerio de Transporte
- Elaborar conjuntamente con el Ministerio de Transporte los planes, programas y proyectos tendientes a la construcción, reconstrucción, mejoramiento, rehabilitación, conservación, atención de emergencias, y demás obras que requiera la infraestructura de su competencia
- Coordinar con el Ministerio de Transporte la ejecución de los planes y programas de su competencia
- Adelantar investigaciones, estudios, y supervisar la ejecución de las obras de su competencia conforme a los planes y prioridades nacionales
- Asesorar y prestar apoyo técnico a las entidades territoriales o a sus organismos descentralizados encargados de la construcción, mantenimiento y atención de emergencias en las infraestructuras a su cargo, cuando ellas lo soliciten

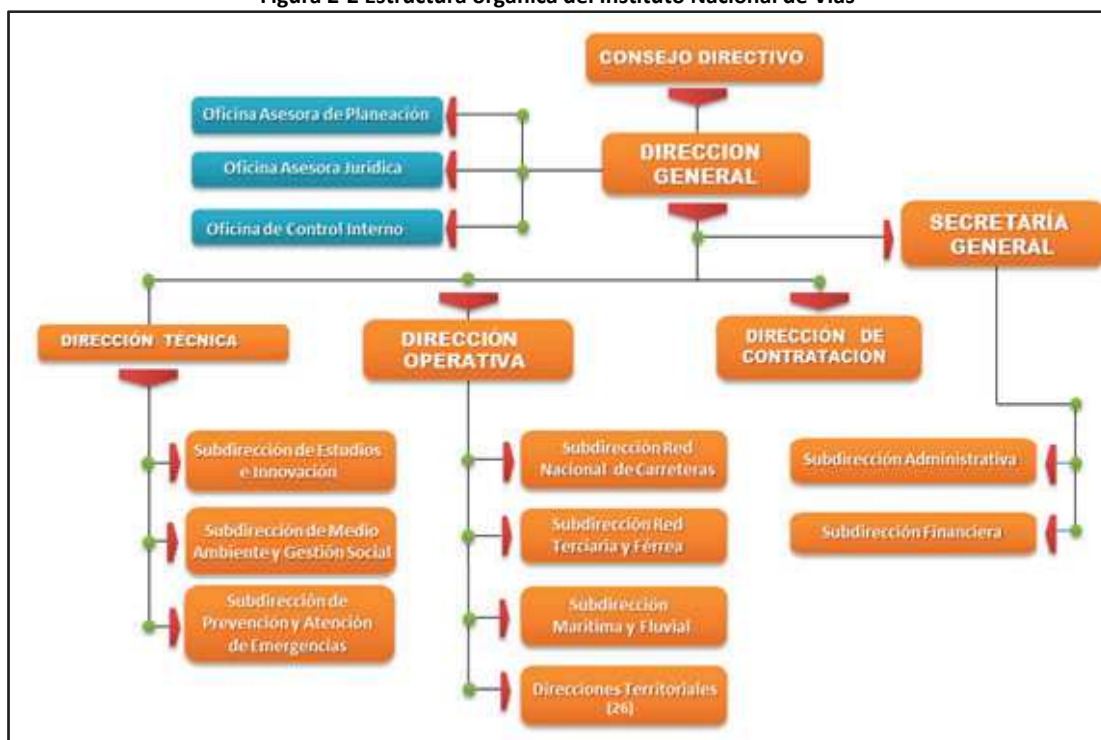
- Recaudar los peajes y demás cobros sobre el uso de la infraestructura vial de su competencia
- Celebrar todo tipo de negocios, contratos y convenios que se requieran para el cumplimiento de su objetivo
- Elaborar, conforme a los planes del sector, la programación de compra de terrenos y adquirir los que se consideren prioritarios para el cumplimiento de sus objetivos
- Adelantar, directamente o mediante contratación, los estudios pertinentes para determinar los proyectos que causen la contribución nacional por valorización en relación con la infraestructura de su competencia, revisarlos y emitir concepto para su presentación al Ministro de Transporte, de conformidad con la ley
- Dirigir y supervisar la elaboración de los proyectos para el análisis, liquidación, distribución y cobro de la contribución nacional de valorización, causada por la construcción y mejoramiento de la infraestructura de transporte de su competencia
- Prestar asesoría en materia de valorización, a los entes territoriales y entidades del Estado que lo requieran
- Proponer los cambios que considere convenientes para mejorar la gestión administrativa
- Definir las características técnicas de la demarcación y señalización de la infraestructura de transporte de su competencia, así como las normas que deberán aplicarse para su uso
- Ejecutar los planes, programas y proyectos relacionados con el desarrollo de la infraestructura a su cargo
- Controlar y evaluar la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos relacionados con el desarrollo de la infraestructura a su cargo
- Definir la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo
- Coordinar con la Agencia Nacional de Infraestructura, la entrega, mediante acto administrativo, de la infraestructura de transporte, en desarrollo de los contratos de concesión

Para el cumplimiento de estas funciones, se le dio al Instituto una nueva estructura orgánica (Figura 2-2). Dentro de la Dirección Operativa, las Subdirecciones de la Red Nacional de

Carreteras y de la Red Terciaria y Férrea, son los entes especializados en temas relacionados con el mantenimiento de las carreteras nacionales no concesionadas. El decreto 2618 de 2013 asigna a la Subdirección de la Red Nacional de Carreteras la función de “Administrar integralmente los procesos de construcción, conservación, rehabilitación, operación, señalización y de seguridad de la infraestructura vial primaria y secundaria no concesionada”, mientras que a la de la Red Terciaria y Férrea se le estipula la de “Administrar los procesos de construcción, conservación, rehabilitación de la infraestructura de la red terciaria y férrea no concesionada a cargo del Instituto”.

El decreto 2618 del 20 de noviembre de 2013 presenta una aparente discordancia entre el objeto del Instituto y una de las funciones de la Subdirección de la Red Nacional de Carreteras, pues mientras su Artículo 1 establece que el objeto de la entidad es “la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima” (no se menciona la red secundaria de carreteras), el segundo inciso del Artículo 16 fija como función de la Subdirección de la Red Nacional de Carreteras “Administrar integralmente los procesos de construcción, conservación, rehabilitación, operación, señalización y de seguridad de la infraestructura vial primaria y secundaria no concesionada” (Subrayado fuera de texto).

Figura 2-2 Estructura orgánica del Instituto Nacional de Vías



Fuente: invias.gov.co

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Instituto (2.3) presenta las siguientes definiciones de las carreteras nacionales de acuerdo con su necesidad operacional o los intereses de la nación en sus diferentes niveles:

Primarias: Son las troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Las carreteras consideradas como primarias deben funcionar pavimentadas.

Secundarias: Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera primaria. Las carreteras consideradas como secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

Terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías secundarias.

La ley 1228 de 2008 estableció que *“las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional se denominan arteriales o de primer orden, intermunicipales o de segundo orden y veredales o de tercer orden. Estas categorías podrán corresponder a carreteras a cargo de la Nación, los departamentos, los distritos especiales y los municipios. El Ministerio de Transporte será la autoridad que, mediante criterios técnicos, determine a qué categoría pertenecen”*.

En aplicación de esta ley, la resolución 1240 del 25 de abril de 2013 del Ministerio de Transporte adoptó en su artículo primero los siguientes criterios técnicos para categorizar las vías que conforman el sistema nacional de carreteras o red vial nacional denominadas arteriales o de primer orden, intermunicipales o de segundo orden y veredales o de tercer orden:

- a) Funcionalidad de la vía
- b) Tránsito promedio diario
- c) Diseño y/o características geométricas de la vía
- d) Población

De acuerdo con estos criterios, las definió de la siguiente manera:

“Vías de primer orden: Serán vías de primer orden aquellas que cumplan con la función de integrar las principales zonas de producción y consumo del país, y de este con los demás países, que comuniquen con los puertos y aeropuertos de nivel nacional e internacional y que su construcción y/o mejoramiento se haya realizado por compromiso del Gobierno a través de convenios o pactos internacionales, el volumen de tránsito sea igual o superior a 700 vehículos diarios, estén construidas en doble calzada o calzada sencilla, esta última mayor o igual a 7:30 m de ancho. La población corresponderá a la de ciudades capitales de departamento o de poblaciones fronterizas y/o puertos y las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras primarias del Manual de Diseño Geométrico de 2008 de Invías o el que se encuentre vigente.

Vías de segundo orden: Serán vías de segundo orden aquellas cuya función permita la comunicación

entre dos o más municipios o con una vía de primer orden, su volumen de tránsito sea igual o superior a 150 vehículos por día y menor de 700 vehículos por día, que estén construidas en calzada sencilla cuyo ancho sea menor de 7.30 m y la población servida en cabecera municipal corresponda a una cantidad superior a 15,000 habitantes. Las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras secundarias del Manual de Diseño Geométrico de 2008 de Invías o el que se encuentre vigente.

Vías de tercer orden: Serán vías de tercer orden y de carácter nacional aquellas cuya función es permitir la comunicación entre dos o más veredas de un municipio o con una vía de segundo orden, su volumen de tránsito sea inferior a 150 vehículos por día, cuando las mismas estén construidas en calzada sencilla con ancho menor o igual a seis metros y la población servida en cabecera municipal sea inferior a 15,000 habitantes. Las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras terciarias del Manual de Diseño Geométrico de 2008 de Invías o el que se encuentre vigente”.

El artículo segundo de la misma resolución establece que se debe adoptar una matriz y una guía metodológica, adjuntas a la resolución, para clasificar cada vía en primer (primaria), segundo (secundaria) o tercer orden (terciaria), de acuerdo con los criterios mencionados.

2.4. RED VIAL COLOMBIANA

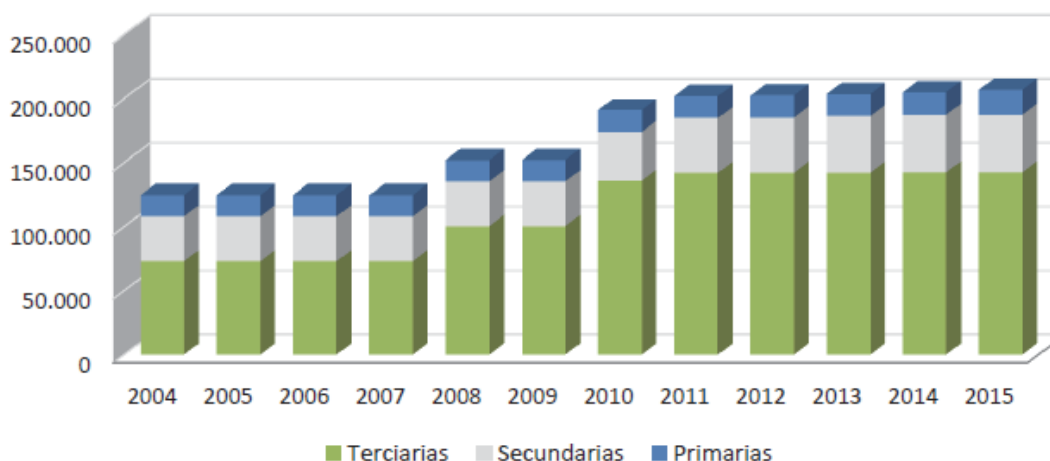
Como consecuencia del proceso descentralización del país, la atención de la red primaria está a cargo de la Nación, el desarrollo de la red secundaria está a cargo de los departamentos y la red terciaria al amparo de los municipios. Sin embargo, la ausencia de recursos locales y de capacidades para el mantenimiento de la red carretera, hace que una parte importante de la red terciaria sea atendida por el Invías (Tabla 2-1).

En 2015, la red de carreteras del país estaba conformada por 206.727 km (Tabla 2-1 y Figura 2-3), de los cuales 19.306 km corresponden a la red primaria (8917 km a cargo del Instituto Nacional de Vías y 10.389 km a cargo de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) ex Instituto Nacional de Concesiones (INCO); 45.137 km conforman la red secundaria a cargo de los departamentos, y 142.284 km corresponden a la red terciaria (de esta última, 19.4 % a cargo del Invías, 9.8 % a cargo de los departamentos y 70.8 % bajo la tutela de los municipios).

Tabla 2-1. Infraestructura carretera de Colombia (2.2)

| AÑO | PRIMARIAS | | | SECUNDARIAS | TERCIARIAS | | | | TOTAL RED VIAL NACIONAL | PUENTES (unidad) Red Nacional y Red Terciaria – INVÍAS |
|------|----------------------|--------------------------|----------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------|-------------------------|--|
| | A cargo de la Nación | | Subtotal | | A cargo de la Nación – INVÍAS | A cargo de los departamentos * | A cargo de los municipios* | Subtotal | | |
| | Concesionario - ANI | No concesionado - INVÍAS | | | | | | | | |
| 2002 | 0 | 16.531 | 16.531 | 27.918 | 240 | ND | 72.561 | 72.801 | 117.250 | 2.296 |
| 2003 | 0 | 16.528 | 16.528 | 34.918 | 240 | ND | 65.653 | 65.893 | 117.339 | 2.296 |
| 2004 | 0 | 16.677 | 16.677 | 34.918 | 145 | ND | 72.761 | 72.906 | 124.501 | 2.296 |
| 2005 | 0 | 16.750 | 16.750 | 34.918 | 145 | ND | 72.761 | 72.906 | 124.574 | 2.296 |
| 2006 | 2.628 | 14.143 | 16.771 | 34.918 | 145 | ND | 72.761 | 72.906 | 124.595 | 2.296 |
| 2007 | 3.380 | 13.296 | 16.676 | 34.918 | 145 | ND | 72.761 | 72.906 | 124.500 | 2.361 |
| 2008 | 3.400 | 13.276 | 16.676 | 34.918 | 27.577 | ND | 72.761 | 100.338 | 151.932 | 2.534 |
| 2009 | 3.400 | 13.386 | 16.786 | 34.918 | 27.577 | ND | 72.761 | 100.338 | 117.234 | 2.534 |
| 2010 | 5.680 | 11.463 | 17.143 | 38.315 | 27.577 | 21.469 | 86.633 | 135.679 | 191.137 | 2.314 |
| 2011 | 5.578 | 11.320 | 16.898 | 42.954 | 27.577 | 13.959 | 100.409 | 141.945 | 201.797 | 3.947 |
| 2012 | 5.262 | 11.856 | 17.118 | 43.327 | 27.577 | 13.959 | 100.409 | 141.945 | 202.390 | 3.947 |
| 2013 | 5.202 | 11.835 | 17.037 | 44.399 | 27.577 | 13.959 | 100.419 | 141.955 | 203.392 | 3.947 |
| 2014 | 6.240 | 11.194 | 17.434 | 45.137 | 27.577 | 13.959 | 100.748 | 142.284 | 204.855 | 3.947 |
| 2015 | 10.389 | 8.917 | 19.306 | 45.137 | 27.577 | 13.959 | 100.748 | 142.284 | 206.727 | 5.097** |

Figura 2-3 Evolución de red de carreteras de Colombia (2.2)



2.5. ESTADO DE LA RED VIAL A CARGO DEL INVÍAS

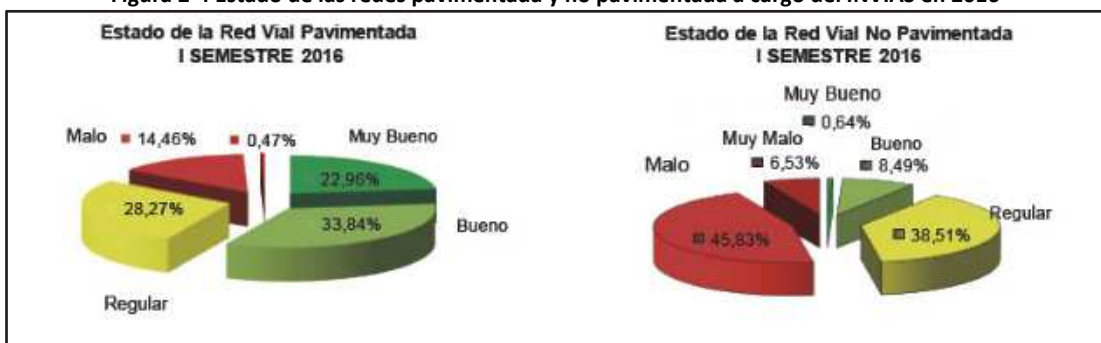
La abrupta topografía andina y los patrones de poblamiento del territorio colombiano han dificultado el desarrollo de vías amplias, siendo frecuente la ausencia o la estrechez de bermas a lo largo de las carreteras, a la vez que la inclinación de las pendientes y las curvas cerradas limitan frecuentemente la velocidad de circulación. Del total de la red secundaria, solo el 22% se encuentra en terreno plano, mientras que el resto transcurre por terrenos ondulados y montañosos, muchos de ellos expuestos a eventos climáticos extremos que generan erosión y deslizamientos frecuentes, afectando adversamente la calidad del servicio. En 2014, el 76 % de la red primaria a cargo del Instituto se encontraba

pavimentada, mientras que en la red secundaria esta cifra era del 26% y para la red terciaria no se cuenta con información precisa sobre los kilómetros pavimentados.

La parte izquierda de la Figura 2-4 muestra el estado que presentaba la red pavimentada a partir de 6387 km pavimentados que fueron relevados por el Instituto en el primer semestre de 2016 (2.2). De acuerdo con estos datos, se aprecia que 43.2 % se encontraba en estado que oscilaba entre regular y muy malo. La información de la parte derecha de la figura, correspondiente a 2403 km de la red primaria no pavimentada, indica que sólo el 9 % de ellos se encontraba en buen o muy buen estado, mientras el 91 % correspondió a estados desde regular hasta muy malo. Estos índices se encuentran muy alejados de los más pesimistas que se fijaron durante el lanzamiento del PROVIAL hace dos décadas y que el Instituto deseaba lograr en solamente un par de años (2.4).

Aunque no se cuenta con cifras exactas sobre el estado de la red vial concesionada, prácticamente la totalidad de las carreteras a cargo de la ANI se encuentran pavimentadas y se considera que su estado es cuando menos bueno, dados los estándares que deben cumplir permanentemente las carreteras en concesión.

Figura 2-4 Estado de las redes pavimentada y no pavimentada a cargo del INVÍAS en 2016

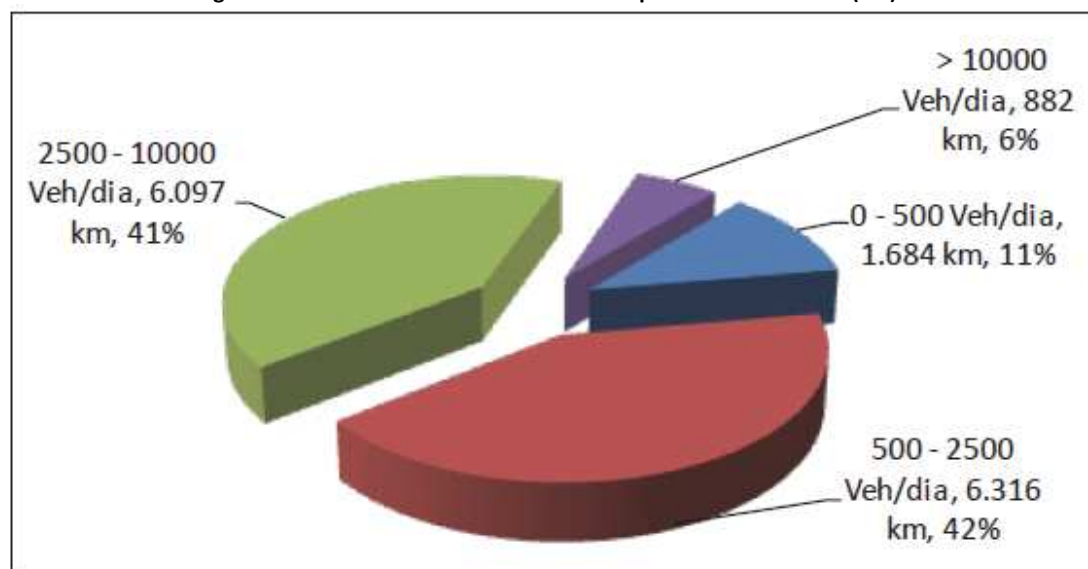


Fuente <http://www.invias.gov.co/index.php/red-vial-nacional/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>

2.6. DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN LAS CARRETERAS NACIONALES

De acuerdo con los datos referentes al año 2011, el grueso del tránsito en las carreteras colombianas (83 %) correspondía a los rangos comprendidos entre 500 y 2500 y entre 2500 y 10.000 vehículos diarios (Figura 2-5), mientras que en los primeros años de vida del Instituto, solamente el 66 % de la longitud de la red a su cargo se encontraba en estos rangos, proporción que en 2005 había aumentado hasta 72 % (2.2). En la actualidad, la totalidad de las carreteras con volúmenes superiores a 10.000 vehículos/día y una buena parte de las del rango comprendido entre 2500 y 10.000 se encuentran en concesión bajo la jurisdicción de la ANI.

Figura 2-5 Distribución del tránsito en la red primaria colombiana (2.5)



2.7. CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL

Con el fin de ordenar y organizar la gestión del mantenimiento, es necesario definir tareas destinadas a resolver o prevenir los problemas de deterioro de la infraestructura de carreteras. Cada una de ellas tiene un carácter específico y es fácilmente individualizable; se la considera como una unidad básica y se llama operación o actividad de mantenimiento o de conservación. El mantenimiento adecuado y oportuno de una carretera exige, en consecuencia, la ejecución de un conjunto de operaciones durante su periodo de servicio. Existen varias maneras de ordenar y facilitar la programación y la periodicidad de su ejecución. Para los propósitos de este manual, el mantenimiento se clasifica en función de las características del trabajo y de la periodicidad con que se requiere ejecutarlo. Desde este punto de vista, las operaciones de mantenimiento se dividen en rutinarias, periódicas y de urgencia. (2.6).

El *mantenimiento rutinario* comprende actividades que se deben realizar una o más veces por año en una sección de carretera. Tiene como objetivo principal la preservación de todos los elementos de ella con la mínima cantidad de alteraciones o de daños, de manera que la infraestructura vial conserve técnicamente las mejores condiciones de funcionamiento. Las necesidades de estas actividades pueden ser, hasta cierto punto, estimadas y programadas. Este grupo comprende, entre otras, las operaciones de control de vegetación en el derecho de vía; despedrado manual de taludes; relleno de pequeñas erosiones en taludes; limpieza de calzada, bermas y separadores; limpieza de obras de drenaje, limpieza, reparación e instalación de señales y dispositivos de defensa; remoción de pequeños derrumbes, etc. En

las carreteras pavimentadas incluye operaciones de perfilado y nivelación de bermas en material granular; parcheo; bacheo y sello de fisuras, y en las no pavimentadas comprende principalmente el bacheo y el mantenimiento del perfil transversal de la calzada.

El *mantenimiento periódico* corresponde a intervenciones mediante las cuales se efectúan cambios parciales o ajustes que son necesarios realizar de manera cíclica, a diferentes intervalos, superiores a un año, con el fin de conservar la integridad estructural de los elementos de la carretera o prevenir daños mayores derivados del desgaste producido por los efectos ambientales y el tránsito automotor. Incluye operaciones mayores que requieren equipo y personal especializados, entre ellas la reconstrucción de cunetas y bajantes de agua; el control de erosión de taludes; reparaciones localizadas de puentes; riegos de sello, tratamientos superficiales, lechadas asfálticas, fresado y sobrecapas asfálticas delgadas que no incrementen significativamente la capacidad estructural de los pavimentos asfálticos; el cepillado superficial y el retexturizado de losas de concreto, la reposición del material sellante de juntas y reparaciones en espesor total de losas aisladas de pavimentos rígidos; también, el perfilado pesado y la reposición de grava en caminos no pavimentados. Las operaciones de mantenimiento periódico son más costosas que las de mantenimiento rutinario y exigen actividades específicas de identificación y programación para su ejecución. Algunas de ellas pueden requerir, inclusive, diseños de ingeniería. Mediante las operaciones de mantenimiento periódico no se busca directamente mejorar la condición estructural de los elementos viales, sino retardar su deterioro.

La *rehabilitación* comprende la reparación selectiva, los reciclados y la colocación de sobrecapas espesas en pavimentos o recargas de grava en afirmados con fines de incrementar la solidez estructural y la calidad de la calzada (2.7). En el caso de los puentes, lo que se busca con la rehabilitación es restaurar la integridad estructural y corregir los efectos principales que puedan generar problemas de seguridad (2.8). La rehabilitación y la reconstrucción de pavimentos y puentes, la construcción de bermas, la ampliación de carreteras y la reconstrucción y el mejoramiento de estándar de ellas no se consideran actividades de mantenimiento y, por lo tanto, exceden el alcance de este manual.

El *mantenimiento de urgencia*, llamado también atención de emergencias, comprende toda acción no prevista ni ponderable, debida a fuerzas de la naturaleza o acciones humanas impredecibles que obstaculicen la vía impidiendo el libre tránsito, tal el caso del colapso de estructuras para el paso de agua, los derrumbes y otras acciones que produzcan de manera súbita el cierre parcial o total de una carretera. Las actividades relacionadas con la atención de emergencias en las carreteras comprenden la remoción, transporte y disposición de los materiales provenientes de derrumbes, caída de rocas y de árboles y productos de avalanchas de ríos o quebradas que se encuentren parcial o totalmente sobre la banca de la carretera, así como la instalación o construcción de estructuras de paso provisional y la limpieza de los encoles, descoles y lechos de agua afectados por el evento. Su intención no es remediar las fallas estructurales, sino restablecer el flujo del tránsito en el menor tiempo posible, por lo que normalmente deben ir seguidas de intervenciones de rehabilitación o reconstrucción.

La ley 1682 del 22 de noviembre de 2013 adoptó la misma clasificación de las actividades de mantenimiento, bajo las siguientes definiciones:

“Mantenimiento rutinario: Se refiere a la conservación continua (a intervalos menores de un año) con el fin de mantener las condiciones óptimas para el tránsito y uso adecuado de la infraestructura de transporte”

“Mantenimiento periódico: Comprende la realización de actividades de conservación a intervalos variables, destinados primordialmente a recuperar los deterioros ocasionados por el uso o por fenómenos naturales o agentes externos”

“Mantenimiento de emergencia: Se refiere a las intervenciones en la infraestructura derivada de eventos que tengan como origen emergencias climáticas, telúricas, terrorismo, entre otros, que a la luz de la legislación vigente puedan considerarse eventos de fuerza mayor o caso fortuito”

2.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1 Departamento Nacional de Planeación, *“Proyecto de integración de la red nacional de transporte”*, Documento CONPES 2691, Santafé de Bogotá, febrero 26 de 1994

2.2 Ministerio de Transporte, *“Transporte en cifras. Estadísticas 2015”*, Oficina Asesora de Planeación, Bogotá D. C.

2.3 Instituto Nacional de Vías, *“Manual de diseño geométrico de carreteras”*, Bogotá D. C., 2008

2.4 Instituto Nacional de Vías, *“Plan para la conservación del patrimonio vial de Colombia. PROVIAL Colombia”*, Bogotá, febrero de 1995

2.5 Ministerio de Transporte, *“Transporte en cifras. Estadísticas 2012”*, Oficina Asesora de Planeación, Bogotá D.C., 2015

2.6 Sally Burningham, Natalya Stankevich, *“Por qué el mantenimiento vial es importante, y cómo hacerlo realidad”*, Banco Mundial, Washington D.C., Nota sobre el transporte TN-Texto provisional, junio de 2005

2.7 Banco Mundial, *“El deterioro de los caminos en los países en desarrollo. Causas y soluciones”*, Washington D. C., 1988

2.8 Federal Highway Administration, *“Bridge preservation guide”*, FHWA Publication Number: FHWA-HIF-11042, August 2011

Página en Blanco

CAPÍTULO 3

Modalidades para la Ejecución del Mantenimiento de la Red Vial Nacional

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-----------|---|----------------|
| 3. | <u>CAPÍTULO 3. MODALIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL</u> | V1-C3 5 |
| 3.1. | ADMINISTRADORES DEL MANTENIMIENTO VIAL (AMV) | V1-C3 6 |
| 3.2. | MANTENIMIENTO RUTINARIO CON MICROEMPRESAS | V1-C3 7 |
| 3.3. | MANTENIMIENTO PERIÓDICO POR PRECIOS UNITARIOS | V1-C3 7 |
| 3.4. | MANTENIMIENTO INTEGRAL | V1-C3 8 |
| 3.5. | MANTENIMIENTO POR INDICADORES DE ESTADO | V1-C3 8 |
| 3.6. | CONCESIÓN VIAL | V1-C3 8 |
| 3.7. | EXPERIENCIA CON LAS DIFERENTES MODALIDADES DE CONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO | V1-C3 9 |
| 3.8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C3 13 |

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Modalidades de contrato empleadas para el mantenimiento de la red vial nacional _____ **V1-C3 5**

Tabla 3-2 Balance de las diferentes modalidades de contratación del mantenimiento vial durante los primeros años del Instituto Nacional de Vías _____ **V1-C3 9**

Página en blanco

CAPÍTULO 3. MODALIDADES PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL NACIONAL

Las modalidades de mantenimiento se refieren a la manera como el Instituto Nacional de Vías enfrenta la conservación de la red de carreteras a su cargo. Durante su período de funcionamiento, el Instituto ha utilizado varias formas de contratación del mantenimiento vial, entre las que se pueden mencionar:

- Administradores del mantenimiento vial (AMV)
- Mantenimiento rutinario con microempresas asociativas
- Mantenimiento periódico por precios unitarios
- Mantenimiento integral
- Mantenimiento por indicadores de estado
- Concesión

Los alcances generales de cada una de ellas se resumen en la Tabla 3-1 y sus características generales se describen a continuación.

Tabla 3-1 Modalidades de contrato empleadas para el mantenimiento de la red vial nacional

| Modalidad | Objeto del contrato |
|---|--|
| Administración del mantenimiento vial | Administrar en forma permanente, durante un lapso determinado, un sector de carretera, adelantando gestiones y acciones para la correcta conservación del mismo (no incluye la ejecución de obras), a cambio de una remuneración mensual |
| Mantenimiento rutinario con microempresas | Suministro de mano de obra y herramienta menor para ejecutar actividades de mantenimiento rutinario en un sector de carretera, durante un período fijo, a cambio de una determinada remuneración por kilómetro atendido |
| Mantenimiento periódico por precios unitarios | Ejecución de trabajos de mantenimiento periódico en un sector de carretera, a precios unitarios, en la cantidad y plazo definidos en el contrato |
| Mantenimiento integral | Ejecución de obras de mantenimiento periódico y atención de emergencias, pagadas por precio unitario. Actividades de administración y de mantenimiento rutinario que se pagan por cuotas mensuales fijas durante el desarrollo del contrato |
| Mantenimiento por indicadores de estado | Atención completa de la conservación de un sector de carretera para que siempre permanezca dentro de rangos de estado preestablecidos para cada uno de los elementos que componen el sector, a cambio de un determinado precio mensual |
| Concesión vial | Contrato a largo término entre el Estado y un concesionario que asume la responsabilidad del financiamiento, construcción y mantenimiento de una carretera y su operación por peaje, a través del cual recupera parcial o totalmente la deuda y el capital de riesgo invertido en el proyecto. |

Durante la existencia del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (antes Ministerio de Obras Públicas), las actividades relacionadas con el mantenimiento de la red vial nacional las adelantaba directamente el Ministerio a través de Distritos de Obras Públicas que empleaban recursos propios de personal, materiales y maquinaria. Los Distritos realizaban, principalmente, operaciones de mantenimiento rutinario, aunque también eran frecuentes los trabajos de mantenimiento periódico y la construcción algunas obras menores de drenaje y contención, a la vez que atendían las emergencias en las carreteras bajo su jurisdicción.

El decreto 2171 de 1992, por medio del cual se reestructuró el Ministerio de Obras Públicas y Transporte como Ministerio de Transporte y se suprimieron, fusionaron y reestructuraron entidades de la rama ejecutiva del orden nacional, y se reestructuró también el Fondo Vial Nacional como Instituto Nacional de Vías, estableció en su Artículo 65, *“Ejecución de obras de la infraestructura de transporte”*, que la construcción y la conservación de la infraestructura de transporte no podrían ser ejecutadas en forma directa por el Instituto y que, en consecuencia, en todos los casos debería contratar la construcción y la conservación de la infraestructura de transporte de su competencia. Por este motivo, la administración directa no se ha empleado para el mantenimiento de la red vial nacional desde el 1 de enero de 1994.

3.1. ADMINISTRADORES DEL MANTENIMIENTO VIAL (AMV)

Las administraciones de mantenimiento vial son pequeñas empresas constituidas por profesionales de la ingeniería civil o de vías y transportes, calificados para ejercer funciones de administración, gestión y planeación operativa y técnica, quienes son responsables de la dirección, coordinación, y control de las actividades rutinarias y periódicas y demás acciones en favor de la adecuada y oportuna conservación de las carreteras a cargo del Instituto Nacional de Vías. Cada administrador atiende uno o más sectores de carretera, de longitud establecida en los documentos contractuales, en los cuales debe adelantar actividades que el Instituto divide en permanentes y específicas.

Entre las primeras se encuentran planear, organizar, dirigir, coordinar, evaluar y ejercer la interventoría de las actividades de mantenimiento rutinario de las carreteras a su cargo; capacitar a los trabajadores encargados del mantenimiento rutinario en los temas relacionados con su actividad; alertar oportunamente al Instituto sobre la necesidad de diseñar y construir obras especiales para la mitigación de la inestabilidad en sitios críticos, así como la necesidad de diseñar y construir obras de mantenimiento, mejoramiento o recuperación; prestar apoyo inmediato a la atención de emergencias viales; actualizar los costos de mantenimiento vial y suministrar la información requerida para los sistemas de administración de carreteras que utiliza el Instituto; proporcionar información para el cálculo del patrimonio de las vías; inspeccionar de manera rutinaria los puentes y dirigir y verificar su mantenimiento rutinario y periódico; establecer el estado y las necesidades de las vías, puentes y túneles en materia de señalización vertical y horizontal; actualizar la información sobre accidentalidad; supervisar los conteos manuales de tránsito; apoyar la gestión de los contratos que se ejecuten en sectores de carreteras a su cargo; velar por el cumplimiento de la reglamentación referente al buen uso y defensa de las vías, y mantener

comunicación permanente con la comunidad y las autoridades locales en asuntos propios de su labor.

Entre las actividades específicas se encuentran la estimación de la vida residual de los pavimentos; efectuar la interventoría de contratos de obras menores; obtener y suministrar datos actualizados sobre el estado de las carreteras, y apoyar la actualización del mapa digital de la red vial.

3.2. MANTENIMIENTO RUTINARIO CON MICROEMPRESAS

Estos contratos se adelantan a través de grupos de no más de 12 miembros, que aportan mano de obra y herramienta menor para ejecutar, durante un plazo definido, las actividades básicas del mantenimiento rutinario de las vías, cumpliendo los indicadores establecidos por el Instituto, los cuales buscan mejorar el comportamiento estructural y funcional de las vías, atendiendo las estructuras y demás elementos que las constituyen.

Dentro de las actividades por realizar de manera permanente se encuentran las siguientes: parcheo y bacheo de la calzada; sello de grietas de superficies pavimentadas; limpieza de la corona y de obras superficiales de drenaje; desmonte y limpieza manual de la zona de derecho de vía; limpieza general de puentes y de cursos de agua; empradización; jardinería; poda de vegetación; limpieza de señales y dispositivos de defensa, así como la mano de obra para la instalación de estos elementos; pintura de postes; despeje de derrumbes de poco volumen y disponibilidad para participar en la atención de emergencias viales. Los pagos por los trabajos de mantenimiento se autorizan si la vía cumple en todo momento con los indicadores establecidos en el contrato, no siendo dependientes de los volúmenes de obra realizados en cada una de las actividades.

3.3. MANTENIMIENTO PERIÓDICO POR PRECIOS UNITARIOS

Es una de las modalidades más empleadas y se aplica en aquellos tramos de carretera que requieren trabajos de protección, refuerzo (y en algunas ocasiones rehabilitación) y que, debido a sus características técnicas o a restricciones presupuestales, no se pueden involucrar en programas de cobertura más amplia como el mantenimiento integral o la concesión.

El trabajo que se contrata comprende la ejecución, por precio unitario, de diferentes partidas de trabajo referentes al mantenimiento periódico, de acuerdo con las necesidades reportadas por los administradores de mantenimiento vial y las disponibilidades presupuestales. Las principales actividades cubiertas por estos contratos se refieren al refuerzo o renovación de la calzada, la construcción o reconstrucción de obras de drenaje y la provisión de dispositivos de señalización y control del tránsito automotor.

3.4. MANTENIMIENTO INTEGRAL

Este tipo de contrato combina acciones de mantenimiento periódico y rutinario con la prestación de servicios a los usuarios. Las obras de mantenimiento periódico, definidas mediante estudios previos, se pagan por precio unitario, mientras las de mantenimiento rutinario se reconocen por cuotas fijas mensuales durante el desarrollo del contrato, siempre y cuando la vía cumpla con los indicadores de estado señalados en los documentos del contrato.

Adicionalmente, el contratista está obligado a realizar labores de administrador del mantenimiento, las cuales también se pagan por cuotas fijas mensuales, y a prestar algunos servicios básicos a los usuarios, tales como ambulancia, grúa, servicio sanitario, telefax, etc., los cuales deben ser pagados por estos al contratista de mantenimiento integral.

3.5. MANTENIMIENTO POR INDICADORES DE ESTADO

Mediante este sistema de contrato, se busca que una carretera recién construida o rehabilitada conserve su elevado nivel de servicio gracias a la atención continua de un contratista cuya labor se comprueba a través de indicadores del estado de los diversos elementos del sector objeto del contrato. El contratista está obligado, igualmente, a realizar actividades de administrador de mantenimiento vial. Los servicios a los usuarios tienen las mismas características que en los contratos de mantenimiento integral. Por todas estas actividades, recibe una suma fija mensual durante el plazo del contrato.

La atención de emergencias está excluida de dicha remuneración y se reconoce por el sistema de precios unitarios.

3.6. CONCESIÓN VIAL

A través de este sistema, un contratista, denominado concesionario, financia total o parcialmente las obras de construcción rehabilitación o mantenimiento de una carretera, a la vez que ejecuta el diseño de ellas, acomete su construcción y mantenimiento, y opera el proyecto cobrando peajes a los usuarios y, eventualmente, recibiendo también aportes del fisco durante un plazo relativamente largo hasta que recupere la inversión. El concesionario está obligado a constituir un fideicomiso que se encarga de la captación y administración de los recursos monetarios del proyecto. Debido a la modalidad de pago, estos contratos sólo resultan atractivos en carreteras con elevados volúmenes de tránsito. En estos contratos, el mantenimiento es sólo una parte del alcance de los trabajos por realizar.

Los contratos de concesión de las carreteras nacionales dejaron de ser de responsabilidad del Instituto Nacional de Vías desde 2003, con motivo de la expedición del decreto 1800 del

26 de junio de ese año, mediante el cual se creó el Instituto Nacional de Concesiones (INCO).

3.7. EXPERIENCIA CON LAS DIFERENTES MODALIDADES DE CONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Sea cual fuere el mecanismo de contratación, el mantenimiento vial debe ser efectivo y eficiente. La efectividad se refiere al grado en el cual se alcanzan los objetivos, aspecto sobre el cual hace énfasis el usuario (superficie en buen estado, zonas laterales despejadas, comodidad y seguridad en la conducción, calidad de los servicios anexos, etc.), mientras que la eficiencia es una medida de la relación precio/comportamiento, es decir, la búsqueda de la mejor calidad por un determinado precio, asunto sobre el cual debe descansar el énfasis de la administración vial.

La Tabla 3-2 presenta algunos aspectos del balance realizado por el Invías, hace algunos años, en relación con las seis modalidades de contratación del mantenimiento mencionadas, desde el recién citado punto de vista de su eficiencia (3.1). Muchos de ellos conservan su validez.

Tabla 3-2 Balance de las diferentes modalidades de contratación del mantenimiento vial durante los primeros años del Instituto Nacional de Vías

| Modalidad | Fortalezas | Debilidades |
|---|---|--|
| Administración del mantenimiento vial | <ul style="list-style-type: none"> – Obtención y suministro de información permanente en relación con el estado de las vías y su operación – Comunicación permanente con las comunidades y las autoridades locales – Supervisión permanente de las microempresas y capacitación de sus componentes – Rápida colaboración en la atención de emergencias viales | <ul style="list-style-type: none"> – La supervisión técnica del contrato es escasa – La información presentada, aunque abundante, no siempre es digna de confianza – La administración central incurre en sobrecostos, pues algunas dependencias regionales tienen profesionales subutilizados – Hay tendencia de los administradores a sobrevalorar las necesidades de las vías, para librar su responsabilidad – El plazo de los contratos debería ser mayor para dar mayor continuidad a las actividades y disminuir la gestión administrativa en la entidad contratante |
| Mantenimiento rutinario con microempresas | <ul style="list-style-type: none"> – Atención permanente al mantenimiento rutinario de las vías y a la atención de emergencias – Contribución a la generación de empleo para mano de obra no calificada – Mejoramiento de la calidad de vida y | <ul style="list-style-type: none"> – La falta de mecanización hace ineficientes y costosas algunas tareas – A causa de la situación de orden público que vive el país, a veces se hace difícil imponer sanciones cuando se presentan |

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

| Modalidad | Fortalezas | Debilidades |
|---|---|---|
| | <p>de la autoestima de los microempresarios</p> <ul style="list-style-type: none"> – Contribución a la conformación de grupos cohesionados y de autogestión, con mentalidad microempresarial – Ejemplo para que los entes territoriales apliquen esta modalidad en otros campos de la actividad económica | <p>incumplimientos</p> |
| Mantenimiento periódico por precios unitarios | <ul style="list-style-type: none"> – Se pagan solamente las cantidades de obra realmente ejecutadas – Es posible verificar la calidad de los trabajos mediante procedimientos normalizados y medibles – Los precios unitarios son razonables, dado que las partidas de trabajo están bien definidas y la adjudicación del contrato se hace mediante licitación | <ul style="list-style-type: none"> – Debido a las deficiencias en los diseños que soportan las obras (los cuales son realizados generalmente por los administradores de mantenimiento vial) se requieren cambios frecuentes en las obras por ejecutar, lo que afecta los presupuestos y las metas físicas del contrato – Debido a restricciones presupuestales, las obras contratadas y ejecutadas no siempre satisfacen las necesidades reales de las carreteras – No se aseguran resultados en cuanto a estado de las carreteras, el cual depende de la calidad de las decisiones de las obras específicas a ser llevadas a cabo – Mejora los controles técnicos por parte de las interventorías – Debido a restricciones en la ley de presupuesto y en el suministro de los recursos aprobados, la contratación no se realiza con la oportunidad deseable |
| Mantenimiento integral | <ul style="list-style-type: none"> – Se garantiza el mejoramiento de una longitud considerable de carretera y su mantenimiento permanente durante un período plurianual – La mayor permanencia del contratista en la carretera permite continuidad en el trabajo, con la consiguiente estabilidad laboral y especialización en este tipo de trabajo – El Estado se libera de una gran carga laboral y de equipo necesario para el mantenimiento de las vías – Se obtiene tranquilidad presupuestal, al tener resuelta la financiación durante un período plurianual | <ul style="list-style-type: none"> – Si los estudios para la definición de las obras de mantenimiento periódico no son completos, se producen modificaciones que casi siempre incrementan los presupuestos o reducen las metas físicas de las obras – Incertidumbres en las ofertas, por el desconocimiento de los proponentes del ciclo de evolución del deterioro de las vías y la imposibilidad que tiene el contratista de impedir las sobrecargas vehiculares – Desconocimiento de los contratistas de las tareas |

| Modalidad | Fortalezas | Debilidades |
|---|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> – Se dispone de personal de empresa privada con rápida respuesta para atender los problemas que ocurran en la carretera – Se realizan simultáneamente actividades de administración de mantenimiento vial – Se mejoran las condiciones de transitabilidad y seguridad de las carreteras – Se brindan oportunos servicios de atención básica al usuario, casi siempre sin costo para éste – Se posibilita la innovación tecnológica – Los usuarios advierten diferencias favorables en relación con el mantenimiento tradicional | <p>requeridas para el mantenimiento, lo que hace que las ofertas económicas sean muy variables</p> <ul style="list-style-type: none"> – El plazo para los primeros contratos (2 años) fue muy reducido para consolidar el sistema y aprovechar sus beneficios. Es recomendable que el plazo mínimo sea de 4 años |
| Mantenimiento por indicadores de estado | <ul style="list-style-type: none"> – Se garantiza el mantenimiento permanente durante un período plurianual – La mayor permanencia del contratista en la carretera permite continuidad en el trabajo, con la consiguiente estabilidad laboral y especialización en este tipo de trabajo – El Estado se libera de una gran carga laboral y de equipo necesario para el mantenimiento de las vías – Se obtiene tranquilidad presupuestal, al tener resuelta la financiación durante un período plurianual – Se dispone de personal de empresa privada con rápida respuesta para atender los problemas que ocurran en la carretera – Se realizan simultáneamente actividades de administración de mantenimiento vial – Se mantienen las condiciones de transitabilidad y seguridad de las vías – Se brindan oportunos servicios de atención básica al usuario, casi siempre sin costo para éste – Se posibilita la innovación tecnológica – Se facilita la supervisión del contrato, pues se reducen los controles técnicos sin que ello implique desmejoramientos de calidad – Los usuarios advierten diferencias favorables respecto del mantenimiento tradicional | <ul style="list-style-type: none"> – El plazo para los primeros contratos (2 años) fue muy reducido para consolidar el sistema y aprovechar sus beneficios. Es recomendable que el plazo mínimo sea de 4 años – El sistema requiere que la vía objeto del contrato se encuentre en un elevado nivel de servicio en el momento de ser entregada al contratista. De lo contrario, el contrato deriva hacia la modalidad de mantenimiento integral, con la necesidad de pactar precios unitarios por obras de mantenimiento periódico o rehabilitación no previstas para poner las vías a punto, lo que produce efectos presupuestales adversos y limitaciones en las metas por alcanzar – Incertidumbres en las ofertas, por el desconocimiento de los proponentes del ciclo de evolución del deterioro de las vías y la imposibilidad que tiene el contratista de impedir las sobrecargas vehiculares – Desconocimiento inicial de los contratistas de las tareas requeridas para el mantenimiento, lo que hace que las ofertas económicas sean muy variables – Se traspasan algunos riesgos al contratista, especialmente en lo relacionado con la determinación |

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

| Modalidad | Fortalezas | Debilidades |
|---|---|---|
| | | de las acciones y los volúmenes de obra necesarios para alcanzar los estándares estipulados. Cualquier error al respecto afecta al contratista, pues los pagos son fijos |
| Concesión (balance hasta la creación del INCO) | <ul style="list-style-type: none"> – Obtención inmediata de recursos para la ejecución de las obras – Se materializan obras cuya ejecución no hubiese sido posible con el presupuesto oficial – Se garantiza el mantenimiento permanente durante un período plurianual – La mayor permanencia del contratista en la carretera permite continuidad en el trabajo, con la consiguiente estabilidad laboral y especialización en este tipo de trabajo – El Estado se libera de una gran carga laboral y de equipo necesario para el mantenimiento de las vías – Se dispone de personal de empresa privada con rápida respuesta para atender los problemas que ocurran en la carretera – Se realizan simultáneamente actividades de administración de mantenimiento vial – Se mantienen las condiciones de transitabilidad y seguridad de las vías – Se brindan oportunos servicios de atención básica al usuario, casi siempre sin costo para éste – Se posibilita la innovación tecnológica – Se facilita la supervisión del contrato, pues se reducen los controles técnicos durante el período de operación, sin que ello implique desmejoramientos de calidad – Los usuarios advierten diferencias favorables respecto del mantenimiento tradicional | <ul style="list-style-type: none"> – La asunción de riesgos técnicos y comerciales por parte del Estado tiene efectos muy negativos sobre las finanzas públicas – Los precios unitarios de las diversas actividades son muy superiores a los que se pagan por las mismas obras en los sistemas tradicionales de contratación – Incertidumbres en las ofertas, por el desconocimiento de los proponentes del ciclo de evolución del deterioro de las vías y la imposibilidad que tiene el contratista de impedir las sobrecargas vehiculares – Desconocimiento de los contratistas de las tareas requeridas para el mantenimiento, lo que hace que las ofertas económicas sean muy variables – La incertidumbre a mediano plazo ante las condiciones de inseguridad reinantes en el país aumenta el valor de las ofertas – Tendencia permanente de los concesionarios a descuidar el mantenimiento de la vía y centrar su atención en la ejecución de obras nuevas. – Desatención del mantenimiento de puentes y obras de arte – Los peajes son excesivos por la complejidad de las obras por ejecutar y los escasos volúmenes de tránsito en las vías nacionales – El usuario no obtiene ninguna compensación ante los incumplimientos del concesionario durante el desarrollo del contrato – Por las cuantías de las sumas en juego, los aspectos jurídicos y financieros se tornan más importantes que los técnicos y, además, hay riesgos de conflictos que, según la experiencia, resultan adversos para el Estado y, |

| Modalidad | Fortalezas | Debilidades |
|-----------|------------|--|
| | | consecuentemente, para todos los contribuyentes – El Instituto Nacional de Vías no posee visión estratégica a largo plazo y por ello en algunos casos se ha involucrado al Estado en compromisos insostenibles, a cambio de dividendos políticos inmediatos |

3.8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3.1 Fernando Sánchez Sabogal, *“Gestión de la conservación vial en Colombia”*, Instituto Nacional de Vías, 14 Congreso Mundial de la Carretera, International Road Federation, Paris, junio de 2001

Página en blanco

CAPÍTULO 4

Gestión del Mantenimiento Vial

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-----------|---|-----------------------|
| 4. | <u>CAPÍTULO 4 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO VIAL</u> | <u>V1-C4 7</u> |
| 4.1. | INTRODUCCIÓN | V1-C4 7 |
| 4.2. | HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL | V1-C4 10 |
| 4.3. | SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES | V1-C4 15 |
| 4.4. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C4 18 |

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--|--------------|-----------|
| <i>Figura 4-1 El deterioro de los caminos con el transcurso del tiempo (4.2)</i> | <i>V1-C4</i> | <i>8</i> |
| <i>Figura 4-2. Arquitectura del modelo HDM-4</i> | <i>V1-C4</i> | <i>12</i> |
| <i>Figura 4-3 Módulos del sistema de administración de puentes (SIPUCOL)</i> | <i>V1-C4</i> | <i>16</i> |

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Actividades de mantenimiento consideradas por el modelo _____ V1-C4 13

Página en blanco

CAPÍTULO 4. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO VIAL

4.1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de la política de mantenimiento vial obedece a la necesidad de contar con herramientas de gestión que permitan al Instituto cumplir su misión institucional y sus objetivos estratégicos. En lo particular, esta política apunta a enfrentar, con procedimientos más precisos, el desafío permanente de dirigir, planificar, supervisar y evaluar la conservación de la red vial a cargo de la entidad.

Gestión es, en términos generales, la determinación y la disposición, a mediano y largo plazo, de las acciones que se deben efectuar con el fin de alcanzar resultados preestablecidos en alguna actividad. En ese orden de ideas, en el campo del mantenimiento vial la gestión consiste en adoptar y llevar a cabo las decisiones y operaciones conducentes a mantener las vías siempre mejor o, como mínimo, igual que los límites admisibles de deterioro que se hayan fijado, límites que deben garantizar unas condiciones apropiadas de seguridad, comodidad y capacidad estructural, bajo las circunstancias ambientales del entorno, con el máximo beneficio social. La gestión de la red es la responsabilidad por excelencia de las agencias que administran las redes viales (4.1).

Para cumplir apropiadamente estos objetivos, el sistema de gestión utiliza información muy variada sobre los segmentos que constituyen la red vial, en especial en relación con los antecedentes de construcción (geometría, pavimentos, drenajes, etc.), la evolución del tránsito, condiciones de seguridad, las políticas de conservación, los resultados de las auscultaciones funcionales y estructurales, los costos de mantenimiento y de operación de los usuarios, etc. En la medida en que la información con que se alimente sea confiable, un sistema de gestión permite considerar estrategias alternativas de mantenimiento con programaciones a mediano y largo plazo y evaluar sus posibles resultados técnicos, económicos y ambientales, lo que permite sustentar racionalmente la toma de decisiones.

Una gestión ineficiente del mantenimiento de las carreteras no solo tiene efectos negativos inocultables sobre las finanzas públicas y sobre los costos de operación vehicular y, consecuentemente, sobre los costos de transporte, sino, además, consecuencias adversas sobre el medio ambiente. Aunque la aparición de deterioros con el tiempo y el uso es inevitable, así las carreteras se construyan con apego a las especificaciones, lo que sí se puede evitar a través de una buena gestión es que los deterioros progresen al punto de que se requieran trabajos importantes de rehabilitación, cuando no de reconstrucción, que impliquen un mayor uso de recursos no renovables, mayor consumo de energía y una mayor huella de carbono, aspectos estos que atentan contra la sostenibilidad.

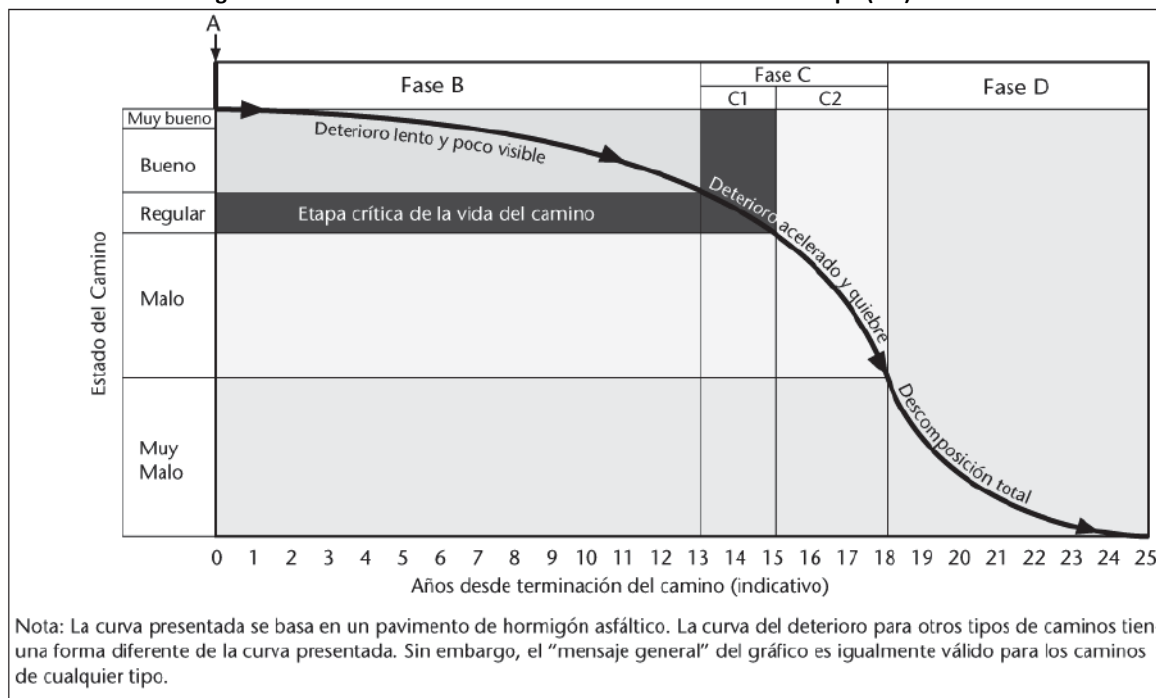
Por otra parte, ejecutar actividades antes de que las carreteras realmente lo requieran, si bien no produce efectos ambientales muy adversos, sí hace perder la oportunidad de haber

empleado el capital en alguna inversión más rentable durante el período de adelanto (costo de oportunidad).

El quid en la gestión del mantenimiento reside, entonces, en la identificación apropiada del momento y de la dimensión técnica de cada intervención. Un documento de la CEPAL (4.2) menciona que los caminos, independientemente del tipo de su superficie de rodadura, están sometidos a un ciclo que consta de cuatro etapas. Aunque los detalles del ciclo son algo diferentes entre los caminos con pavimento asfáltico, los de concreto hidráulico, los de adoquines y los de las calzadas sin pavimentar, el mensaje básico es el mismo y consiste en que en ningún caso se debe permitir su deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica. Las cuatro etapas del ciclo, según la CEPAL, son las siguientes:

Fase A. Construcción: Un camino puede ser de construcción sólida o con algunos defectos, o bien con un diseño o una ejecución de la construcción claramente deficiente. De todos modos, el camino entra en servicio apenas terminada la obra, instante en el que se encuentra en sus mejores condiciones y satisface las necesidades y las exigencias de los usuarios. (Punto A de la Figura 4-1).

Figura 4-1 El deterioro de los caminos con el transcurso del tiempo (4.2)



Fase B. Deterioro lento y poco visible: Durante un cierto lapso (normalmente algunos años), el camino va sufriendo un desgaste y un proceso de debilitamiento lentos, principalmente en la superficie pavimentada, y también, aunque en un menor grado, en el resto de su estructura. Ello se debe a la acción combinada del tránsito y del clima. La velocidad con que ello sucede depende, también, de la calidad de la construcción inicial. Para frenar este

proceso de desgaste y debilitamiento, es necesario efectuar operaciones rutinarias de mantenimiento, así como aplicar con cierta frecuencia diferentes medidas correctivas, principalmente en el pavimento y en las obras de drenaje.

Durante toda esta fase, el camino se mantiene en aparente buen estado y los usuarios no perciben el deterioro. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino les sigue sirviendo bien y está en condiciones de ser conservado, en el sentido pleno del término (Fase B de la Figura 4-1).

Es frecuente que el mantenimiento durante la fase B sea prácticamente nulo, por la sencilla razón de que los recursos asignados son insuficientes, o porque los escasos recursos existentes se destinan a la rehabilitación o reconstrucción de aquellos caminos que se encuentran en muy mal estado. Además, es poco probable que los efectos de un mantenimiento deficiente se hagan sentir antes de que el problema haya alcanzado suma gravedad. El efecto práctico de ello es la reducción de este período de desgaste lento y poco visible y, por lo tanto, en vez de prolongarse por 8 o más años, sólo dura cinco o menos.

Otro factor que contribuye a la falta de atención durante la etapa inicial de operación de los caminos, se debe al malentendido concepto de que el diseño de sus pavimentos se realiza para un número determinado de años. Se suele decir que un pavimento está diseñado para 10 o hasta 20 años, lo que lleva a que muchas personas supongan, equivocadamente, que no hay que conservarlos durante ese período, sino sólo reconstruirlos después del tiempo estipulado. Inclusive, hay ingenieros viales que consideran inevitable que al cabo del período de diseño el pavimento estará destruido y necesitará reconstrucción.

Por otra parte, aunque en teoría los pavimentos se diseñan para proporcionar un servicio aceptable durante un determinado número de años (período de diseño), solo cabe esperar este servicio adecuado durante el tiempo real que tarda en circular el tránsito que se estimó en el instante de realizar el diseño de la estructura. Por lo tanto, el período probable de servicio satisfactorio es controlado por el número de aplicaciones de carga adoptadas como tránsito de diseño y no por el número de años escogido como período de diseño. Este hecho adquiere particular importancia cuando los pavimentos se encuentran sometidos a sobrecargas frecuentes no previstas en el momento de realizar los pronósticos de tránsito.

La costumbre de exigir pólizas de garantía de estabilidad de las obras de pavimentos con una vigencia fija, ignora el devenir de los pavimentos, ya que el tránsito real que usa y desgasta el camino durante el período de vigencia puede ser inferior o superior al que la agencia vial supuso durante la etapa de diseño. En el primer caso, el tiempo efectivo de vigencia se debería extender, mientras que en el segundo se debería reducir. Por otra parte, si el mantenimiento durante los años iniciales de operación del camino no está a cargo del mismo contratista de construcción y, además, es deficiente, la velocidad del desgaste y del debilitamiento se incrementa por causas no atribuibles a dicho contratista.

Fase C. Deterioro acelerado y quiebre: Después de varios años de uso, el pavimento y otros elementos del camino están cada vez más “agotados” y el camino entra en una etapa de deterioro acelerado y su capacidad para resistir el tránsito es cada vez menor. (Fase C de la Figura 4-1). Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta, las fallas

en la superficie no son muy evidentes, y el usuario común tiene la impresión de que el camino aún se mantiene bastante sólido; sin embargo, no es así. (Sector C1).

Al ir avanzando un poco más en la fase C, se presentan cada vez más deterioros en la superficie, y la estructura básica se comienza a deteriorar, aunque esto último no sea visible. En otras palabras, cuando el pavimento de un camino presenta graves fallas que se pueden detectar a simple vista, se puede asegurar que la estructura básica del camino también está seriamente deteriorada. Los daños a la vista comienzan siendo puntuales y luego se van extendiendo hasta que, finalmente, afectan la mayor parte del camino (Sector C2). La fase C es relativamente breve, y comprende un período que oscila aproximadamente entre dos y cuatro años. Una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada.

Fase D. Descomposición total: La descomposición total del camino constituye la última etapa de su existencia y puede durar pocos o varios años. Durante ese período, lo primero que se observa es la destrucción de la capa de rodadura pavimento. Cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de capa asfáltica, hasta que termina convirtiéndose en un camino de grava y, a la larga, de tierra. (Fase D en la Figura 4-1). El paso de los vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación disminuye bruscamente y la capacidad del camino se reduce a sólo una fracción de la original. Los vehículos comienzan a experimentar daños en los neumáticos, ejes, amortiguadores y chasis. En general, el costo de operación de los vehículos se incrementa de manera considerable y la cantidad de accidentes también aumenta. En esta última etapa llega un momento en que los automóviles normales ya no pueden continuar transitando y sólo algunos camiones y jeeps lo siguen haciendo.

En un esquema sano de mantenimiento, la superficie de un pavimento asfáltico se debe reforzar (rehabilitación) al inicio de la fase C, período en el cual la condición de la estructura se comienza a tornar crítica. El costo de un refuerzo oportuno puede representar alrededor del 10 % del valor original del camino y hace que éste se vuelva a encontrar apto para su función, pudiendo resistir el tránsito durante bastantes años más. Sin embargo, como al comienzo de la fase C las fallas no son detectables a simple vista y la marcha del vehículo no es muy incómoda, es frecuente que no se intervenga en el momento preciso, lo que agudiza el deterioro.

Si se deja pasar el momento óptimo de intervención y se entra al sector C2, el simple refuerzo de la superficie ya no resulta suficiente, siendo necesario acometer trabajos de rehabilitación más intensos (refuerzo de mayor espesor, reciclado, etc.). Cuanto más se atrase la intervención, mayores serán los daños y también mayor la magnitud de las reparaciones necesarias en la estructura básica del camino. Al finalizar la fase C y durante la fase D sólo cabe la reconstrucción completa del pavimento.

4.2. HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

La administración adecuada del mantenimiento de una red vial sólo se puede lograr eficientemente con el apoyo de herramientas muy potentes que ayuden en la planeación, en la toma de decisiones y en la programación adecuada de las labores inherentes al

mantenimiento. En ese orden de ideas, utiliza antecedentes como las propiedades de los suelos que componen la infraestructura, las características de las estructuras de pavimento, las condiciones del drenaje y las propiedades y condiciones de los elementos adicionales como taludes, puentes, viaductos, muros de contención, tránsito y de los elementos relacionados con la seguridad vial. Su aplicación eficiente requiere, además, minimizar las inversiones y brindar el máximo beneficio social con los menores impactos ambientales adversos.

La gestión adecuada de la infraestructura vial implica el conocimiento de su extensión, de los modos de evolución de su condición con el uso y los efectos ambientales, de los costos de construcción, operación y mantenimiento; la planeación del desarrollo de ella mediante programas de construcción y conservación elaborados en acuerdo con una política preestablecida y los recursos disponibles y, finalmente, administrar de forma eficiente dichos recursos.

Un buen sistema de gestión maneja todo el conjunto de antecedentes e indicadores a través de modelos que simulan la evolución del comportamiento de las carreteras. Agencias y organizaciones de diferentes países del mundo han desarrollado herramientas de apoyo que pueden ser utilizadas en la gestión del mantenimiento vial. El Instituto Nacional de Vías emplea el modelo de simulación conocido por su sigla HDM-4 (Highway Development and Management - Versión 4), diseñado por el Banco Mundial y la AIPCR, para apoyar la toma de decisiones en relación la gestión del mantenimiento y la rehabilitación de la red a su cargo.

El modelo HDM-4 es una herramienta de cómputo que permite desarrollar evaluaciones sobre la factibilidad técnica y la rentabilidad económica de distintas alternativas de actuación en redes viales o en tramos específicos de ellas. No es una herramienta de optimización, por cuanto no ofrece la solución óptima absoluta del problema que se le plantea, sino que realiza los cálculos correspondientes a cada alternativa que le presente el usuario y suministra los respectivos indicadores económicos y de desempeño para que éste ordene las alternativas y, posteriormente, seleccione aquella que considere óptima de acuerdo con su objetivo.

Como la metodología de análisis del HDM-4 utiliza ecuaciones de predicción del estado de deterioro de las calzadas, resulta esencial tener en mente que los modelos de deterioro que han sido obtenidos bajo condiciones diferentes a la propia requieren calibración, con el fin de alcanzar resultados confiables en relación con la estimación del comportamiento de las carreteras y de las redes locales, de manera de llegar a soluciones razonablemente ajustadas a su evolución real, así como permitir comparaciones confiables sobre programas de acción e inversión a determinados plazos, indicando resultados válidos para cada alternativa. El uso sacramental de modelos de deterioro foráneos sin calibración alguna, no pasa de ser un ejercicio académico que, casi siempre, conduce a resultados ajenos a la realidad y, consecuentemente, a la toma de decisiones equivocadas que opugnan los intereses de la administración y de la colectividad.

El HDM-4 está constituido por 4 módulos de gestión de datos que alimentan las variables y las ecuaciones de los modelos de simulación que posee: red de carreteras, parque vehicular, obras y configuración (Figura 4-2).

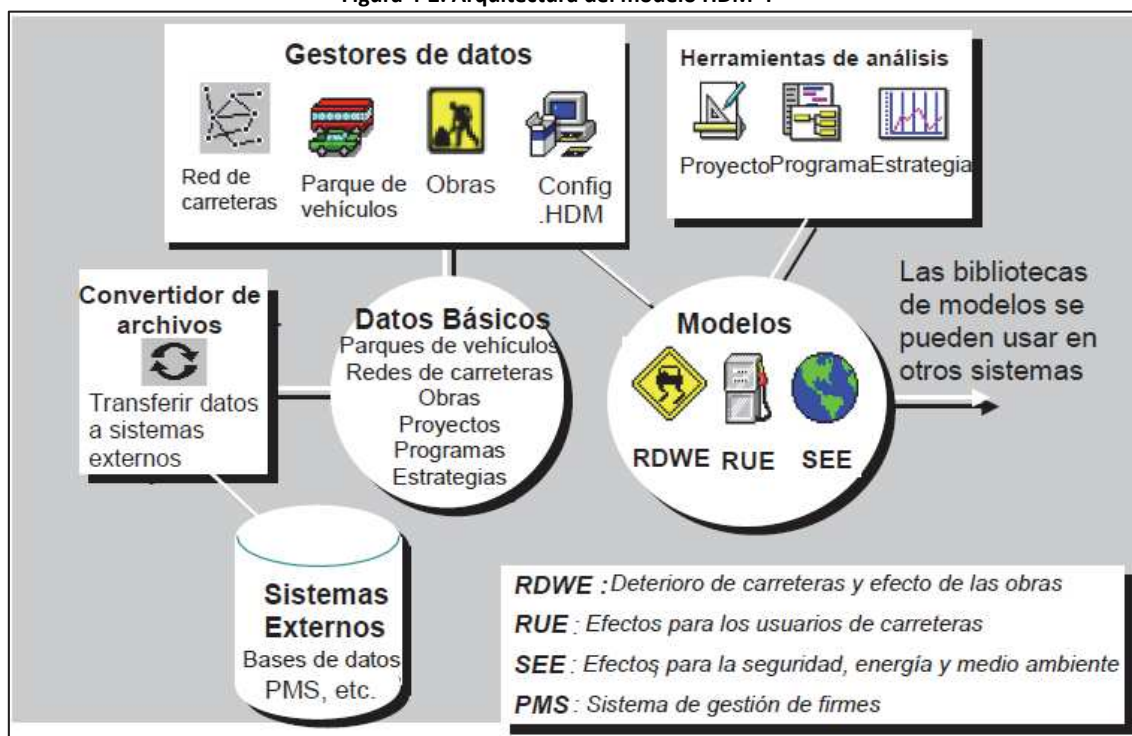
Red de carreteras: se deben alimentar las características físicas (geometría, estructura del pavimento, estado de la calzada, etc.) de tramos de carreteras en una red o una subred que se va a analizar.

Parque vehicular: se deben especificar las características del parque de vehículos que va a operar en la red objeto de análisis.

Obras: se deben formular los estándares de conservación y mejoramiento, junto con sus precios unitarios, que serán aplicados a los tramos de carretera por analizar.

Configuración del HDM: define los datos por defecto que se usarán en las aplicaciones, en relación con el modelo de tránsito, tipo de velocidad/capacidad, zonas climáticas y moneda. Estos datos deben ser modificados por los usuarios para adecuarlos a los entornos y circunstancias reales del proyecto o red bajo análisis.

Figura 4-2. Arquitectura del modelo HDM-4



El análisis técnico en el HDM-4 se realiza usando cuatro modelos mediante los cuales se calculan, para cada año del período de evaluación, para cada tramo de la carretera y para cada alternativa o estrategia de mantenimiento que se haya elegido, las condiciones de la carretera y los recursos necesarios para la conservación con cada estrategia, las velocidades vehiculares y los recursos físicos consumidos por la operación de los vehículos (Figura 4-2):

RD (Deterioro de la carretera): predice la evolución de los deterioros de la calzada en el horizonte de evaluación definido por el usuario, en función de su condición inicial (geometría, materiales empleados en la construcción, calidad de la construcción), de los efectos ambientales, de las políticas de mantenimiento que piensa aplicar y del tránsito previsto. Contempla, para el análisis, estructuras pavimentadas (asfalto y concreto) y en afirmado, así como bases estabilizadas y granulares.

WE (Efecto de las obras): simula los efectos producidos sobre el estado de la calzada por los trabajos de mantenimiento y de desarrollo (construcción y mejoramiento) que se piensan acometer en momentos específicos del horizonte de evaluación y determina los costos correspondientes a partir de los precios unitarios especificados por el usuario. La Tabla 4-1 muestra algunas de las actividades de conservación consideradas por el modelo.

Establecer umbrales de deterioro del pavimento (IRI, áreas deterioradas, escalonamientos etc.), asociados a parámetros medibles para implementar distintos escenarios posibles de mantenimiento, tiene como objetivo fijar un límite admisible de los deterioros de manera de minimizar los costos de los usuarios sobre un conjunto de alternativas evaluadas y, de esta manera, maximizar el beneficio social de los usuarios de los caminos. Parte importante del éxito que se pueda obtener al realizar estas evaluaciones, radica en la certeza que, para los umbrales elegidos, las tareas asignadas constituyan realmente soluciones de mantenimiento apropiadas.

Tabla 4-1 Actividades de mantenimiento consideradas por el modelo

| Mantenimiento rutinario | Mantenimiento periódico | Especial |
|--|---|--------------------------------------|
| En pavimento: parcheo, sellado de grietas, reparación bermas, etc. | Tratamiento preventivos: sellos, riegos, sellado de juntas, cepillado, etc. | Emergencias, mantenimiento invernal. |
| Drenaje | Renovación superficial: tratamientos superficiales, lechadas, etc. | |
| Miscelánea: control de vegetación, señalización, etc. | Rehabilitación: sobrecapas, etc. | |
| | Reconstrucción: parcial o total | |

RUE (Efectos para los usuarios): determina los costos de operación vehicular, de los accidentes y de los tiempos de viaje para las opciones de intervención sometidas a análisis. También, predice los efectos de las interacciones entre los flujos de tránsito motorizado y no motorizado y estima los ahorros de los usuarios para las diversas opciones de intervención.

Los costos de operación de los vehículos (VOC) incluyen costos variables en consumo de combustible, aceites, lubricantes, neumáticos, reparación de los vehículos (mano de obra y repuestos) y costos fijos en depreciación de los vehículos, intereses, costos de tripulación y gastos generales tales como administración, seguros y estacionamiento. Estos costos son calculados para los diferentes tipos de vehículos que componen el tránsito en cada año.

Los beneficios surgen de los ahorros que se obtienen por la disminución de los costos de operación que genera el proyecto frente a la estrategia sin proyecto u otra estrategia.

Los costos de los tiempos de viaje se consideran en términos del valor del tiempo de los pasajeros y de la carga y se expresan en términos económicos. Se considera que al mejorar el estado de la vía o las condiciones físicas de la calzada, habrá un aumento de la velocidad de circulación, lo que implicará un menor tiempo de viaje de los pasajeros y de la carga de los camiones. Estos ahorros serán diferentes para cada tipo de vehículo, debido a que cada uno desarrolla diferente velocidad y distinta actividad económica.

El cálculo del costo por tiempo de viaje consiste en determinar el costo por pasajero-hora, clasificando los motivos del viaje en dos categorías: trabajo y ocio. Para el caso de trabajo, el costo se estima de acuerdo con los ingresos medios de los pasajeros y para el caso de ocio, un 50 % del anterior, por ejemplo.

El tiempo de la carga consiste en determinar el costo por tonelada-hora, de acuerdo al valor de la carga promedio, según la región y en función de la tasa de descuento.

La accidentalidad en las carreteras es analizada de acuerdo con la gravedad del accidente, la cual se clasifica en tres tipos que son:

- Accidente fatal, si se presentan muertos en el lugar del accidente o los lesionados fallecen dentro de un período fijo después del accidente (por ejemplo, 31 días)
- Accidente con heridos, cuando sólo hay lesionados
- Accidente solamente con daños, cuando no hay heridos ni muertos y sólo se presentan daños materiales

La metodología para obtener el valor económico del costo de los usuarios, se basa en calcular la velocidad media de circulación vehicular para cada tramo de carretera a partir de las características de cada tipo de vehículo y de la geometría de la vía, el tipo de superficie y las condiciones actuales en la carretera. A partir de esta velocidad, se obtienen los gastos materiales de los vehículos y multiplicando las cantidades por sus respectivos precios unitarios se determina el valor total por operación vehicular. A este valor se deben agregar los costos de los accidentes y de los tiempos de viaje.

Para estimar los ahorros en costos de operación vehicular se procede a calcular los costos de operación vehicular sin y con proyecto. Los ahorros en cada año estarán dados por la diferencia entre ellos

SEE (Efectos sociales y medioambientales): determina el efecto de las emisiones contaminantes de los vehículos [entre las que se encuentran hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), plomo (Pb) y partículas (Par)] para las diferentes opciones de intervención. También, calcula el consumo de energía en el ciclo de vida debido a la operación vehicular y a las operaciones de construcción y mantenimiento.

El modelo simula, para cada tramo de carretera y de año en año, las condiciones de ella y los recursos a utilizar para el mantenimiento con cada estrategia, así como las velocidades y los recursos físicos consumidos por la operación de los vehículos. Una vez estimadas las cantidades físicas necesarias para la ejecución de las obras, se aplican los precios unitarios especificados por los usuarios para determinar los costos financieros y económicos, y se calculan los indicadores de rentabilidad de las diversas opciones de intervención (4.3).

La guía de rehabilitación de pavimentos asfálticos del Instituto (4.4) describe en la Parte 6, Capítulo 1, el manejo básico del modelo y presenta un ejemplo de aplicación orientado al análisis de alternativas de rehabilitación de un pavimento asfáltico.

4.3. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES

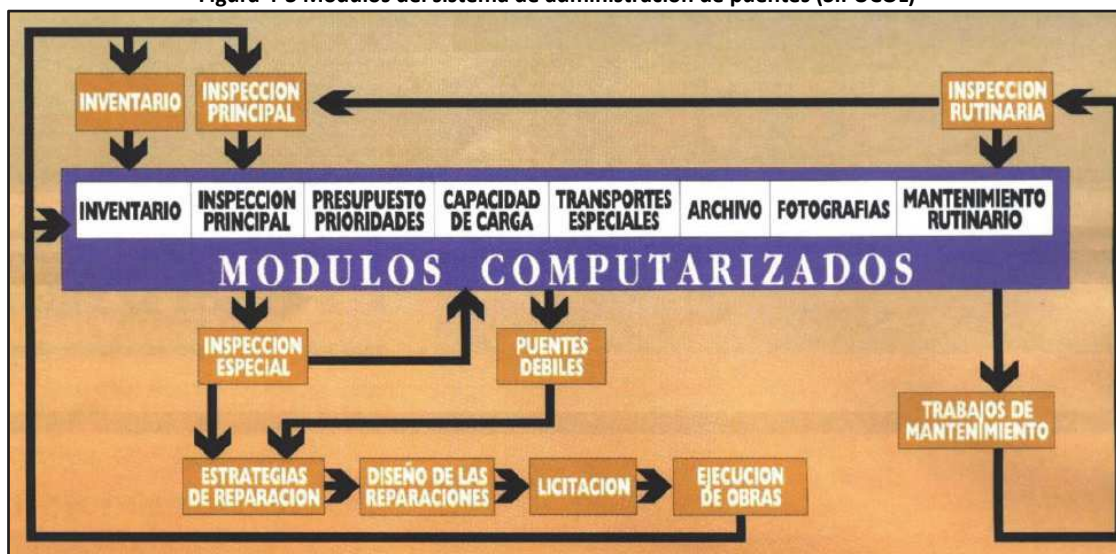
En 1996, el Instituto Nacional de Vías implementó el sistema de administración de puentes de Colombia (SIPUCOL) con la asesoría del Directorado de Carreteras de Dinamarca, el cual consta de varios módulos de gestión de los puentes y una base de datos especializada. El sistema SIPUCOL cubre todos los puentes de la red nacional, administrados por el Instituto Nacional de Vías, aplica para puentes con longitud mayor a diez (10) metros y constituye una aproximación racional y sistemática para organizar y adelantar todas las actividades relacionadas con su manejo y su administración. Sus alcances son los siguientes (4.5):

- Predicción de las necesidades de mantenimiento y de los fondos requeridos
- Elaboración de listados de puentes por prioridades de rehabilitación
- Identificación de puentes con restricciones o limitaciones de servicio
- Búsqueda de la mejor alternativa para la rehabilitación de cada puente desde el punto de vista técnico y de la relación beneficio/costo
- Cuantificación de los costos de inversión por puente

- Identificación de las obras de mantenimiento menor
- Determinación de la capacidad de carga de los puentes y sus restricciones

La Figura 4-3 muestra un organigrama con la arquitectura del sistema que, con sus módulos computarizados y el procedimiento de priorización, sirve para la toma de decisiones en relación con el mantenimiento de los puentes de la red vial nacional. El sistema es auto abastecedor, es decir, que exige continuamente la actualización o el suplemento de los datos almacenados; por ejemplo, en el informe de una inspección principal se necesita indicar siempre el año de la siguiente inspección (4.6)

Figura 4-3 Módulos del sistema de administración de puentes (SIPUCOL)



El sistema identifica los puentes en estado crítico y prioriza su intervención de acuerdo con los resultados de las inspecciones principales, especiales y rutinarias y la capacidad de carga. Dependiendo del daño o de la vulnerabilidad detectada, se recomienda la ejecución de obras de emergencia para prevenir un posible colapso y, posteriormente, se realizan estudios especializados, el diseño de las reparaciones y, por último, se ejecutan de obras definitivas de reparación.

Las características básicas de los módulos principales del sistema son las siguientes (4.6):

Inventario: Contiene información seleccionada en relación con la localización, la administración, la geometría, las tipologías de la infraestructura y la superestructura, la capacidad de carga, etc., para cada uno de los puentes que forman parte de la red nacional de carreteras a cargo del Instituto.

Inspección principal: Su finalidad es realizar, para cada puente, la inspección visual de cada uno de sus componentes principales (superficie, barandas, bordillos, andenes, vigas, losa, pilas, estribos, apoyos, armaduras) que forman parte de la estructura y otorgar una calificación basada en una escala cualitativa previamente definida. Las etapas necesarias para una inspección principal incluyen una definición de los componentes, calificaciones cualitativas, y la descripción de los tipos de daños. Mediante este módulo se identifican los puentes que requieren inspecciones especiales, estudios especializados y reparaciones. La calificación que se asigna a cada uno de los elementos es cualitativa. Por esta razón, es importante que la inspección sea realizada por ingenieros con experiencia en el tema de puentes desde los puntos de vista estructural y de patología, con el fin de que la calificación general de la estructura y de sus elementos se efectúe con el mayor rigor y objetividad.

Obtenida la calificación de cada uno de los elementos, se procede a efectuar la calificación general del puente. Puesto que la priorización en las intervenciones se establece en función de la calificación general del puente, es importante tener en cuenta que las calificaciones de los elementos son ponderadas; es decir, que elementos como vigas, pilas, cauce etc., son los que tiene mayor valor en la calificación general, dado que un daño en alguno de dichos elementos o en el caso particular del cauce (erosión y socavación de los apoyos del puente - estribos y pilas-), podría llegar a comprometer la estabilidad de la estructura. Los costos unitarios forman parte del módulo computarizado de inspección principal.

La escala establecida en el sistema SIPUCOL para calificar los componentes estructurales de un puente es la siguiente:

0. Sin daño o con daño insignificante
1. Daño pequeño, pero no se requiere reparación
2. Existe daño, pero el componente funciona como se diseñó
3. Daño significativo, se requiere pronta reparación
4. Daño grave, se necesita reparación inmediata
5. Daño extremo, falla total o riesgo de que ella ocurra

Inspección especial: Es una inspección detallada que se realiza cada vez que la inspección principal determina su necesidad o cuando el ingeniero especialista considere que la estructura del puente presenta una condición grave que pone en riesgo su estabilidad. La inspección especial va acompañada, generalmente, de estudios patológicos que incluyen extracción de núcleos, regatas etc., así como de la revisión estructural del puente con el fin de determinar el tipo y la extensión de los deterioros, establecer sus causas y definir estrategias preliminares de reparación.

Capacidad de carga: Este módulo tiene como propósito identificar los puentes que presentan baja capacidad de carga con respecto al camión de diseño que se encuentre vigente en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes y servir como herramienta para la expedición de permisos para la circulación de cargas especiales.

Inspección rutinaria, mantenimiento rutinario y limpieza de puentes: La inspección rutinaria incluye una revisión superficial frecuente de las estructuras, con el fin de garantizar la seguridad permanente del tránsito y registrar las necesidades de mantenimiento rutinario y de limpieza de los puentes, así como de una posible inspección especial. El módulo de mantenimiento de SIPUCOL está basado en el hecho de que las obras de mantenimiento y la limpieza rutinarias están relacionadas con un cierto número de componentes estructurales. Las estructuras pequeñas contienen solamente unos pocos de esos elementos, mientras las estructuras grandes pueden estar compuestas por muchos componentes, a veces muy específicos.

Diseño de las reparaciones: Cubre la evaluación de daños y las estrategias de reparación y su diseño. Suministra recomendaciones sobre la toma de decisiones para las reparaciones y rehabilitaciones mayores de los puentes, a partir de las inspecciones principales y especiales y la capacidad de carga. Comprende, también, el establecimiento de estrategias de reparación, el análisis económico de ellas a través de un programa de cómputo que forma parte del sistema y la definición de la estrategia óptima de reparación. Se elaboran especificaciones técnicas y planos para las obras de reparación seleccionadas y se estima su costo.

Priorización de las obras de reparación y refuerzo: La priorización de las obras de reparación es una determinación global de las prioridades de todos los puentes con respecto a sus necesidades de reparación, refuerzo o rehabilitación. Explica detalladamente el procedimiento de priorización y la manera como se aplica a la administración de los puentes. Este módulo permite la asignación óptima de recursos para las obras de reparación. La priorización está completa cuando se llega al límite del presupuesto para las obras de reparación.

SIPUCOL ha sido una herramienta útil que ha contribuido de manera efectiva al mantenimiento de los puentes de la red vial nacional. El sistema ha permitido identificar los daños principales de los puentes, establecer sus causas, especializar a los ingenieros en obras de reparación y optimizar los recursos destinados al mantenimiento y al mejoramiento de estas estructuras.

4.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 4.1 Alberto Bull, *“Mejoramiento de la gestión vial con aportes específicos del sector privado”*, Unidad de transporte, CEPAL, Santiago de Chile, junio de 2003
- 4.2 Andreas Schliessler, Alberto Bull, *“Camino. Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”*, CEPAL, Santiago de Chile, 1994
- 4.3 Henry G.R. Kerali, *“Visión general de HDM-4”*, AIPCR, La Défense Cedex, France, 2001

4.4 Instituto Nacional de Vías, *“Guía para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras”*, Bogotá D. C., 2008

4.5 Edgar Muñoz, Rafael Hernández, Edgar Valbuena, Luz Trujillo, Libardo Santacruz, *“Rehabilitación de los puentes de la red de carreteras de Colombia, basados en inspecciones visuales, estudios especializados y estrategias de reparación”*, Revista Ingeniería de Construcción Vol. 20 No 1, Abril de 2005

4.6 Instituto Nacional de Vías, Directorado de Carreteras de Dinamarca, *“Manuales de inventario, inspección principal, inspección especial, capacidad de carga, inspección rutinaria, mantenimiento rutinario y limpieza, de reparación y refuerzo, priorización de obras de reparación y refuerzo”*, Bogotá, 1996.

Página en blanco

CAPÍTULO 5

Necesidades de Mantenimiento

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|--------------|---|-----------------|
| 5. | CAPÍTULO 5. NECESIDADES DE MANTENIMIENTO | V1-C5 7 |
| 5.1. | DERECHO DE VÍA | V1-C5 7 |
| 5.2. | TALUDES | V1-C5 9 |
| 5.2.1. | SOLUCIONES TÍPICAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES | V1-C5 10 |
| 5.2.1.1. | Modificación de la geometría del talud | V1-C5 10 |
| 5.2.1.2. | Instalación de un sistema de drenaje | V1-C5 11 |
| 5.2.1.3. | Introducción de elementos estructurales resistentes en el cuerpo del talud | V1-C5 12 |
| 5.2.1.4. | Estructuras de contención | V1-C5 12 |
| 5.2.2. | MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN SUPERFICIAL DE TALUDES | V1-C5 13 |
| 5.2.3. | MACIZOS ROCOSOS | V1-C5 18 |
| 5.3. | SISTEMA DE DRENAJE | V1-C5 19 |
| 5.4. | MUROS | V1-C5 21 |
| 5.5. | CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS | V1-C5 23 |
| 5.6. | ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN Y DE SEGURIDAD VIAL | V1-C5 24 |
| 5.7. | OBRAS DE PASO | V1-C5 27 |
| | <i>SOCAVACIÓN DE ESTRIBOS, ALETAS Y PILAS (FIGURAS 5-13 Y 5-14)</i> | V1-C5 28 |
| | <i>DETERIORO DE LAS JUNTAS DE DILATACIÓN (FIGURA 5-15)</i> | V1-C5 29 |
| 5.8. | TÚNELES | V1-C5 34 |
| 5.8.1. | GENERALIDADES | V1-C5 34 |
| 5.8.2. | TIPOS DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO | V1-C5 36 |
| 5.8.2.1. | Mantenimiento de la obra civil | V1-C5 36 |
| 5.8.2.1.1. | Actividades de mantenimiento preventivo | V1-C5 36 |
| 5.8.2.1.2. | Actividades de mantenimiento correctivo | V1-C5 40 |
| 5.8.2.2. | Mantenimiento de los sistemas funcionales | V1-C5 45 |
| 5.8.2.2.1. | Mantenimiento del sistema de iluminación | V1-C5 46 |
| 5.8.2.2.2. | Mantenimiento del sistema de ventilación mecánica | V1-C5 47 |
| 5.8.2.2.3. | Falla súbita de algún equipo | V1-C5 49 |
| 5.8.2.3. | Mantenimiento de los equipos y vehículos de servicio | V1-C5 49 |
| 5.8.2.4. | Tránsito vehicular durante el mantenimiento | V1-C5 50 |
| 5.8.2.5. | Personal de mantenimiento | V1-C5 51 |
| 5.9. | CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ATENCIÓN DE LAS EMERGENCIAS EN LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA | V1-C5 51 |
| 5.9.1. | ASPECTOS NORMATIVOS | V1-C5 51 |
| 5.9.2. | ASPECTOS PROCEDIMENTALES | V1-C5 53 |
| 5.9.3. | ASPECTOS ADMINISTRATIVOS | V1-C5 54 |
| 5.10. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C5 55 |

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----------|
| <i>Figura 5-1 Rocería en el derecho de vía (5.2)</i> | V1-C5 8 |
| <i>Figura 5-2 Recolección de basura (5.3)</i> | V1-C5 8 |
| <i>Figura 5-3 Talud escalonado (5.8)</i> | V1-C5 11 |
| <i>Figura 5-4 Erosión de un talud de corte (5.11)</i> | V1-C5 13 |
| <i>Figura 5-5 Cárcava producida por un desagüe mal construido (5.11)</i> | V1-C5 14 |
| <i>Figura 5-6 Aplicación de hidrosiembra sobre un talud de corte (5.11)</i> | V1-C5 15 |
| <i>Figura 5-7 Implantación de pasto vetiver en un talud</i> | V1-C5 15 |
| <i>Figura 5-8 Protección de un talud con un biomanto de fique (5.6)</i> | V1-C5 17 |
| <i>Figura 5-9 Caída de bloques de roca (5.13)</i> | V1-C5 18 |
| <i>Figura 5-10 Despedrado manual de un talud de roca</i> | V1-C5 19 |
| <i>Figura 5-11 Malla para el control de desprendimiento de taludes (5.13)</i> | V1-C5 19 |
| <i>Figura 5-12 Eliminación de marcas viales con chorro de agua de muy alta presión</i> | V1-C5 26 |
| <i>Figura 5-13 Socavación de estribo y aletas</i> | V1-C5 28 |
| <i>Figura 5-14 Enrocado de protección contra la socavación</i> | V1-C5 29 |
| <i>Figura 5-15 Deterioros en las juntas de dilatación</i> | V1-C5 30 |
| <i>Figura 5-16 Funcionamiento inadecuado de drenes</i> | V1-C5 30 |
| <i>Figura 5-17 Protección contra la corrosión mediante pintura (5.20)</i> | V1-C5 31 |
| <i>Figura 5-18 Fisuras en elementos de concreto</i> | V1-C5 32 |
| <i>Figura 5-19 Ausencia de apoyos</i> | V1-C5 32 |
| <i>Figura 5-20 Presencia de obstáculos en el cauce</i> | V1-C5 33 |
| <i>Figura 5-21 Desprendimientos de la capa de rodadura de un puente</i> | V1-C5 34 |
| <i>Figura 5-22 Limpieza de un túnel (5.27)</i> | V1-C5 37 |
| <i>Figura 5-23 Mantenimiento preventivo del sistema de drenaje (5.28)</i> | V1-C5 38 |
| <i>Figura 5-24 Mantenimiento preventivo del sistema de drenaje (5.28)</i> | V1-C5 41 |
| <i>Figura 5-25 Perforación e inyección de lechada de contacto (5.26)</i> | V1-C5 43 |
| <i>Figura 5-26 Desportilladura en el revestimiento final (5.31)</i> | V1-C5 43 |
| <i>Figura 5-27 Grietas generadas por falla a compresión (5.31)</i> | V1-C5 44 |
| <i>Figura 5-28 Reparación de grietas generadas con lechada de cemento estructural (5.32)</i> | V1-C5 44 |
| <i>Figura 5-29 Filtraciones en juntas (5.33)</i> | V1-C5 45 |

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----------------|
| <i>Tabla 5-1 Efectos de la vegetación en relación con la erosión y la estabilidad de los taludes (5.11)</i> | <i>V1-C5 16</i> |
| <i>Tabla 5-2 Mantenimiento rutinario de muros (5.16)</i> | <i>V1-C5 22</i> |
| <i>Tabla 5-3 Características del mantenimiento de los sistemas funcionales (5.24)</i> | <i>V1-C5 47</i> |

Página en blanco

CAPÍTULO 5. NECESIDADES DE MANTENIMIENTO

Las actividades normales de mantenimiento de una carretera abarcan desde tareas muy simples hasta operaciones muy complejas y, como se mencionó antes, a los efectos de este manual se dividen en rutinarias y periódicas, dependiendo de las características del trabajo y de la periodicidad con que se requiere realizarlo.

Todos los elementos de la carretera requieren inspección y mantenimiento para conservar su buen estado: el derecho de vía, la explanación, las obras de drenaje, los muros, las calzadas pavimentadas y no pavimentadas, los elementos de señalización y seguridad vial, las obras de paso y los túneles.

5.1. DERECHO DE VÍA

El derecho de vía o ancho de zona es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico de una carretera. A esta zona no se le puede dar uso privado (5.1).

Dentro de esta faja de terreno quedan comprendidas la corona de la carretera, los elementos de drenaje lineal, los taludes de corte y terraplén y los dispositivos de señalización y seguridad, así como áreas auxiliares destinadas a la adaptación de accesos a propiedades aledañas a la carretera, intersecciones con otras carreteras, paraderos, miradores y zonas de descanso, entre otras. Cada uno de estos elementos tiene sus propios requerimientos y procedimientos de mantenimiento, los cuales se aplican de manera independiente aunque complementaria, por lo que, desde el punto de vista del derecho de vía propiamente dicho, su mantenimiento se limita, básicamente, a la ejecución de actividades de tipo rutinario, que buscan mantenerlo en perfectas condiciones para que presente las mejores condiciones en cuanto a seguridad, visibilidad e imagen del entorno de la carretera.

Las actividades que involucra el mantenimiento rutinario del derecho de vía son variadas: rocería y limpieza, poda de arbustos y árboles, retiro de basuras y otros elementos extraños, siembra de césped, jardinería, remoción de señales ilegales y de otros elementos invasores, reparación y reemplazo del cercado del derecho de vía, entre otras.

La rocería consiste en el recorte de la vegetación existente en las zonas laterales y separadores de la carretera (Figura 5-1). Esta actividad es necesaria, pues la altura excesiva de la vegetación en el derecho de vía es inconveniente porque resta visibilidad aumentando el riesgo de accidentes, oculta total o parcialmente las señales verticales y los dispositivos de defensa, fomenta invasiones de los vecinos de la vía, propicia el incremento de humedad en

vecindad del pavimento y causa mala impresión en los usuarios que lo interpretan como un signo de descuido en el mantenimiento.

Figura 5-1 Rocería en el derecho de vía (5.2)



El trabajo de rocería, desmonte y limpieza como operación de mantenimiento está considerado como Actividad 1111 en las especificaciones que forman parte de este manual. La remoción de arbustos y la poda de árboles que puedan generar inconvenientes para la circulación segura de los usuarios, están contempladas como Actividades 1112 y 1113 en las mismas especificaciones.

El retiro de basura y otros elementos extraños implica la recolección y la disposición de basura, escombros, desechos, animales muertos y otros elementos que invadan el derecho de vía. Estas actividades se deben adelantar de manera rutinaria, tanto para dar una buena imagen de la zona lateral de la carretera, como para prevenir infecciones a los usuarios que, por necesidad o urgencia, se deban detener a un costado de la vía. Las Actividades 1121 a 1125 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual se refieren al control de basura y a la remoción de elementos extraños en el derecho de vía.

Figura 5-2 Recolección de basura (5.3)



Un aspecto importante del mantenimiento rutinario lo constituye la reparación del alambrado de púas y de los postes de madera o concreto que forman parte de las cercas que delimitan el derecho de vía, en los tramos que hayan sido objeto de hurto o vandalismo, o de deterioro a causa de la intemperie. La función de la cerca es tanto cumplir su función delimitadora del derecho de vía, como prevenir el ingreso incontrolado de animales a la carretera y evitar invasiones para instalaciones no autorizadas. El trabajo de reparación de las cercas está incluido en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual como Actividad 1151.

Aquellas obras situadas en las zonas laterales del derecho de vía que contribuyen a una mejor utilización la carretera por los usuarios, tal el caso los accesos a propiedades, paraderos, miradores, zonas de descanso, etc., también deben ser sometidos a mantenimiento, tanto en relación con la limpieza, como en cuanto a la conservación de las condiciones de todos sus elementos constitutivos. La Actividad 1143 de las especificaciones que forman parte de este manual considera el mantenimiento de islas, pasos peatonales a desnivel y paraderos ubicados en el derecho de vía.

5.2. TALUDES

A diferencia de una ladera, que es una superficie inclinada respecto a la horizontal que se da en forma natural, un talud es formado artificialmente como resultado de una excavación o de la construcción de un terraplén.

A los efectos de la construcción de carreteras, los taludes de corte se presentan en formaciones de suelos y de rocas en distintos grados de alteración y su comportamiento depende sustancialmente de fenómenos ambientales como las lluvias, los cambios de temperatura, eventos sísmicos, viento, etc. Debido a ello, las fallas a las que están expuestos pueden ser de naturaleza muy variada y tener su origen en causas muy diferentes, resultando imposible brindar soluciones generales dentro del simple marco del mantenimiento rutinario y periódico de la carretera.

Los taludes constituyen, quizás, las estructuras de mayor complejidad de las vías terrestres y ligados a su estabilidad se presentan los problemas más complicados de la geotecnia. Para comprender mejor su comportamiento, resulta apropiado separar el estudio de la estabilidad de los taludes en suelos y en rocas, ya que las metodologías conocidas y de práctica común presentan diferencias en su enfoque.

El Instituto Nacional de Vías dispone de un manual de estabilidad de taludes (5.4) que abarca desde la definición de los elementos que los constituyen, hasta métodos para el análisis de estabilidad y técnicas para el inventario, el monitoreo y la instrumentación, así como prácticas para su mantenimiento y corrección. Respecto de estas últimas, los capítulos 7 y 8 del citado manual las tratan en extenso y a ellos se deberá dirigir quien desee profundizar en el asunto.

A los efectos de este manual, dedicado específicamente al mantenimiento rutinario y periódico de la infraestructura carretera y no al diseño, la construcción o la ejecución de obras importantes de corrección, estabilización, rehabilitación o reconstrucción, baste señalar que a partir de la inspección visual de los taludes existentes en la carretera, sean ellos de corte o terraplén, así como de las estructuras complementarias que existieran para estabilizarlos, se pueden obtener conclusiones acerca del riesgo de inestabilidad de los mismos, en cuyo caso corresponde adelantar los análisis de estabilidad correspondientes y de sus resultados se desprenderá si es necesario adelantar acciones complejas de estabilización que exijan la elaboración de estudios detallados de ingeniería geotécnica o, simplemente, hacer trabajos de mantenimiento de menor intensidad. El Instituto Nacional de Vías cuenta con un formulario para el registro de la información obtenida como resultado de la inspección de taludes y obras de contención de carreteras (5.5).

5.2.1. Soluciones típicas de estabilización de taludes

Las medidas de estabilización más comunes en taludes en suelos son las siguientes:

- Modificación de la geometría del talud
- Instalación de un sistema de drenaje
- Introducción de elementos estructurales resistentes en el cuerpo del talud
- Construcción de estructuras de contención

5.2.1.1. Modificación de la geometría del talud

En muchos casos, la inestabilidad de los taludes se debe a la imposibilidad del suelo para soportar las cargas inducidas por las fuerzas gravitacionales, por lo que con un cambio de la geometría se puede remover el material generador de la inestabilidad de un talud. Existen varias formas de modificar la geometría para aumentar el factor de seguridad. El manual de estabilidad de taludes del Instituto (5.4) describe cinco. Entre ellas, las más utilizadas consisten en la disminución del ángulo de inclinación del talud y el escalonamiento de éste, conocido como terraceo.

La disminución del ángulo de inclinación ha sido uno de los métodos más utilizados para mejorar la estabilidad de los taludes y es la primera opción que se suele contemplar cuando su ejecución resulta práctica. El abatimiento suele ser efectivo en deslizamientos rotacionales, pero suele tener poco efecto e, inclusive, puede tener un efecto adverso en deslizamientos de traslación. El propósito del abatimiento del talud es disminuir las fuerzas movilizantes que tienden a causar la falla o incrementar las fuerzas resistentes y hacer más largo y profundo el círculo crítico de falla, aumentando de esta manera el factor de seguridad. El procedimiento resulta apropiado en la corrección de deslizamientos de poca

altura, pues a medida que ésta se hace mayor no solamente aumenta el área de terreno necesario para realizar el trabajo, sino que, además, se aumenta exageradamente el volumen de tierra por remover. El tratamiento se debe acompañar de medidas de protección para los materiales que quedan expuestos, ya que sin ellas los resultados pueden ser deficientes. La referencia 5.6 presenta criterios para determinar la pendiente estable al realizar este tipo de corrección.

El escalonamiento se aplica a taludes muy inclinados en los que, por cuestiones de derecho de vía, resulte complicado el tendido del talud. Esta solución ayuda a controlar la erosión, a facilitar el establecimiento de vegetación, a retener caídos provenientes de pequeños deslizamientos y a aumentar el factor de seguridad (Figura 5-3). Aunque la altura de los escalones varía generalmente entre 5 y 7 metros, el espaciamiento entre terrazas se puede calcular de forma sencilla empleando el criterio de Istanbuluoglu et al. (5.7). Cada escalón se debe reconfigurar de manera que el escurrimiento pluvial sea recolectado en el interior por una cuneta revestida y conducido apropiadamente fuera del área potencialmente inestable. Esta solución es aplicable a taludes conformados por suelos compactos y su excavación se realiza, generalmente, combinando labor mecánica y manual.

Figura 5-3 Talud escalonado (5.8)



5.2.1.2. Instalación de un sistema de drenaje

El agua es el principal causante de los problemas de inestabilidad de taludes, ya sea produciendo erosión superficial o interna, o disminuyendo la resistencia al esfuerzo cortante. Un sistema adecuado de drenaje elimina o reduce el volumen de agua presente en la superficie y/o en el cuerpo del talud, disminuyendo las presiones intersticiales y las presiones hidrostáticas en las grietas de tensión.

La literatura técnica menciona muchos sistemas de drenaje que pueden resultar eficaces, algunos de ellos de enorme complejidad técnica y constructiva. Un método normalmente usado en cortes consiste en la instalación de drenes de penetración transversal, que son tuberías horizontales, ranuradas e insertadas transversalmente en los taludes de corte o

relleno para aliviar las presiones de poro, en la mayor parte de los casos extrayendo agua del suelo.

El numeral 7.5.5 del manual de estabilidad de taludes del Instituto (5.4) presenta algunos conceptos básicos en relación con el tema, lo mismo que el numeral 5.4.4 del manual de drenaje para carreteras (5.9). Su instalación está considerada como Actividad 1137 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

5.2.1.3. Introducción de elementos estructurales resistentes en el cuerpo del talud

Esta técnica tiene por finalidad aumentar la resistencia al esfuerzo cortante mediante la introducción de elementos que mejoren la resistencia del subsuelo en la superficie de falla (pilotes, micro pilotes, columnas de jet grouting), o la introducción de elementos que aumenten las fuerzas tangenciales en la superficie de falla (anclajes).

Las pantallas de pilotes y micro pilotes son estructuras típicas para mejorar la resistencia del subsuelo, al atravesar la zona deslizada o con posibilidad de deslizamiento y empotrarse en el estrato competente. El jet grouting (5.10) es una técnica que consiste en inyecciones de mortero mediante chorros a alta presión dirigidos lateralmente a las paredes de un pozo. Este chorro excava y mezcla al mismo tiempo el suelo; para mejorar la acción de corte, se añade aire a presión. El resultado es una inclusión de suelo mortero con mayor resistencia que el suelo original.

Los anclajes, por su parte, se utilizan para aplicar fuerzas dentro de una masa de suelo o roca con el fin de mantener o restablecer su estabilidad. Los sistemas de anclaje han constituido una solución idónea para estabilizar muchos cortes carreteros en rocas y suelos. Para un eficiente comportamiento y por tanto un buen resultado, es preciso considerar todos los aspectos esenciales para el análisis y el diseño, así como revisar detalladamente las dificultades constructivas y considerarlas claramente en los planos constructivos y especificaciones que se generen para la obra. El numeral 7.6 del manual de estabilidad de taludes del Instituto (5.4) se refiere en detalle a este tipo de tratamiento de estabilización.

El anclaje es un sistema constructivo versátil que se adapta a condiciones geotécnicas muy variadas, utiliza la capacidad del suelo o roca donde se instala como medio de soporte, ocupa menos espacio durante su instalación que otros sistemas y, en el caso de las carreteras, mantiene la estabilidad de taludes en situaciones especiales donde constituye la única solución posible.

5.2.1.4. Estructuras de contención

Las estructuras de contención se utilizan para corregir fallas de taludes de carreteras, incrementando las fuerzas que tienden a resistir la falla. El numeral 7.6 del manual de estabilidad de taludes del Instituto (5.4) analiza detalladamente este tipo de estructuras, entre las cuales las de concreto y gaviones son las que se encuentran con mayor frecuencia

en la red vial nacional no concesionada. Varias de estas estructuras están consideradas dentro de las especificaciones de construcción de carreteras del Instituto: los muros de contención de concreto en el Artículo 630, los de tierra estabilizada con paneles de concreto en el Artículo 680, los de gaviones en el Artículo 681 y los de tierra estabilizada mecánicamente con geosintéticos en el Artículo 683.

5.2.2. Medidas para la protección superficial de taludes

Cuando el talud no está en riesgo de deslizamiento o no tiene problemas de estabilidad, se pueden adoptar algunas medidas preventivas de protección superficial, con el propósito de eliminar los problemas de materiales caídos, aumentar la seguridad del talud frente a fallas superficiales, evitar o reducir la erosión en el frente del talud, impedir la entrada de agua de escurrimiento superficial al talud, etc.

La erosión consiste en la formación de cárcavas o cauces en el plano que conforma la superficie del talud, a causa del escurrimiento de aguas superficiales (Figura 5-4). Para prevenir su efecto adverso, el encargado del mantenimiento deberá inspeccionar y mantener con regularidad las zanjas de coronación, las cunetas y las bajantes de agua y sus revestimientos, los muros de cabecal de las tuberías y del alcantarillado y el revestimiento de los taludes.

Figura 5-4 Erosión de un talud de corte (5.11)



Usualmente, el trazado de una carretera modifica los sistemas naturales de drenaje de una zona. Ello puede incidir negativamente concentrando flujos de agua que pueden provocar pérdidas intensas de suelo en zonas puntuales del entorno de la vía donde no se han construido los sistemas de desagüe, o en los que su ejecución no ha sido correcta (Figura 5-5).

Figura 5-5 Cárcava producida por un desagüe mal construido (5.11)



La mayoría de las fallas de los taludes son ocasionadas por el agua. El agua lluvia se transforma en superficial en el talud y fluye hacia abajo erosionando el suelo expuesto o se infiltra contribuyendo a la inestabilidad de la masa. Por lo tanto, las cunetas, bordillos y canales que existan en los bordes de terraplenes de gran altura y las zanjas de coronación construidas en la parte superior de los taludes de corte deben ser inspeccionados periódicamente y toda obstrucción que se encuentre en ellos debe ser removida. Se debe evitar que cualquier flujo del agua concentrada en estos elementos se desvíe hacia otros diferentes al drenaje vertical.

Además de la provisión, la revisión continua y el mantenimiento apropiado de los dispositivos de drenaje superficial como medio de controlar la erosión de los taludes, existe una gran cantidad de métodos y productos apropiados para ello (5.6, 5.11, 5.12 y 5.13): geotextiles, geomallas, geogrillas, mantos sintéticos, tejidos orgánicos, vegetación, fajas, impermeabilizaciones, etc.

La implantación de vegetación constituye uno de los mejores mecanismos para el control de la erosión de los taludes. Debido a la baja fertilidad de los taludes, resulta conveniente el uso de prácticas que mejoren la capacidad del suelo para que las plantas puedan colonizarlo, teniendo en cuenta que son técnicas que habitualmente se usan como complemento de otras, como pueden ser la hidrosiembra (Figura 5-6), las mantas orgánicas, y las plantaciones (Figura 5-7). Al crecer las plantas en la cara del talud, disipan la energía de las lluvias, sus raíces retienen las partículas del suelo, alivian el cambio de temperatura en la superficie del terreno y mejoran el paisaje. La Tabla 5-1 recoge los beneficios de la vegetación sobre la erosión superficial y describe, además, su influencia sobre la estabilidad del talud.

Figura 5-6 Aplicación de hidrosiembra sobre un talud de corte (5.11)



Figura 5-7 Implantación de pasto vetiver en un talud



Fuente: <http://www.vetiver.com.co/index.php/productos-y-servicios>

Tabla 5-1 Efectos de la vegetación en relación con la erosión y la estabilidad de los taludes (5.11)

| | | |
|---|---|--|
| Influencia en la erosión superficial | Protección mecánica | El follaje y los residuos de las plantas disipan la energía de la lluvia y previenen la separación de las partículas del suelo por salpicadura |
| | Refuerzo biomecánico del suelo en profundidad | Las raíces retienen las partículas del suelo aumentando la resistencia a la erosión laminar y, sobre todo, al flujo concentrado |
| | Retención | El follaje y los tallos incrementan la aspereza del terreno, disminuyendo la velocidad de escorrentía |
| | Infiltración | Las plantas y otros residuos ayudan a mantener la porosidad y la permeabilidad del suelo, retrasando el inicio de la escorrentía |
| Influencia en la estabilidad del talud | Refuerzo de las raíces | Las raíces refuerzan mecánicamente el suelo transfiriendo la tensión de corte del suelo a una resistencia a tracción sobre ellas |
| | Disminución de la humedad del suelo | La transpiración y la interceptación por el follaje pueden reducir la humedad y limitar el aumento de las presiones de poro en el suelo |
| | Refuerzo | Los tallos pueden actuar como pilotes de refuerzo o contrafuertes de un arco, para contener las fuerzas de corte |
| | Sobrecarga | En algunas circunstancias, el peso de la vegetación puede incrementar la presión de confinamiento de la capa de deslizamiento del talud |

Aunque normalmente se debe considerar siempre la vegetación como el sistema básico de estabilización para los taludes en suelo o roca meteorizada y a primera vista la solución parece sencilla, el establecimiento de vegetación en un talud no es fácil y se deben hacer consideraciones especiales para su implementación. Como no existen especies vegetales de aplicación universal, se debe acudir siempre a los expertos forestales para escoger las especies de pasto, hierba, arbusto o árbol que se deben utilizar en cada caso específico, teniendo en cuenta la experiencia local y las diferencias de tolerancias y hábitos de las distintas especies. Como regla general, nunca se debería plantar una sola especie sino un

conjunto de variedades, de forma que se recupere el sistema vegetativo original. Se debe considerar, además, el manejo apropiado de las técnicas de vegetación para ayudar en el proceso natural de recuperación (5.6).

La combinación de vegetación con elementos estructurales adicionales, ha demostrado ser muy eficaz. Pastos y plantas implantadas con el fin de brindar refuerzo al suelo se pueden sembrar en conjunto con muros de contención o sistemas estructurales de estructura abierta, con espacios para el crecimiento de la vegetación. El uso de trinchos con estacas vegetales y de muros criba con maderas y ramas de maleza han constituido soluciones muy interesantes en el país en relación con la prevención de la erosión.

Los mantos orgánicos o sintéticos junto con la vegetación, también conforman una protección integral contra la erosión. Los primeros, conocidos como biomantos, son elaborados generalmente con fique solo o combinado con otras fibras naturales, y se desintegran después de que las plantas crecen y se establecen de manera permanente (Figura 5-8). De acuerdo a la experiencia nacional, es costumbre colocar debajo del manto un lodo fertilizado, el cual está compuesto por tierra orgánica, tierra arcillosa, estolones picados de gramíneas, semillas de gramíneas predominantes de la región, fertilizantes químicos y un hidrorretenedor (5.6).

Figura 5-8 Protección de un talud con un biomanto de fique (5.6)



Las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual consideran varias opciones para prevenir la erosión causada por el agua en los taludes de la carretera: mediante zanjas de coronación, mediante cobertura con mampostería de piedra, con material vegetal, con productos enrollados para control de erosión, empleando recubrimientos con malla y mortero y, en el caso específico de los taludes de los terraplenes, construyendo o manteniendo bordillos, cunetas de concreto y bajantes de agua.

Aunque muchos deslizamientos se pueden prevenir o minimizar si se aplica un mantenimiento cuidadoso y conveniente, la ocurrencia de pequeños derrumbes es siempre inevitable. Cuando ellos se produzcan, el personal de mantenimiento no sólo deberá remover el material caído a la mayor brevedad sino que, además, deberá tener el cuidado de dirigir siempre las aguas superficiales hacia afuera del área del deslizamiento. Así mismo, deberá abstenerse de realizar acciones como la excavación de la pata del talud, la remoción de su soporte lateral, permitir el estancamiento de agua en el talud, bloquear áreas o estructuras de drenaje, incluidas cunetas, tuberías o alcantarillas.

Si un deslizamiento de una sección de carretera causa continuamente el asentamiento de la calzada, se debe evitar la renivelación continua de la superficie, por cuanto ella lo que hace, en últimas, es agregar más peso al deslizamiento incrementando el problema.

5.2.3. Macizos rocosos

Siempre que haya taludes en roca al lado de la carretera, existe el peligro de que se presenten desprendimientos de bloques por la meteorización de la roca (Figura 5-9). Estos taludes se deben inspeccionar con regularidad, debiendo removerse manualmente los bloques que se encuentren sueltos, mediante barras, picas u otras herramientas apropiadas (Figura 5-10). La eliminación manual de bloques está considerada como Actividad 1131 dentro de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

Todos los bloques de roca que caigan sobre la carretera deberán ser retirados inmediatamente.

Figura 5-9 Caída de bloques de roca (5.13)



Figura 5-10 Despedrado manual de un talud de roca



Fuente <https://www.youtube.com/watch?v=DcZt1rmNJAe>

Otros tratamientos posibles para el manejo de los bloques inestables, en especial cuando su volumen es importante, son la instalación de pernos para fijar los bloques (cuando estos son de grandes dimensiones, se debe utilizar anclaje) y la instalación de mallas en toda la superficie del talud para controlar los desprendimientos (Figura 5-11), tratamiento este último incluido como Actividad 1136 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

Figura 5-11 Malla para el control de desprendimiento de taludes (5.13)



5.3. SISTEMA DE DRENAJE

Parte importante de los deterioros de las carreteras está relacionada con la acción del agua sobre los suelos que conforman la obra básica y sobre la estructura del pavimento. En el capítulo tercero del manual de drenaje para carreteras del Instituto (5.9) se describe el

efecto adverso del agua que fluye sobre la corona de una carretera pavimentada y la manera de enfrentarlo, mientras que en el capítulo quinto del mismo se analiza la incidencia del agua subsuperficial y se presentan métodos para el diseño de los elementos necesarios tanto para drenar la estructura del pavimento, como para mantener el agua subterránea alejada de la plataforma del camino.

La experiencia nacional e internacional ha demostrado que cuando una carretera dispone de un sistema de drenaje suficiente y eficiente, disminuye sustancialmente la probabilidad de que se presenten fallas y otras situaciones que afectan adversamente el tránsito vehicular y reducen sustancialmente la vida de los pavimentos.

Los dispositivos de drenaje de las carreteras se deben mantener, tanto como sea posible, en las mismas condiciones y a la capacidad para los que fueron diseñados y construidos. Ellos se deben inspeccionar al menos dos veces por año y sus deficiencias se deben corregir tan pronto como se descubran. Se deben adelantar inspecciones adicionales durante la época de lluvias, con el fin verificar su real efectividad.

El Instituto dispone de un manual para la inspección visual de las obras de drenaje de las carreteras (5.14), donde se describen los deterioros que las afectan con mayor frecuencia, se mencionan sus causas posibles y se califican sus niveles de gravedad. El documento contiene, así mismo, formularios para el registro de los resultados de la inspección de las obras comunes de drenaje superficial y subterráneo de las carreteras.

En el caso de los elementos de drenaje superficial, la necesidad de mantenimiento más evidente es, por supuesto, su limpieza. Le siguen los procedimientos para evitar o corregir socavaciones y la reparación de los daños que los aquejen (agrietamientos, desportilladuras, desuniones, hundimientos, etc.). Siempre que se realicen reparaciones, se debe tener en cuenta que la sección original de escurrimiento responde a un diseño destinado a satisfacer una necesidad hidráulica, por lo que es conveniente que los trabajos que se realicen mantengan o incrementen esa sección.

Las Actividades 1411, 1412, 1413 y 1421 de las especificaciones de mantenimiento de este manual consideran la limpieza de los principales elementos del drenaje superficial vial, y las Actividades 1414, 1415, 1416 y 1422 se refieren a las reparaciones que se les pueden realizar como parte del mantenimiento.

En el caso del subdrenaje de la plataforma, el primer problema que se presenta con motivo de las inspecciones durante la etapa de operación de la carretera es el relacionado con la localización exacta de los subdrenes. La única referencia disponible suele ser su descarga en las cajas de las alcantarillas, por lo que resulta recomendable establecer sistemas de referencia adecuados que permitan replantear su posición verdadera en cualquier momento.

Las raíces que crecen en su interior y la colmatación del material permeable constituyen las principales causas del mal funcionamiento de los subdrenes. Por lo general, es necesario excavar algunos tramos de ellos para establecer el verdadero origen de la falla. Si bien es posible remover las raíces que se encuentren cerca de la boca de salida, si se comprueba la colmatación la única alternativa consiste en el reemplazo completo del tramo afectado de la obra. La Actividad 1522 de las especificaciones de mantenimiento se refiere al reemplazo de subdrenes cuyo funcionamiento sea deficiente.

Los estudios recientes concernientes al diseño y a la duración de los pavimentos sugieren que uno de los factores que más afectan su comportamiento está relacionado con la rapidez con la que se pueda evacuar el agua que se infiltra en la estructura del pavimento durante y después de una precipitación. En atención a ello, se recomienda diseñar y construir los pavimentos con un sistema interno que se encargue de evacuar las aguas de infiltración. Estas medidas son fáciles de implementar cuando se trata de un pavimento nuevo pero, desafortunadamente, no están dirigidas al reacondicionamiento de pavimentos en servicio. Como dice el manual de drenaje para carreteras del Instituto (5.9), *“el agua que ha ingresado a un pavimento durante varios años tiende a desarrollar su propias trayectorias de flujo bajo la influencia de la gravedad y del impacto de las cargas del tránsito. No es probable, por lo tanto, que elementos nuevos de drenaje (del agua de infiltración) modifiquen inmediatamente unas rutas bien establecidas de migración del agua interna en la estructura, ni que resulten tan efectivos como un sistema diseñado y construido para un pavimento nuevo”*. Tanto por este motivo, como por el hecho de que ningún pavimento de la red vial a cargo del Instituto fue provisto durante su construcción de un sistema específico para drenar el agua de infiltración, la consideración de acciones de mantenimiento por este concepto no resulta necesaria en este manual.

5.4. MUROS

Un muro es cualquier estructura continua que produce de forma activa o pasiva un efecto estabilizador sobre una masa de terreno. Según su tipología funcional, pueden ser de recubrimiento, sostenimiento y de contención, mientras que atendiendo a sus materiales y forma de fabricación pueden ser de concreto, mampostería, prefabricados, de escollera, de gaviones, vegetados y de madera (5.15). Los más comunes en la red vial nacional son los de concreto y gaviones.

El comportamiento de los muros se puede ver afectado de manera adversa debido a múltiples factores ambientales y humanos. Sin un mantenimiento rutinario apropiado, la vida de servicio de un muro se puede reducir considerablemente, obligando a la ejecución de trabajos correctivos o, inclusive, a su demolición y reemplazo en un plazo inesperadamente breve.

Algunos requisitos para el mantenimiento rutinario de los muros de contención se resumen en la Tabla 5-2. La mayoría de ellos son comunes a todos los tipos de muros, pero su

importancia puede ser mayor o menor dependiendo del tipo de muro y del ambiente circundante. Estos y otros trabajos que resulten necesarios según el tipo y el material del muro, deben ser detallados por el administrador de mantenimiento vial durante sus inspecciones de rutina y se deberán incorporar a las actividades a cargo de las microempresas asociativas. Los formularios del Instituto para la recolección de información en relación con la condición de los muros se encuentran en la referencia 5.5.

Normalmente, los trabajos de mantenimiento periódico o de rehabilitación solamente se requieren cuando el muro se ha deteriorado al punto de resultar necesarias unas reparaciones sustanciales.

Tabla 5-2 Mantenimiento rutinario de muros (5.16)

| Ítem | Requerimientos típicos de mantenimiento |
|--|---|
| Vegetación no planeada | Remover |
| Vegetación planeada | Podar para controlar el crecimiento Fertilización en la zona de las raíces |
| Recubrimiento rígido (por ejemplo, concreto lanzado) | Remover la vegetación indeseable que crece sobre o alrededor del recubrimiento Reparar las grietas con mortero de cemento o con masilla para sellado |
| Sistema de drenaje superficial del muro | Retirar escombros, vegetación y otras obstrucciones Reparar las grietas con mortero de cemento o con masilla para sellado |
| Orificios de drenaje a través del muro (lloraderos) | Eliminar las obstrucciones de las salidas de los orificios Eliminar las obstrucciones profundas mediante chorros de agua a presión |
| Materiales y revestimientos estructurales | Buscar evidencias de pandeo, inclinación, o asentamiento y de corrosión del refuerzo Reparar agrietamientos menores y desprendimientos superficiales; hacer seguimiento si se presume que el deterioro puede progresar Limpiar decoloraciones antiestéticas o manchas superficiales (por ejemplo, bajo los orificios de drenaje) Limpiar pintadas (grafitis) Remplazar llenantes y sellantes de juntas que se hayan perdido o deteriorado |

Los muros de contención se deben inspeccionar periódicamente buscando evidencias de pérdida de material del relleno, agrietamientos, deficiencias de drenaje, pérdida del material sellante de las juntas, inclinación, asentamiento, deformación, desplazamiento de bloques en muros de mampostería, o el desarrollo de grietas de tensión en el terreno próximo al muro. Si las inspecciones indican movimientos anormales, como pueden ser un movimiento diferencial de las juntas, la rotación o el asiento no uniforme en una sección del muro, se deberán establecer las causas del movimiento y su significado. Dependiendo de la importancia de los movimientos, las acciones por acometer pueden ser:

- Control a corto o largo plazo de cota, alineación e inclinación
- Rebajar la sobrecarga del muro

- Mejorar el drenaje en la parte posterior del muro y a través del mismo
- Retirar y reemplazar el material defectuoso o deteriorado
- Reforzar la cimentación por recalce o pilotaje

Por supuesto, las acciones por adoptar deben estar de acuerdo con el tipo y otras características del muro, así como el lugar donde se encuentra, lo que pone de relieve la importancia de los datos que se conserven en los archivos sobre su diseño y construcción. Todas las observaciones hechas durante las inspecciones rutinarias deben quedar documentadas, de manera que se pueda disponer de una hoja de vida para cada muro. El uso de listas de verificación ayuda a reducir la posibilidad de omisiones al hacer los reportes.

Acciones relacionadas con el mantenimiento rutinario de muros se tratan en las Actividades 1151 a 1154 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

5.5. CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS

El manual chileno de mantenimiento vial (5.17) expresa, en relación con las calzadas pavimentadas, lo siguiente: *“En consideración a las elevadas inversiones involucradas, a los limitados períodos de vida útil que se alcanzan y a las crecientes interferencias con el tránsito que producen las reposiciones complementarias de los pavimentos, en los últimos años y en casi todo el mundo se le ha dado una creciente importancia a establecer nuevos y mejores métodos de mantenimiento de los pavimentos. En la actualidad se cuenta con una serie de nuevas herramientas que, al permitir prever y cuantificar los daños e intervenir con el procedimiento más adecuado en el momento más oportuno, logran prolongar significativamente la vida útil de un pavimento”*.

Estas nuevas herramientas incluyen no solamente procedimientos para determinar de manera más objetiva las capacidades estructural y funcional de los pavimentos sino, además, elementos de programación que permiten prever la aparición de deterioros con suficiente anticipación para actuar sobre los pavimentos de manera preventiva sin tener que esperar que el estado de los pavimentos alcance un nivel de deficiencia que obligue a la rehabilitación o a la reconstrucción como únicas alternativas. Estos métodos, junto con otros de tipo administrativo, son los que han revolucionado el concepto del mantenimiento vial, generando los sistemas de administración de pavimentos.

Dada su preponderancia dentro de la globalidad del mantenimiento vial, el análisis de las necesidades de mantenimiento de las vías pavimentadas se trata con detalle en los Capítulos 6 y 7.

Las carreteras en afirmado, que en 2014 constituían el 22 % de la red primaria y buena parte de la terciaria a cargo del Instituto Nacional de Vías, están sometidas a tránsitos de menor volumen y no reciben el amparo de los procedimientos de evaluación sofisticados que se aplican para evaluar la condición de las carreteras pavimentadas. Mas no por ello deben carecer de atención. Su condición y sus necesidades de mantenimiento se establecen a partir de la inspección visual y de algunas pruebas elementales de ingeniería como se describe, también, en los Capítulos 6 y 7.

5.6. ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN Y DE SEGURIDAD VIAL

El manual de señalización vial del Ministerio de Transporte (5.18) dispone que *“toda señalización tiene una vida útil en función de los materiales utilizados en su fabricación, de la acción del medio ambiente, de agentes externos y de la permanencia de las condiciones que la justifican. Por ello, es imprescindible que las autoridades responsables de la instalación y mantenimiento de las señales levanten un inventario de ellas y cuenten con un programa de mantenimiento e inspección que asegure su oportuna limpieza, reemplazo o retiro.*

La señalización limpia, legible, visible, en buen estado y pertinente inspira respeto en los conductores y peatones. A su vez, cualquier señal que permanece en la vía sin que se justifique, o se encuentra deteriorada, dañada o rayada, solo contribuye a su descrédito y al de la entidad responsable de su mantenimiento, y constituye además un estímulo para actos vandálicos.

Los programas de conservación de vías deben incluir el reemplazo de dispositivos de señalización defectuosos, un mantenimiento rutinario de limpieza y lavado, y el retiro de aquellos que no cumplan con el objeto para el cual fueron instalados debido a que han cesado las condiciones que obligaron a su ubicación.

En los programas de mantenimiento se deberán programar mediciones periódicas de los niveles de retrorreflectividad de la señal tal como se encuentra en la vía y mediciones luego de hacer limpieza al tablero, con el objeto de hallar los niveles de retrorreflectividad percibidos por el usuario y determinar si la señal requiere limpieza o reemplazo por estar debajo de los niveles mínimos establecidos en este Manual”.

La finalidad del mantenimiento de la señalización vial *“es conservar las señales, las demarcaciones y demás dispositivos, de manera que permitan a los usuarios de la vía su fácil identificación, lectura e interpretación. (.....). El mantenimiento de la señalización debe propender por que el proyecto de señalización continúe siendo funcional y consistente con la geometría de la vía, al tiempo que contribuya con una circulación cómoda y segura para todos los actores de la movilidad”* (5.19). El mantenimiento apropiado de los dispositivos de señalización y de seguridad vial no solamente es importante para la máxima protección del público que hace uso de la vía sino, además, para la buena apariencia general del entorno de la carretera.

Teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los elementos de señalización a algunos agentes adicionales al medio ambiente, como vandalismo, accidentes, derrumbes, etc., las actividades requeridas para sus mantenimientos rutinario y periódico son muy variadas.

El mantenimiento rutinario de los elementos de señalización se refiere, principalmente, a su limpieza, aunque también comprende el reacondicionamiento (corrección de problemas de tornillería, de orientación o inclinación) y el repintado de la parte dorsal y del poste de las señales verticales. Los elementos verticales de regulación del tránsito, considerados en el Capítulo 5 del manual de señalización vial del Ministerio de Transporte (5.18), también deben ser objeto de limpieza, reacondicionamiento o reemplazo siempre que lo requieran. En particular, los delineadores verticales de alineamiento se deben mantener siempre en posición vertical, enfrentando al tránsito y con sus reflectores libres de cualquier material que los pueda oscurecer. La limpieza de las señales verticales está considerada como Actividad 1511 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual, mientras que las Actividades 1531 y 1532 de las mismas se refieren al mantenimiento de los delineadores verticales de alineamiento.

Es necesario, además, retirar las ramas, hojas y/o vegetación que se encuentren frente a las señales verticales y de guía y obstruyan o puedan obstruir su visibilidad, así como eliminar cualquier anomalía que impida leer e interpretar claramente su mensaje (publicidad, rayones, grafitis, calcomanías, etc.). El manual de señalización vial determina que *“los dispositivos de control de tránsito y sus soportes no podrán mostrar ningún elemento que no tenga relación directa con la reglamentación del tránsito”* (5.18).

Dentro de las actividades de mantenimiento de las señales verticales y de guía se encuentran, además, la instalación de las señales nuevas que se requieran, el retiro de aquellas que no cumplan su función y la reparación de defensas metálicas. La instalación se debe encomendar a personas debidamente entrenadas para este trabajo, por cuanto los materiales de las señales son delicados, costosos y fáciles de dañar. El reemplazo de señales verticales en mal estado se trata en la Actividad 1512 de las especificaciones de mantenimiento, el suministro e instalación de señales nuevas en la Actividad 1513, y la limpieza y la reparación de las defensas metálicas se consideran en las Actividades 1541 y 1542.

En relación con la señalización horizontal, la superficie de rodadura se debe limpiar de manera rutinaria para garantizar la visibilidad de todas las marcas y símbolos existentes sobre la estructura de pavimento. Asimismo, es necesario retirar de manera permanente tanto la vegetación, como cualquier otra obstrucción que afecte o pueda afectar la correcta visibilidad de las líneas de borde del pavimento.

Los elementos que constituyen la señalización de la carretera se debe inspeccionar también de manera frecuente, para establecer si satisfacen de manera correcta los requerimientos de los diferentes actores de la movilidad, proporcionando una circulación bajo criterios apropiados de seguridad y comodidad. En ese orden de ideas, el mantenimiento de la

señalización tiene por finalidad evitar el deterioro de los elementos que la componen, reemplazar los que no estén cumpliendo las normas aplicables, en particular en relación con la reflectividad, y garantizar su correcto uso y ubicación de acuerdo con las características de la carretera. No existe una norma absoluta que permita determinar cuándo una señal se puede reparar y mantener en servicio y cuándo es necesario reemplazarla. En general, una señal se debe reemplazar cuando no se pueda reparar económicamente para que su apariencia sea impecable.

En cuanto a la señalización horizontal, su mantenimiento periódico comprende, básicamente, el repintado de la demarcación existente sobre la superficie de rodadura cada vez que se determine que ha perdido su efectividad. También, incluye el borrado de las líneas temporales de demarcación o de aquellas que ya no tienen uso práctico, pues confunden a los conductores, a quienes les puede resultar imposible distinguir las marcas obsoletas de las vigentes. Los métodos aceptables para el borrado de la demarcación de un pavimento son el microfresado, la proyección de abrasivos y el chorro de agua de muy alta presión (*"ultra high pressure hydroblasting"*) (Figura 5-12). Siempre que se emplee alguno de estos métodos para eliminar leyendas, se debe remover toda la superficie comprendida dentro de su contorno. Si no se procede de esta manera, el mensaje se puede seguir leyendo como resultado de la cicatriz que deja en el pavimento el borrado de él. El empleo de pintura o de emulsión asfáltica para cubrir líneas, símbolos y leyendas sólo se puede aceptar con un carácter estrictamente temporal, en tanto se hace la reparación definitiva. Por temporal se debe entender un lapso no mayor de seis meses.

El repintado de la demarcación del pavimento está considerado como Actividad 1521 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual, mientras la eliminación de líneas y marcas existentes constituye la Actividad 1522.

Figura 5-12 Eliminación de marcas viales con chorro de agua de muy alta presión



Fuente: <http://www.westernhydroblasting.com/highways.html>

5.7. OBRAS DE PASO

Se definen como obras de paso aquellas que salvan una discontinuidad en el trazado de una vía con el fin de conseguir el paso de ella. De acuerdo con esta definición, las obras de paso comprenden tanto puentes y viaductos, como alcantarillas de tubo y de cajón. Sin embargo, como estas últimas se consideran normalmente dentro de las obras de drenaje, el término se aplica, por lo general, a los puentes y viaductos.

La preservación de estas estructuras es el conjunto de acciones o estrategias que previenen, retardan o reducen su deterioro o el de sus elementos, manteniéndolos en buena condición y prolongando la vida de servicio de la estructura. Las acciones de preservación pueden ser preventivas o de rehabilitación. Para que un programa de preservación de puentes y viaductos sea efectivo, debe emplear estrategias y prácticas de largo plazo a nivel de red para conservar su condición y extender su vida útil, disponer de recursos permanentes y suficientes y, además, poseer herramientas y procesos eficientes que aseguren la aplicación de los tratamientos más rentables en los momentos oportunos. A ello apunta el sistema de administración de puentes de Colombia (SIPUCOL), en cuyo manual número 5, el lector podrá encontrar una lista completa de acciones de mantenimiento rutinario y limpieza.

SIPUCOL define como obras de mantenimiento aquellas que se ejecutan para devolver un componente estructural a una condición aceptable, así como los trabajos que se realicen para evitar o demorar el desarrollo de daños (mantenimiento preventivo). El mantenimiento preventivo se debe aplicar a los elementos o componentes de estructuras que tengan una vida útil remanente significativa. Como parte importante de la preservación de los puentes, el mantenimiento preventivo es una estrategia para prolongar la vida útil de estructuras sanas (condición buena o aceptable) mediante la aplicación de tratamientos eficaces en función de su costo. El concepto del mantenimiento preventivo sugiere que se debe adelantar una estrategia planeada de tratamientos rentables para conservar los puentes en buenas condiciones, diferir sus deterioros y evitar cuantiosas inversiones y pérdidas de tiempo en trabajos de reconstrucción o sustitución. Dentro de las actividades de mantenimiento preventivo de los puentes se encuentran, sin carácter limitativo:

- Reparación y reposición de juntas
- Limpieza y reposición de drenajes
- Sellado de grietas
- Limpieza y pintura de elementos de acero
- Remoción de obstrucciones en el cauce
- Protección contra la socavación
- Lubricación de rodamientos
- Reparación de vainas de protección de tirantes
- Reposición de la capa de rodadura

El mantenimiento preventivo de los puentes incluye actividades cíclicas (que no se basan en la condición) y actividades reactivas (en respuesta a la condición). Las primeras se realizan a intervalos preestablecidos y tienen por finalidad preservar las condiciones de los elementos de la estructura, no con la intención expresa de mejorarlos sino, básicamente, la de retrasar su deterioro. Ejemplos de ellas son el lavado y la limpieza del tablero o de la totalidad del puente, la desobstrucción de drenajes y la lubricación de rodamientos.

Las actividades reactivas se realizan sobre los elementos de los puentes de acuerdo con las necesidades identificadas a través de los procesos de inspección. Ellas se practican en puentes cuya condición general es aceptable, pero que tiene elementos que requieren restauración. Como en el caso del mantenimiento preventivo cíclico, las actividades de mantenimiento reactivo incrementan la vida útil de los puentes, así no se busque expresamente esa finalidad. La guía de preservación de puentes de la FHWA (5.20) presenta muchos ejemplos de actividades de mantenimiento preventivo que pueden prolongar la vida de los puentes.

El Instituto dispone de un manual para la inspección visual de los puentes de las carreteras nacionales (5.21), donde se pormenorizan los deterioros que afectan con mayor frecuencia los puentes de concreto y metálicos, se mencionan sus causas posibles y se califican sus niveles de gravedad. La atención oportuna a estos deterioros exige intervenciones de mantenimiento rutinario y periódico, dado que su evolución en gravedad o en magnitud puede llegar a comprometer seriamente su estabilidad. Así mismo, la referencia 5.22 presenta un completo análisis de los daños que aquejan los puentes de la red vial nacional. Algunos de los deterioros más frecuentes se describen de manera resumida a continuación.

Socavación de estribos, aletas y pilas (Figuras 5-13 y 5-14)

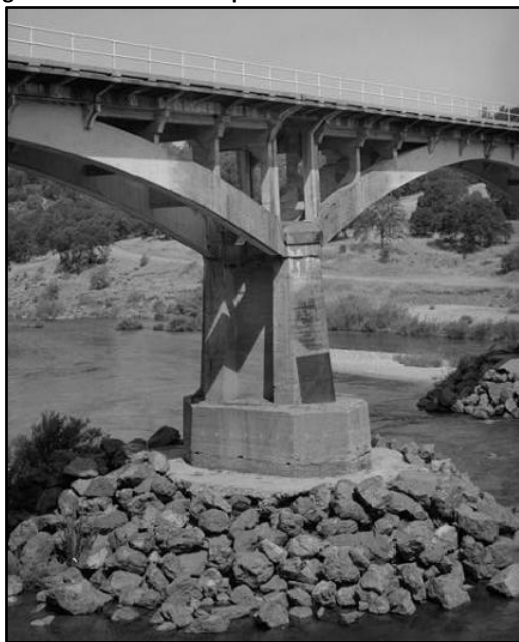
La socavación de los apoyos es la principal causa de colapso de los puentes; por tal razón, requiere de atención inmediata cuando se presente y la adopción de medidas de protección cuando exista el riesgo de que ocurra, de forma de recuperar o mantener la totalidad del área de apoyo de la estructura.

La Actividad 1629 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual está relacionada con el recalce de cimentaciones de puentes que hayan perdido contacto con el material de fundación.

Figura 5-13 Socavación de estribo y aletas



Figura 5-14 Enrocado de protección contra la socavación



Fuente: <http://chamani.iut.ac.ir/23ier-scour>

Deterioro de las juntas de dilatación (Figura 5-15)

Las juntas de dilatación requieren mantenimiento continuo, dado que están sometidas a la acción del impacto por parte de las cargas vehiculares cuando hay asentamientos en los terraplenes de acceso a los puentes. Asimismo, existe la posibilidad de que ingresen en ellas materiales incompresibles que restrinjan los movimientos horizontales y verticales que deben soportar, deteriorando el sello y permitiendo el paso de agua y la afectación que de ello se deriva en los elementos inferiores de la estructura. La deficiencia se puede deber, también, a la corrosión de ángulos y platinas de juntas metálicas, al desprendimiento de sus ángulos, etc.

En la Actividad 1624 de las especificaciones de mantenimiento incluidas en este manual se dan pautas para la remoción y el reemplazo de juntas de dilatación deterioradas.

Figura 5-15 Deterioros en las juntas de dilatación

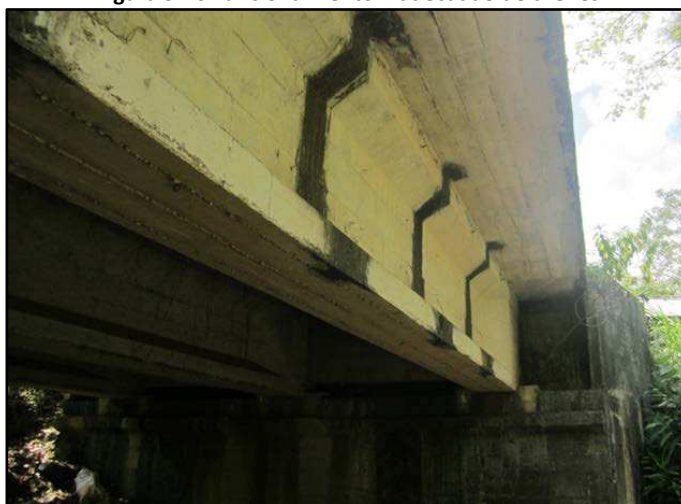


Ausencia o funcionamiento inadecuado de drenes (Figura 5-16)

La carencia de drenes o el funcionamiento inadecuado de los existentes por falta de limpieza o escasa longitud da lugar a encharcamientos en la superficie de rodadura y problemas de infiltración que afectan parte de la losa y/o vigas de concreto del puente (Figura 5-16), los cuales pueden incidir su durabilidad.

La Actividad 1615 de las especificaciones generales de mantenimiento se refiere a la limpieza de los drenes de los puentes y la 1627 trata sobre su construcción y reposición.

Figura 5-16 Funcionamiento inadecuado de drenes



Corrosión de elementos metálicos

La corrosión es un mecanismo de deterioro que sufren los elementos metálicos a consecuencia de un ataque químico o electroquímico producido por su entorno. En los puentes metálicos, los elementos más propensos a sufrirla son aquellos expuestos a la acumulación de agua, vegetación y basuras, tales como aletas inferiores de las vigas, platinas de apoyo, conexiones, etc.

Para prevenirla se debe evitar el contacto directo entre el metal y el medio agresivo, bien a través de pintura (Figura 5-17) y limpieza, bien mediante protección catódica, o reemplazando el elemento cuando el fenómeno es de mucha gravedad.

Las Actividades 1622 y 1623 de las especificaciones generales de mantenimiento incluidas en este manual se refieren a la limpieza y pintura de estructuras de acero, y la 1628 está relacionada con la reparación, limpieza y pintura de las barandas de los puentes.

En los puentes de concreto, la corrosión del refuerzo de las vigas genera grietas y da lugar pérdidas de sección y disminución de su capacidad de carga.

Figura 5-17 Protección contra la corrosión mediante pintura (5.20)



Fisuración de elementos de concreto (Figura 5-18)

La fisuración del concreto es atribuible a numerosas causas. Las fisuras pueden afectar únicamente la apariencia de una estructura aunque, también, pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud.

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para remediarlas; de no ser así, las reparaciones pueden durar muy poco tiempo. Los procedimientos de reparación que resultan exitosos a largo plazo son aquellos que enfrentan no solamente las propias fisuras sino, además, las causas que las producen.

Figura 5-18 Fisuras en elementos de concreto



Ausencia de apoyos (Figura 5-19)

La ausencia de apoyos causa fracturas en los elementos de contacto (caja del estribo y cabezal de la pila) debido a la concentración de esfuerzos.

Figura 5-19 Ausencia de apoyos



Presencia de obstáculos dentro del cauce (Figura 5-20)

Aunque la presencia de obstáculos en el cauce no es en sí misma un deterioro, sí puede dar origen al proceso de socavación de los apoyos y a otras acciones que pueden resultar catastróficas para el puente, motivo por el cual la inspección periódica y el retiro de todo tipo de material extraño, depositado, sedimentado y/o vegetación que obstruya el libre paso del agua resulta de la mayor importancia para mantener la capacidad hidráulica de la

obra. La limpieza de cauces es objeto de la Actividad 1441 de las especificaciones generales de mantenimiento que forman parte de este manual.

Figura 5-20 Presencia de obstáculos en el cauce



Deterioro de la superficie de rodadura (Figura 5-21)

La mayoría de los puentes de la red vial nacional tienen una capa de rodadura asfáltica. Su función es suministrar una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura y proteger el tablero contra el envejecimiento y el intemperismo. Los deterioros que se presentan con mayor frecuencia en ella son los desprendimientos de la carpeta y los agrietamientos. Como la reparación de este deterioro implica la remoción y reemplazo parcial o total de la capa asfáltica, se debe tener gran cuidado al remover la capa deteriorada, con el fin de evitar que se produzcan daños al tablero del puente.

La Actividad 1626 de las especificaciones generales de mantenimiento incluidas en este manual se refiere tanto a los trabajos necesarios para reparar desprendimientos y otros deterioros localizados de la capa de rodadura asfáltica de un puente, como a la reposición total de su capa de rodadura.

Figura 5-21 Desprendimientos de la capa de rodadura de un puente



Fuente: <http://www.adpavtec.com/>

Es posible y deseable adoptar todas las medidas posibles de prevención antes de que la necesidad sea muy evidente como resultado de una inspección. Es el caso, por ejemplo, de la toma de medidas contra la socavación en un elemento de la infraestructura del puente que se considera vulnerable a la socavación, antes de que ésta sea detectada durante la inspección rutinaria.

La preservación de los puentes incluye, también, trabajos de rehabilitación para recuperar su integridad estructural y corregir defectos importantes que puedan afectar la seguridad de los usuarios.

Como en el caso de los pavimentos y los afirmados, es posible calificar los puentes de acuerdo con la naturaleza y la extensión de sus deterioros. Por ejemplo, la FHWA ha establecido una calificación de eficiencia ("*sufficiency rating*") de los puentes de carreteras, calculando cuatro factores separados, mediante los cuales se obtiene un valor numérico indicativo de la eficiencia del puente para permanecer en servicio. El resultado de la aplicación del método es un porcentaje, donde 100 representa un puente enteramente eficiente y 0 uno absolutamente deficiente. La fórmula que califica la eficiencia considera la suficiencia estructural, el nivel de servicio, la obsolescencia funcional y la esencialidad para el uso público. Además, incluye un factor de descuento por algunos detalles específicos. La fórmula y la manera de aplicarla se describen en el Apéndice B de la referencia 5.23.

5.8. TÚNELES

5.8.1. Generalidades

La finalidad del mantenimiento de un túnel es conservar sus instalaciones en la condición más próxima a su construcción, con el fin de asegurar su integridad estructural, preservar la inversión de capital y la estética, y ofrecer a los usuarios un tránsito seguro y confortable.

La red de carreteras a cargo del Instituto Nacional de Vías tiene muy pocos túneles, su longitud unitaria es relativamente reducida y, como han sido construidos a lo largo de

muchos años, las técnicas empleadas en su construcción y el equipamiento de que disponen son muy variados, por lo que no resulta posible establecer procedimientos de mantenimiento de aplicación general. En consecuencia, este manual se limita a suministrar un conjunto de criterios mínimos para el manejo de las actividades básicas de mantenimiento y operación, siendo necesario que cada túnel disponga de un plan propio de mantenimiento, adaptado a sus circunstancias particulares, como se describe en el manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento para túneles de carretera en Colombia (5.24): *“el manual de operación y mantenimiento particular de cada túnel deberá indicar los parámetros y estrategias a seguir por el operador público o privado para lograr desarrollar los objetivos principales. El manual de operación y mantenimiento define el modelo general que se deberá tener en cuenta para que el operador establezca todos los procedimientos, directrices y reglamentación que garantice una gestión integral y segura”*.

Hasta el año 2002, un poco antes de que el Instituto Nacional de Vías comenzara a transferir los tramos de carretera sometidos a concesión, la longitud total de túneles en la red vial nacional apenas alcanzaba 18.500 m, de los cuales el 40 % correspondía a solo tres túneles en la carretera entre Bogotá y Villavicencio. Además, la mitad de los túneles existentes en la red nacional tenían longitudes inferiores a 300 m (5.25).

Las actividades de mantenimiento de un túnel comprenden tareas con diferentes tipos de complejidad, como lo indica la siguiente jerarquía:

- Retiro de basuras y escombros
- Limpieza de las estructuras del túnel
- Mantenimiento de las instalaciones electromecánicas, pintura de las instalaciones y restauración del pavimento
- Ensayos, verificaciones, medidas y calibraciones
- Intervenciones programadas
- Intervenciones no programadas
- Rehabilitación

El programa de mantenimiento se debe desarrollar a partir de los registros existentes sobre las instalaciones del túnel. Se deben seguir procedimientos escritos, para asegurar que todas las instalaciones reciben el mantenimiento adecuado. Si durante la ejecución de las tareas de mantenimiento se identifican deficiencias estructurales o de seguridad, ellas se deberán enfrentar de manera prioritaria.

Según la PIARC (5.26), el mantenimiento de un túnel carretero comprende labores preventivas y correctivas. Las primeras son de tipo rutinario y su propósito es reducir la probabilidad de falla y extender la vida de servicio de los componentes. Consisten, fundamentalmente, en la inspección visual, complementada con limpiezas y verificaciones sobre el funcionamiento de los diferentes elementos, revisiones periódicas y reparación de deterioros de poca magnitud, aunque no reparaciones o renovación de elementos estructurales. Todas las actividades de mantenimiento preventivo deben tener una pauta

homologada que indique, como mínimo, el procedimiento de seguridad para actuar, los repuestos y herramientas requeridos, el procedimiento operativo y el personal necesario.

El mantenimiento correctivo se refiere a la corrección de deterioros o defectos no subsanados con el mantenimiento preventivo y constituye la estrategia más efectiva contra las dificultades difíciles de predecir, como pueden ser los daños producidos por impactos de vehículos, las fallas súbitas de los equipos o una falla no anticipada del sistema del túnel. Es necesario desarrollar planes de contingencia con antelación, para atender a la brevedad estas necesidades y restaurar el servicio en el túnel.

Idealmente, las estrategias de mantenimiento de las instalaciones de un túnel deberían constituir un balance entre el mantenimiento preventivo y el correctivo. Se considera que la práctica de mantenimiento del túnel es correcta, cuando aproximadamente 70 % a 80 % de todas sus actividades se realizan bajo el concepto de la prevención (5.27).

El sistema se debe rehabilitar cuando se encuentre cerca de cumplir su vida útil. La rehabilitación, también llamada restauración, implica la ejecución de programas de reparación a gran escala durante períodos largos, con un aporte sustancial de ingeniería y costos elevados. Incluye actividades como la renovación del sistema de ventilación, la sustitución del sistema de iluminación o la ejecución de reparaciones estructurales importantes.

5.8.2. Tipos de actividades de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento deben comprender tanto las obras civiles como los equipos e instalaciones, e incluyen trabajos tan simples como la remoción de escombros, el lavado de las estructuras del túnel, la purga de los drenajes, la pintura de instalaciones y el cambio de bombillas; hasta otros con alto grado de elaboración, como el mantenimiento de los equipos de abastecimiento de energía, iluminación, ventilación, alarmas, extinción de incendios, circuito cerrado de televisión, comunicaciones y la recuperación del pavimento. Además, cubre la ejecución de ensayos, verificaciones y medidas y la calibración de equipos, máquinas y sistemas.

5.8.2.1. Mantenimiento de la obra civil

5.8.2.1.1. Actividades de mantenimiento preventivo

Remoción de escombros

Los escombros generan problemas en relación con la seguridad. Por lo tanto, se deben remover sobre una base regular, ya que obstruyen la visibilidad, pueden causar daños a los vehículos, ensucian los equipos y, además, pueden llegar a representar riesgos de incendio o de accidentes.

Limpieza del túnel

La limpieza es necesaria cada vez que el interior del túnel se vuelva opaco a causa de la suciedad (incluyendo los enchapes que contenga), principalmente para mantener el nivel de reflectancia adecuado desde las paredes del túnel, lo que acrecienta la seguridad y reduce el consumo de energía del sistema de iluminación. Además, hace más fáciles los trabajos de inspección, crea una impresión positiva y de comodidad al usuario y reduce los riesgos de daños y de incendio debido a que se remueven materiales inflamables, corrosivos y tóxicos.

La limpieza consiste en rociar el túnel con agua y detergente, cepillar las superficies con cepillos rotatorios (Figura 5-22) y enjuagarlas empleando chorros de agua. No es posible establecer de antemano la frecuencia de esta operación, por cuanto ella depende de las condiciones ambientales del lugar, del volumen de tránsito que hace uso del túnel y de la cantidad de vehículos que usan combustible diésel. Mientras algunos túneles se deben lavar cada trimestre, otros se podrán lavar una vez al año o, inclusive, a intervalos mayores.

Figura 5-22 Limpieza de un túnel (5.27)



Debido a las características del trabajo, la limpieza se lleva a cabo normalmente durante un cierre programado del túnel. Adicionalmente, se recomienda retirar del área al personal de mantenimiento que sea ajeno a la limpieza, para evitarle riesgos por la baja visibilidad y el ruido, así como librarlo de una exposición innecesaria a los detergentes y a otros productos químicos que se emplean durante el proceso. Todos los sensores y demás equipos instalados en el interior del túnel que puedan sufrir algún deterioro a causa del lavado y enjuague deberán ser protegidos adecuadamente.

La limpieza del túnel corresponde a la Actividad 1711 de las especificaciones que forman parte de este manual.

Una actividad de limpieza que requiere atención permanente es el borrado de pintadas (grafitis), el que se deberá realizar con la mayor prontitud para obtener los mejores

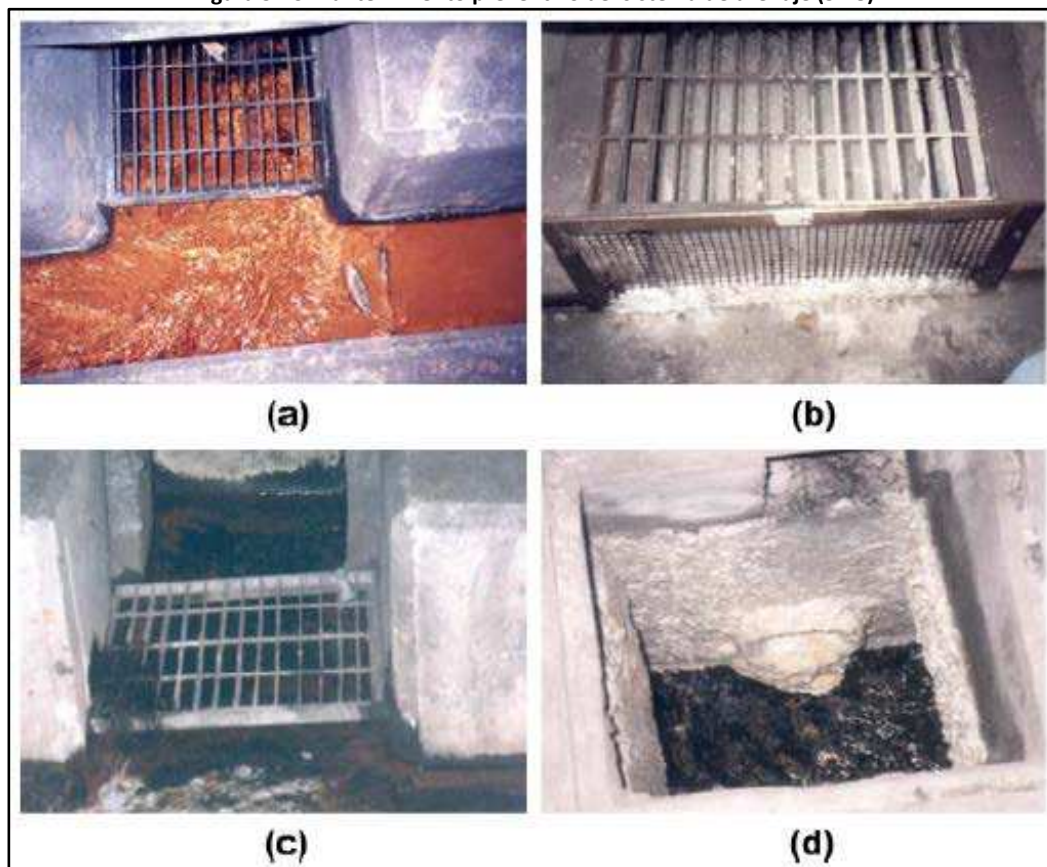
resultados. Al respecto, se puede aplicar la Actividad 1154 de las especificaciones de mantenimiento.

Mantenimiento del sistema de drenaje

Uno de los aspectos más importantes para el mantenimiento de un túnel es el relacionado con el sistema de drenaje y sus elementos complementarios. Los sumideros deben ser limpiados de basura y otros desechos de manera permanente para evitar su obstrucción (Figura 5-23).

Como las aguas subterráneas contienen minerales, generan depósitos en la tubería de drenaje. En consecuencia, las medidas preventivas tienen como propósito evitar el taponamiento del sistema.

Figura 5-23 Mantenimiento preventivo del sistema de drenaje (5.28)



Con el fin de evitar la formación de depósitos endurecidos, el mantenimiento preventivo generalmente incluye:

- Control periódico y enjuagues a baja presión en toda la tubería

- Métodos de neutralización que se emplean para reducir los costos y, al mismo tiempo, facilitan el proceso de mantenimiento. El uso de estos aditivos permite reducir el proceso de suspensión de los minerales en el agua
- Limpiar pozos, sumideros, arquetas de registro y filtros, de manera que se garantice un flujo adecuado del agua o de cualquier otro líquido que se pueda derramar dentro del túnel (aceite, gasolina, etc.)
- Control y mantenimiento de todos los sistemas de bombeo, incluyendo sus instalaciones y componentes

La Actividad 1712 de las especificaciones de mantenimiento se refiere al mantenimiento rutinario del sistema de drenaje del túnel.

Mantenimiento de la señalización

En el mantenimiento de las señalizaciones horizontal y vertical en los túneles se aplican los mismos procedimientos que en el exterior, aunque se debe tener en cuenta que la demarcación horizontal sufre un desgaste mayor, debido a que el ambiente en el interior de un túnel es más agresivo que fuera de él y al hecho de que los vehículos tienden a alejarse de los hastiales, pisando con frecuencia la línea de demarcación y las tachas reflectivas instaladas en el eje de la calzada.

Las marcas viales pintadas sobre el pavimento se deben limpiar cada vez que se pongan opacas, y repintar, preferiblemente con pintura termoplástica, cuando su reflectividad alcance el límite más bajo permitido por la reglamentación vigente. Las tachas reflectivas en mal estado se deben cambiar, así como reponer las que se hayan perdido. Al viajar dentro del túnel a la velocidad admisible, los conductores deben ser capaces de identificar con facilidad todos los elementos de la señalización horizontal. La Actividad 1713 de las especificaciones incluidas en este manual se refiere al mantenimiento rutinario de la demarcación dentro de los túneles.

El manual colombiano de diseño de túneles (5.24) considera que la inspección y el mantenimiento integral de los dispositivos de señalización al interior de un túnel se deben realizar semestralmente.

Las características de las actividades de mantenimiento de la señalización básica del túnel son, en general, las mismas que para las señales ubicadas en el exterior.

Mantenimiento del pavimento del túnel

Siempre y cuando se construya correctamente, un pavimento rígido resulta preferible al interior de un túnel que uno asfáltico, dadas sus menores necesidades de mantenimiento y

mejores condiciones de luminosidad. El manual colombiano de diseño de túneles (5.24) hace perentorio el uso del pavimento rígido siempre que la longitud del túnel exceda de 1000 m y proscribe el uso de mezclas asfálticas abiertas en todos los casos. Debido a que los gradientes térmicos a los que se encuentra sometido el pavimento de un túnel son reducidos, los deterioros motivados en los esfuerzos generados por cambios de temperatura son menos intensos y frecuentes que en el exterior. Salvo ello, las operaciones de mantenimiento son básicamente las mismas, aunque se requieren un par de acciones adicionales: (1) la superficie del pavimento se debe someter periódicamente a operaciones de lavado y barrido mecánico, ya que no se encuentra expuesta a las precipitaciones y los vientos que ayudan a limpiarla en el exterior, y (2) en la zona de contacto entre el pavimento y los sardineles se acumula basura, la que debe ser barrida y aspirada con la misma o mayor frecuencia con que se realiza la limpieza del pavimento.

Como las interferencias que producen las operaciones de mantenimiento del pavimento dentro de un túnel generan mayores riesgos para los operarios y los usuarios que cuando se realizan en el exterior, la duración de las reparaciones se deberá reducir al mínimo posible y, en consecuencia, siempre que requieran el uso de concreto, éste deberá ser de rápida apertura al tránsito ("*fast track*").

Ninguna reparación que se realice en el pavimento puede reducir el gálibo vertical del túnel.

La limpieza del pavimento del túnel corresponde a la Actividad 1714 de las especificaciones de mantenimiento.

Mantenimiento de otras estructuras

Dentro de un túnel existen estructuras en concreto como son los pasillos, cárcamos, salidas de emergencia, nichos de parqueo y galerías de acceso, cuyo mantenimiento e inspección son fundamentales para garantizar la seguridad, la operación y la estética del túnel. El trabajo de mantenimiento se debe realizar mensualmente o siempre se cierre el túnel para otros trabajos de mantenimiento, y deberá garantizar que la superficie se encuentre siempre libre de basura y de cualquier obstrucción que pueda dificultar la movilización de los peatones y de los vehículos que lo deban utilizar.

El procedimiento para el mantenimiento de pasillos y cárcamos se debe realizar en horarios en que haya restricción vehicular, para garantizar la seguridad de los operadores y usuarios, evitando incidentes.

5.8.2.1.2. Actividades de mantenimiento correctivo

Las actividades de mantenimiento correctivo se realizan en respuesta a eventos difíciles de predecir, como daños por impactos, desprendimiento del concreto, deterioro de juntas, etc. Este tipo de mantenimiento también resulta apropiado para reparar o reemplazar algunos elementos no críticos que tienen un bajo efecto sobre la seguridad del túnel y el nivel de

servicio requerido. En caso de que el efecto haya sido potencialmente significativo, se deben desarrollar planes de contingencia, para minimizar sus consecuencias adversas.

Daños varios

Los túneles pueden sufrir deterioros por colisiones de vehículos, fuego, explosiones, inundación, terremotos y deslizamiento de roca y tierra. Cada vez que ocurra un incidente de estos, se debe adelantar una inspección del daño en acuerdo con el manual de diseño de túneles del Instituto (5.24) y proceder en consecuencia.

Sistema de drenaje

Las actividades de mantenimiento correctivo del sistema de drenaje se llevan a cabo una vez los depósitos formados se han endurecido y, generalmente, incluyen:

- Lavado a alta presión con cantidades importantes de agua y herramientas adicionales. Posteriormente, inspección con cámaras para verificar que las zonas afectadas por sedimentación de minerales estén libres
- Uso de aditivos para reducir la rigidez de los depósitos endurecidos

Figura 5-24 Mantenimiento preventivo del sistema de drenaje (5.28)



Si el mantenimiento correctivo no es suficiente para remover los depósitos endurecidos, se requieren intervenciones de reparación más costosas, las cuales afectan la operación del túnel. En consecuencia, se recomienda que el mantenimiento preventivo se realice a intervalos de tiempo relativamente cortos.

La directriz austriaca (5.29) incluye especificaciones bien establecidas para la limpieza a alta presión. Con presiones entre 15 y 40 MPa en la bomba y entre 10 y 20 MPa en la cabeza

giratoria junto con una gran cantidad de agua, se pueden eliminar los depósitos disueltos. Las cabezas pueden ser completamente hidráulicas o hidromecánicas (vibración giratoria).

Adicionalmente, existen equipos mecánicos para la limpieza de depósitos fosilizados en las tuberías. Por ejemplo, un cabezal con raspadores y cadenas de eslabones en caso de que las cabezas rotatorias o de vibración no hayan funcionado satisfactoriamente. Por lo general, estos equipos se pueden adaptar a los diámetros de la tubería interior.

La Actividad 1721 de las especificaciones de mantenimiento presenta acciones para el mantenimiento periódico del sistema de drenaje del túnel.

Desprendimiento del concreto de revestimiento

El concreto del revestimiento se puede soltar y desprender por deficiencias en la técnica de colocación, corrosión de la armadura, daño por calor excesivo, impacto vehicular y el deterioro propio del concreto. Algunos de estos eventos suceden sin aviso previo. Cuando se descubran escombros de concreto en el pavimento del túnel se deberán retirar de inmediato y todo el concreto que esté colgando o se haya desprendido se debe remover empleando martillos de mano, barretones, taladros u otras herramientas apropiadas.

Manejo de filtraciones

Generalmente, el revestimiento de un túnel se realiza por criterios diferentes al sostenimiento, puesto que la estabilidad estructural se garantiza a través de las etapas previas de la construcción. Así, los criterios usuales por los que se recurre al revestimiento suelen ser estéticos o de impermeabilización. Existen, básicamente, tres tipos de revestimiento en los túneles de carretera. El primero consiste en no colocar un revestimiento adicional al sostenimiento, dejando a la vista el concreto lanzado y los otros elementos estructurales, como pernos de anclaje, mallas y arcos de acero. El segundo es decorativo, y se fija a los hastiales del túnel, proporcionando una finalidad estética y funcional. El último de los tipos de revestimiento está formado por un anillo de concreto simple o reforzado, vaciado in-situ, lanzado o segmentado, con una función estética y de impermeabilización.

La presencia del agua proveniente de la roca ataca al concreto y al acero del sostenimiento y del revestimiento, deteriorándolos. Además, el agua que cae sobre la calzada puede reducir las fuerzas de fricción entre los neumáticos de los vehículos y la superficie del pavimento, comprometiendo la seguridad en la circulación.

Las filtraciones que se presenten a través del revestimiento se pueden controlar temporalmente mediante soluciones que usan canales y revestimientos compuestos interiores; sin embargo, ellas no protegen el revestimiento exterior contra la corrosión y la degradación a largo plazo. La referencia 5.26 describe algunas de estas soluciones.

Figura 5-25 Perforación e inyección de lechada de contacto (5.26)



La Actividad 1723 de las especificaciones de mantenimiento describe algunas acciones en relación con el manejo de filtraciones.

El manual de diseño de túneles del Instituto (5.24) señala que teniendo en cuenta que desde el punto de vista constructivo la reparación del revestimiento del túnel cuando está en servicio es compleja de ejecutar y muy costosa, éste se debe diseñar para brindar durabilidad evitando, en lo posible, las labores de mantenimiento y reparación durante su vida útil (100 años).

Reparaciones del concreto

En las áreas afectadas por desportilladuras se pueden aplicar manualmente parches de mortero, mientras que las áreas con mayor afectación se tratan con mayor eficacia empleando concreto lanzado. Cuando las grietas requieran reparación, deberán ser inyectadas con lechada.

Figura 5-26 Desportilladura en el revestimiento final (5.31)



Figura 5-27 Grietas generadas por falla a compresión (5.31)



Figura 5-28 Reparación de grietas generadas con lechada de cemento estructural (5.32)



La Actividad 1722 de las especificaciones de mantenimiento se refiere a las reparaciones en concreto dentro del túnel.

Reparación de juntas

Las juntas en túneles son de varios tipos: (1) generadas por diferentes ciclos constructivos, y (2) generadas por la instalación de revestimiento final en concreto convencional. Si las juntas permiten filtraciones, se le puede aplicar una lechada química al material sellante. Defectos como delaminaciones o desportilladuras cerca de las juntas se deben remover y reconstruir con materiales sanos que tengan propiedades similares a las del concreto del

sustrato. Mientras se realiza el trabajo, el agua filtrada se puede conducir hacia el sistema de drenaje usando una tubería flexible.

Figura 5-29 Filtraciones en juntas (5.33)



Elementos suspendidos y anclajes

Algunos túneles viales tienen dispositivos para ventilación colgados de la bóveda. Ellos están soportados, generalmente, por llaves en la pared del túnel y por varillas de suspensión unidas al revestimiento por insertos fundidos en el sitio o instalados mecánicamente con posterioridad. Toda pérdida de adhesividad o falla de las conexiones se deberá reparar con anclajes metálicos.

5.8.2.2. Mantenimiento de los sistemas funcionales

A los efectos de definir los componentes funcionales mínimos requeridos, el manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento para túneles de carretera en Colombia (5.24) establece seis clases de túneles, dependiendo de la longitud y del tránsito promedio diario anual esperado para el “año 15” contado a partir de la puesta en operación. El citado manual dispone en su Tabla 5-1 los componentes electromecánicos para cada clase de túnel, distribuyéndolos en obligatorios, recomendados, opcionales y no obligatorios. Los sistemas funcionales definidos en el manual son los siguientes:

- Iluminación
- Ventilación mecánica
- Comunicación
- Control de tráfico
- Sistema para cierre del túnel
- Detección de incidentes

- Control de incendios
- Energía eléctrica
- Señalización

La Tabla 5-3 resume los aspectos relevantes que, en relación con el mantenimiento, presenta el numeral 7.3.6 del manual de diseño de túneles del Instituto (5.24).

5.8.2.2.1. Mantenimiento del sistema de iluminación

Durante la operación, un túnel carretero está sometido a un alto grado de polución atmosférica debido a los gases de escape y las partículas en suspensión que afectan el desempeño de las luminarias (ensuciamiento) y lámparas (pérdida de flujo luminoso).

El plan de mantenimiento preventivo debe definir los ciclos de limpieza y sustitución de luminarias y el cumplimiento de los factores de seguridad establecidos, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema de iluminación dentro del túnel.

Los trabajos de mantenimiento preventivo generalmente incluyen:

- Reposición masiva de lámparas que no cumplan el criterio de diseño de luminancia
- Verificación, conservación y limpieza de luminarias, equipos auxiliares y soportes, canalización eléctrica
- Verificación, conservación y limpieza de armarios y de componentes del encendido y apagado

Las operaciones de mantenimiento correctivo comprenden el reemplazo de cualquier elemento defectuoso como consecuencia de un accidente de tránsito, actos de vandalismo, etc., y la reparación de averías ocasionadas por fallas eléctricas o mecánicas de los elementos que componen el sistema de iluminación.

La Actividad 1731 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual se refiere al mantenimiento preventivo del sistema de iluminación de los túneles.

Tabla 5-3 Características del mantenimiento de los sistemas funcionales (5.24)

| Sistema | Características generales del mantenimiento |
|-------------------------------|---|
| Iluminación | <p>El sistema de iluminación requiere una inspección y verificación general constante que garantice que no existan deterioros prematuros, que no se presenten daños vandálicos o daños en el cableado de interconexión de energía y control. Adicionalmente, se deberá verificar el nivel de suciedad y pérdida de flujo luminoso. Se requiere implementar un programa de mantenimiento que garantice la limpieza de las paredes y de las luminarias el cual no podrá exceder de (6) seis meses. Esta labor se deberá desarrollar por el personal de mantenimiento preventivo y ejecutarlo cuando se realice el cierre del túnel para otros mantenimientos.</p> <p>La reposición de las luminarias se realizará de forma inmediata cuando el nivel de luminancia esté por debajo del establecido en el estudio del diseño o la falta de iluminación uniforme resulte intolerable.</p> |
| Ventilación mecánica | <p>El mantenimiento preventivo de los ventiladores se debe realizar cada tres meses, como mínimo, y deberá incluir una revisión general del estado del ventilador, verificación de la vibración y balanceo del ventilador, recomendación del ajuste dentro de la operación y programación, para lo cual se deberán dejar uno o dos grupos de ventiladores en funcionamiento semanalmente por cinco minutos con el fin de que no se produzca atascamiento o mal funcionamiento mecánico.</p> <p>Se deben realizar pruebas mensuales a los sensores de CO, NO_x, visibilidad, chequeo de variables, chequeo de rotación y ajuste mecánico.</p> <p>Se debe tener un motor de repuesto para los ventiladores en caso de falla.</p> <p>Se deben hacer pruebas en los tres modos de operación cada tres meses para validar el correcto funcionamiento del sistema.</p> |
| Comunicación | <p>Se establece en tres meses la frecuencia del mantenimiento de los sistemas de teléfonos de emergencia, radio, emisora y estaciones meteorológicas y en seis meses la de megafonía, y se mencionan las actividades por adelantar en cada caso</p> |
| Control de tráfico | <p>Se describen las actividades de mantenimiento de los subsistemas relacionados con el control de tráfico y se requiere que diariamente se verifiquen las cámaras y el recibo de datos, voz y video, y que semestralmente se le realice mantenimiento a los subsistemas de circuito cerrado de televisión, de red de conectividad y de control de gálibo. El centro de control, el sistema para detección de vehículos dentro del túnel y los sistemas PLCs y SCADA requieren mantenimiento trimestral.</p> |
| Sistema para cierre del túnel | <p>Se fija una frecuencia semestral para el mantenimiento de las barreras exteriores y trimestral para el de los semáforos exteriores e interiores y se incluye un listado de las actividades por realizar en cada caso</p> |
| Detección de incidentes | <p>Se establece una frecuencia semestral para el mantenimiento de los subsistemas de detección automática de incidentes, y trimestral para la detección de incendios, alarma manual y automática, y se mencionan las actividades por realizar en cada caso</p> |
| Control de incendios | <p>Se establece una frecuencia semestral para mantenimiento de los extintores, anual para los hidrantes y variable para la red hidráulica de extinción de incendios, indicando las actividades por adelantar en cada caso</p> |
| Energía eléctrica | <p>Los sistemas de energía eléctrica y de respaldo requieren mantenimiento trimestral. Se incluyen listados de las actividades por adelantar</p> |
| Señalización | <p>A los subsistemas relacionados con la señalización se les recomienda un mantenimiento semestral. Se incluyen listados de las actividades por adelantar para cada uno de ellos</p> |

5.8.2.2.2. Mantenimiento del sistema de ventilación mecánica

El sistema de ventilación de un túnel carretero necesita un mantenimiento periódico que permita garantizar la funcionalidad de todos sus componentes. Los sistemas de control del sistema de ventilación proporcionan información precisa que se recoge por medio de unos

sensores de control instalados en el interior del túnel. Sin embargo, estos sensores sólo proporcionan datos confiables si son mantenidos y calibrados de forma periódica. Para evaluar y examinar la funcionalidad de los sensores, generalmente se usan procedimientos automáticos.

Los elementos del sistema de ventilación (tales como ventiladores, amortiguadores y sistemas de fijación) deben ser evaluados de manera periódica a intervalos de tiempo regulares de, por lo menos, una vez al año.

El mantenimiento preventivo se debe ejecutar en dos (2) fases. En la primera fase se debe hacer una inspección completa de los elementos del sistema de ventilación y la evaluación de las capacidades de los equipos con base en las especificaciones de diseño, tales como los ductos y sus instalaciones y los sistemas de medición y control (por ejemplo, la medición de la velocidad del aire en el túnel). Asimismo, la verificación de la funcionalidad se debe llevar a cabo bajo diferentes condiciones de seguridad y acoplamiento. La primera fase incluye, generalmente, los siguientes puntos:

- Verificación de los equipos individuales (ventiladores, amortiguadores, etc.)
- Capacidad para alcanzar los requerimientos definidos en las especificaciones de diseño (ensayos de caracterización)
- Verificación de los requerimientos de rendimiento y de energía eléctrica de los elementos del sistema de ventilación (ventiladores de chorro, ventiladores axiales, etc.) bajo diferentes configuraciones
- Evaluación de los parámetros aerodinámicos del túnel y la capacidad máxima del sistema
- Verificar el correcto funcionamiento de los conductos de admisión y escape de aire con diferentes posiciones de los amortiguadores para comprobar que los flujos de aire obtenidos en cada caso corresponden a los previstos

La segunda fase incluye varias verificaciones de la funcionalidad del sistema. Las pruebas están directamente relacionadas a las estrategias de ventilación definidas en la fase de diseño. La verificación no solamente incluye el comportamiento aerodinámico del sistema sino, además, la adecuada implementación del software que controla los diferentes sistemas.

En consecuencia, para cada uno de los escenarios de incendio predefinidos (dependiendo de la ubicación), se requiere primero una activación de alarma y, posteriormente, una prueba completa de todo el sistema.

La segunda fase incluye, generalmente, los siguientes puntos:

- Verificación de la correcta adaptación a las estrategias globales de la ventilación
- Verificación de la respuesta de alarma de incendio, dependiendo del modo de detección
- Verificación de control activo de la velocidad longitudinal, incluyendo pruebas de la reacción en caso de medidas inexactas o por fallas en los equipos

La inspección del sistema de ventilación está considerada como Actividad 1732 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

5.8.2.2.3. Falla súbita de algún equipo

Es muy difícil de predecir, en particular cuando hay elementos electrónicos involucrados. Se deberá disponer de planes de contingencia apropiados para restaurar el servicio tan pronto como sea posible. Un programa adecuado de mantenimiento preventivo puede ayudar a reducir la carga que impone el mantenimiento correctivo.

5.8.2.3. Mantenimiento de los equipos y vehículos de servicio

El manual de diseño de túneles de carreteras del Instituto (5.24) recomienda el uso de camionetas, camiones tipo canasta y elevadores móviles para atender las necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo, los cuales se deben conservar en perfecto estado para asegurar su disponibilidad y buen funcionamiento. Las maquinarias y los motores de los vehículos de servicio se deben verificar rutinariamente en lo que se refiere a los niveles de fluidos, sonidos extraños, temperatura excesiva y vibraciones anormales. Los medidores y las unidades de lectura deben indicar niveles normales de operación. Cualquier escape de aceite, grasa, combustible u otro fluido se debe anotar en la bitácora y reparar inmediatamente. En relación con los componentes eléctricos, se deben buscar roturas u otros deterioros en los elementos aislantes, así como signos de corrosión, formación de chispas o sobrecalentamiento. Las medidas preventivas incluyen acciones como:

- Controlar los equipos y vehículos de manera rutinaria, recolectar datos, registrar hallazgos y mantener archivos
- Analizar los datos para verificar si existen tendencias (vibración, niveles de aceite, temperaturas de operación, niveles lumínicos, presión de agua, etc.) que puedan indicar la falla de algún componente
- Disponer de una reserva razonable de piezas de repuesto
- Conservar la documentación de los fabricantes de los equipos (manuales de operación, listas de piezas de repuesto, prácticas de mantenimiento recomendadas, planos, etc.)

- Documentar los procesos de reparación y las actividades de reposición. Identificar los asuntos claves y elaborar ayudas de memoria como esquemas y listas de verificación
- Mantener registros de los valores de repuestos, equipos, contratos y mano de obra

5.8.2.4. Tránsito vehicular durante el mantenimiento

El mantenimiento de túneles es una tarea compleja que se debe llevar a cabo en condiciones normales de tránsito o con cierres de carril parciales o totales, ya que puede afectar en gran medida el flujo del tránsito y, al mismo tiempo, aumenta el riesgo de accidentes. De esta manera, las intervenciones de mantenimiento y la influencia de ellas en la operación del tránsito deben ser previa y cuidadosamente estudiadas y planificadas. Debido al espacio confinado dentro de un túnel, los cierres totales o parciales son situaciones de gran complejidad y riesgo.

En consecuencia, el operador debe asegurar un mínimo nivel operativo mientras se realizan las labores de mantenimiento. Se requiere, también, la implementación de medidas de especiales que garanticen la seguridad de los usuarios y del personal que realiza el mantenimiento.

Los cierres parciales (cerrando completamente un carril o en tramos definidos) son la primera alternativa. Con un carril cerrado, la capacidad de tránsito disminuye en el interior del túnel y el personal de mantenimiento queda sometido a niveles de seguridad bajos y con grandes restricciones en la movilidad de equipos. Asimismo, solo se pueden hacer las intervenciones de mantenimiento que tengan acceso desde el lado del carril cerrado.

Los cierres totales (en caso de un túnel único) tienen la ventaja de garantizar un alto nivel de seguridad, ya que ni los usuarios ni el personal de mantenimiento se encuentran expuestos. A lo largo de todo el túnel, el personal de mantenimiento puede trabajar de manera simultánea en todas las instalaciones requeridas sin ninguna restricción para la movilización de los equipos. Sin embargo, este tipo de cierres requiere la previsión de rutas suplementarias de desvío, situación menos conveniente para los usuarios.

Cuando existen dos túneles paralelos, el cierre total de uno de ellos requiere disponer de una función bidireccional en ambos túneles. Esta situación requeriría sistemas de señalización y de ventilación que permitan la operación en dos sentidos en cada tubo. Durante la operación, un cambio a modo bidireccional puede inducir situaciones potencialmente riesgosas que se pueden mitigar por medio de una apropiada disposición de los servicios de control y seguridad. Por ejemplo, se pueden utilizar señales de mensaje variable, semáforos y barreras mecánicas, entre otras.

5.8.2.5. Personal de mantenimiento

Las labores de mantenimiento se pueden llevar a cabo de manera más efectiva y eficiente si el personal de mantenimiento está capacitado y organizado de manera apropiada. En consecuencia, el personal debe tener un nivel adecuado de conocimiento de las estructuras y sistemas que componen el túnel.

Para el mantenimiento preventivo o correctivo se pueden considerar diferentes alternativas. Primero, se puede contar con personal propio del mismo operador. Sin embargo, como los servicios de mantenimiento e inspección requieren equipos y conocimientos muy especializados, generalmente se prefiere un contrato de servicios establecido con empresas externas.

Independientemente de la alternativa, se debe disponer, como mínimo, de un equipo permanente que esté en capacidad de realizar una intervención inicial de mantenimiento en cualquier elemento del sistema (estructural o electro-mecánico) de las instalaciones y, al mismo tiempo, de hacer un diagnóstico sobre averías graves.

5.9. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ATENCIÓN DE LAS EMERGENCIAS EN LA RED VIAL NACIONAL NO CONCESIONADA

5.9.1. Aspectos normativos

La ley 1523 del 24 de abril de 2012 define una emergencia como una situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general.

Adaptando esta definición general a una red vial, una emergencia se puede catalogar como una situación impredecible o poco frecuente, cuya magnitud y efectos impiden o restringen fuertemente el tránsito por una carretera; situación que es producida, generalmente, por fenómenos naturales de especial intensidad como lluvias excesivas, crecientes extraordinarias de cursos de agua, sismos, marejadas o erupciones volcánicas; aunque su origen también puede ser antropogénico: incendios forestales, deforestación de taludes, uso inapropiado del agua, mal manejo de desechos y de aguas residuales, terrorismo, etc.

Si bien por su definición las emergencias son impredecibles, en la estructura del Estado existen muchos organismos especializados que disponen de antecedentes, estadísticas e informes que son útiles a los organismos administradores de la red vial para prever, en algún grado, su ocurrencia o estar preparados ante ciertos signos de que la emergencia se pueda presentar. Posiblemente, en la actualidad sean los sismos los únicos eventos naturales originadores de emergencias que casi siempre resultan sorpresivos.

La intervención del Instituto Nacional de Vías en la atención de las emergencias en las carreteras nacionales no es hoy día una actividad totalmente autárquica, por cuanto el Artículo 2 de la citada la ley 1523 del 24 de abril de 2012 establece que la gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano y que, en cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Cualquiera sea la situación que se presente, es indispensable que “la organización destinada al mantenimiento de una determinada red vial esté preparada para afrontar, en forma eficiente y sin dilaciones, los requerimientos que impone una situación de emergencia. Las técnicas destinadas a reparar los daños causados por el fenómeno que provocó la emergencia no difieren mucho de las que habitualmente se utilizan para construir y mantener obras viales, aun cuando muchas veces se deben adoptar soluciones no tradicionales para salvar determinadas situaciones. Por lo tanto, la eficiencia con que éstas se resuelvan no depende tanto de las técnicas sino, más bien, de la actuación de la organización, la que debe ser capaz de actuar primeramente previniendo y luego, de manera diligente, siguiendo criterios y procedimientos definidos. Estos programas de acción deben ser completa y minuciosamente conocidos y entendidos no sólo por el personal superior que administra, sino que también por el personal de terreno, inspectores, operadores y obreros” (5.17).

Teniendo en cuenta que parte importante de la eficiencia de una organización que tiene que enfrentar situaciones de emergencia radica en el conocimiento de las condiciones y características de los bienes que le corresponde atender, el Instituto Nacional de Vías cuenta desde su creación con una Oficina, hoy Subdirección, encargada exclusivamente de la prevención de riesgos y la atención de las emergencias que afecten las carreteras a cargo de la entidad. Algunas de las funciones asignadas a la actual Subdirección por el decreto 2618 de 2013 son las siguientes:

- Diseñar y mantener actualizados los planes de contingencia para enfrentar las emergencias en la infraestructura a cargo del Instituto, restableciendo en el menor tiempo posible su utilización
- Ejecutar los planes de contingencia preventivos y reactivos para la atención de emergencias de la infraestructura a cargo del Instituto
- Administrar integralmente los procesos de prevención y atención de emergencias en coordinación con las Direcciones Territoriales

- Ejecutar los programas adoptados por el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, cuyo funcionamiento es coordinado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

Aunque otra de las funciones de la Subdirección es la de ejecutar las políticas y proyectos relacionados con la prevención y atención de emergencias en la infraestructura a cargo del Instituto, en la práctica su campo de actuación es mucho más amplio, ya que la ley 1523 establece en su Artículo 85 que *“El Instituto Nacional de Vías, Invías, o la entidad que haga sus veces podrá intervenir las vías que no están en su inventario y donde sea preciso para atender las situaciones de emergencia que requieran de su atención”*. Además, el Artículo 84 de la misma ley faculta al gobierno nacional para *“requerir de los contratistas y concesionarios del Estado la maquinaria, el equipo y personal que se encuentre a su disposición para atender de manera inmediata las emergencias viales o de cualquier otra naturaleza que se presenten en su zona de actividad o de influencia, cuando este método constituya la forma más eficiente de mitigar el impacto generado por la necesaria atención de emergencias que amenacen la vida y demás derechos de la población”*.

5.9.2. Aspectos procedimentales

Normalmente, resulta apropiado definir cuatro períodos para la atención de las emergencias viales con base en ciertos indicadores objetivos. Estos períodos son los de alerta, prevención, actuación y evaluación. Aunque ellos se refieren a la atención de emergencias que resulten previsibles en algún grado, el sistema también puede resultar útil en el caso de los movimientos telúricos si, en función de la magnitud del sismo, se ha definido en qué fase se debe estar para iniciar la movilización.

Período de alerta: El primer grado debe corresponder a una alerta, que comprende el tiempo que transcurre entre el instante en que se determina que existe la probabilidad de que ocurra el fenómeno natural adverso hasta que se confirma la ocurrencia de éste y la posibilidad de que afecte algún tramo de la red de carreteras. Este período puede variar desde unas pocas horas hasta varios días. Durante este lapso se deben tomar algunas medidas cautelares aparte de hacer pública la información y preparar al personal encargado (incluidos el administrador de mantenimiento vial y los microempresarios) para atender la situación que se avecina. Una de ellas, es la puesta en disponibilidad de los puentes metálicos provisionales que se puedan requerir, y de los equipos y vehículos de transporte necesarios para extraer y retirar los escombros que puedan afectar la carretera.

Período de prevención: Durante este lapso, que transcurre desde el momento en que se ha confirmado la ocurrencia del evento hasta que su efecto incide sobre la infraestructura vial, se deben aplicar medidas preventivas en los lugares que corresponda. En esta fase se deben iniciar, sin exponer al personal y al equipo, aquellos trabajos que permitan minimizar los daños, principalmente con la finalidad de asegurar el drenaje y la estabilidad de las construcciones en el derecho de vía. Los sistemas de comunicación se deben mantener en operación de manera continua.

Período de acción: Se extiende desde el instante en que se afecta la vía hasta el momento en que sus efectos inmediatos se han solucionado o no requieren atención. Si la emergencia es de dimensión regional, los problemas se deberán resolver priorizando la solución de acuerdo con la magnitud de los daños y los medios con que se cuente, bajo la articulación de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres siempre que corresponda, según lo establece la ley.

En relación con la disposición de los materiales provenientes de los deslizamientos con motivo de la atención de emergencias, se deberán atender las medidas de manejo ambiental recomendadas en el Programa 2, “Manejo y disposición final de escombros y lodos”, Código PAC-2.4-07, del Programa 2 “Actividades constructivas”, de la guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura (5.34)

Período de evaluación: Una vez se hayan superado las condiciones críticas del evento y el personal y los equipos se encuentren a salvo, se entra a una última etapa de evaluación de daños y a la elaboración de un informe que permita a la entidad adelantar acciones para contratar los estudios y los trabajos de rehabilitación o reconstrucción que conciernan.

5.9.3. Aspectos administrativos

Teniendo en cuenta que el decreto 2171 de 1992 estableció que la construcción y la conservación de la infraestructura de transporte no pueden ser ejecutadas en forma directa por el Instituto Nacional de Vías, la Subdirección de Prevención y Atención de Emergencias debe estar preparada para que la parte operativa de la atención de las emergencias en la red carretera no concesionada se realice eficientemente a través de terceros y para ello es conveniente que:

- Disponga de planos actualizados con todas las carreteras de la red no concesionada, indicando en ellos las obras de arte, puentes y pontones, alcantarillas, defensas fluviales y lugares de reconocida inestabilidad
- Tenga previstas las alternativas para la movilización vehicular en aquellos puntos donde las interrupciones de tránsito son consuetudinarias
- Mantenga un listado actualizado de las entidades con las que pueda coordinar la atención de las emergencias a lo largo y ancho de la red vial, así como de las microempresas, de los administradores de mantenimiento vial y de las firmas contratistas que estén en disposición de proporcionar equipos para la atención de las emergencias viales en cada región
- Tenga un plan que asegure la presencia del personal requerido en un tiempo mínimo
- Evalúe permanentemente el sistema operativo, con el propósito de optimizar su funcionamiento

- Mantenga comunicación y coordinación permanente con las dependencias territoriales del Instituto, en lo relacionado con sus funciones
- Informe permanentemente a los usuarios sobre el uso de alternativas, variantes, precauciones por adoptar y probable fecha de normalización del servicio
- Lleve un asiento de las emergencias atendidas y sus costos, manteniendo coordinación al respecto con la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, con el fin de evitar distorsiones y perfeccionar la información que ambos tengan en sus registros

5.10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 5.1 Instituto Nacional de Vías, *“Manual de diseño geométrico de carreteras”*, Bogotá D. C., 2008
- 5.2 Ministerio de Transporte, SENA, Invías, *“Cooperativas de trabajo asociado para realizar labores de mantenimiento rutinario”*, Bogotá D.C.
- 5.3 Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *“Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México”*, México D. F., 2014
- 5.4 Instituto Nacional de Vías, *“Manual de estabilidad de taludes”*, Ingeniería y Geotecnia Limitada, Santafé de Bogotá D. C., 1998
- 5.5 Instituto Nacional de Vías, *“Manual para la inspección visual de obras de estabilización”*, Universidad Nacional de Colombia, Convenio interadministrativo 0587-03, Bogotá D. C., octubre de 2006
- 5.6 Jaime Suárez Díaz, *“Control de erosión en zonas tropicales”*, Bucaramanga, 2001
- 5.7 E. Istanbuluoglu, D. G. Tarboton, Robert T. Pack, C. Luce, *“A probabilistic approach for channel initiation”*, Water Resources Research, Vol. 38, No. 12, 1325, December 2002
- 5.8 Jorge E. Alva Hurtado, *“Soluciones geotécnicas en estabilidad de taludes”*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, s/f
- 5.9 Instituto Nacional de Vías, *“Manual de drenaje para carreteras”*, Consorcio Alfa, Bogotá D. C., 2009
- 5.10 Raymond W. Henn, *“Practical guide to grouting of underground structures”*, ASCE Press, 1996
- 5.11 Universidad de Córdoba, *“Manual de técnicas de estabilización biotécnica en taludes de infraestructuras de obra civil”*, Córdoba, España, 2014

- 5.12 Asociación de Carreteras del Japón, *“Manual de protección de taludes”*, Tokyo, Japón, mayo de 1984
- 5.13 Lynn M. Highland, Peter Bobrowsky, *“Manual de derrumbes. Una guía para entender todo sobre los derrumbes”*, Circular 1325, USGS, GFDNR, The World Bank, Reston, Virginia, 2008
- 5.14 Instituto Nacional de Vías, *“Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje”*, Universidad Nacional de Colombia, Convenio interadministrativo 0587-03, Bogotá D. C., octubre de 2006
- 5.15 Ministerio de Fomento, *“Tipología de muros de carreteras”*, Madrid, España, 1999
- 5.16 Geotechnical Engineering Office, *“Guide to slope maintenance”*, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, April 2013
- 5.17 Gobierno de Chile, Dirección de Vialidad, *“Manual de carreteras. Volumen 7. Mantenimiento vial”*, Santiago de Chile, Edición 2014
- 5.18 Ministerio de Transporte, *“Manual de señalización vial. Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia”*, Bogotá D. C., 2015
- 5.19 Ministerio de Transporte, *“Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado)”*, Capítulo 4, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D. C., 2006
- 5.20 Federal Highway Administration, *“Bridge preservation guide”*, Publication number FHWA-HIF-11042, Washington D. C., August 2011
- 5.21 Instituto Nacional de Vías, *“Manual para la inspección de puentes y pontones”*, Universidad Nacional de Colombia, Convenio interadministrativo 0587-03, Bogotá D. C., octubre de 2006
- 5.22 Edgar Muñoz, David Gómez, *“Análisis de la evolución de los daños de los puentes en Colombia”*, Revista Ingeniería de la Construcción RIC, Vol. 28, No. 1, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013
- 5.23 Federal Highway Administration, *“Recording and coding guide for the structure, inventory and appraisal of the nation’s bridges”*, Report No. FHWA-PD-96-001, Washington D. C., December 1995
- 5.24 Instituto Nacional de Vías, *“Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento para túneles de carretera en Colombia”*, Universidad del Quindío, Bogotá D. C., 2015
- 5.25 Juan Esteban Gil Chavarría, *“Los túneles carreteros en Colombia”*, 2010

- 5.26 PIARC, *“Manual de túneles de carretera. Explotación y mantenimiento”*, v 1.1, La Défense Cedex, France, Octubre 2015
- 5.27 William Bergeson, Steve Ernst, *“Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation (TOMIE) Manual”*, Report No. FHWA-HIF-15-005, Federal Highway Administration, Washington, D.C., July 2015
- 5.28 Jung Hyuk-Sang, Han Yun-Su, Chung Sung-Rae, Chun Byung-Sik, Lee Yong-Joo, *“Evaluation of advanced drainage treatment for old tunnel drainage system in Korea”*, Tunnelling and Underground Space Technology, 2013
- 5.29 Gründruck Richtlinie, *“Ausbildung und Instandhaltung von Tunnelentwässerung”*, November 2009
- 5.30 Klaus Breit, *“Complex grouting tasks at home and abroad as seen by the contractor”*, Geomechanics and Tunnelling, Volume 2, October 2009
- 5.31 Toshihiro Asakura, Yoshiyuki Kojima, *“Tunnel maintenance in Japan”*; Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 18, April-June 2003
- 5.32 Diyuan Li, Xibing Li, Charlie C. Li, Bingren Huang, Fengqiang Gong, Wei Zhang, *“Case studies of groundwater flow into tunnels and an innovative water-gathering system for water drainage”*, Tunnelling and Underground Space Technology 24, 2009
- 5.33 P. Moran, D. Kukreja, *“Rehabilitation of the Big Walker Mountain tunnel in Bristol, Virginia”*; North American Tunnelling 2004 Conference and Exhibition, Atlanta GA, April 20, 2004
- 5.34 Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *“Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura. Subsector vial”*, Segunda edición, Incoplan S. A., Bogotá D. C., abril de 2011

Página en blanco

CAPÍTULO 6

Relación Entre la Condición de las Calzadas Pavimentadas y no Pavimentadas y las Necesidades de Mantenimiento

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----------------|
| 6. CAPÍTULO 6. RELACIÓN ENTRE LA CONDICIÓN DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO | V1-C6 7 |
| 6.1. INTRODUCCIÓN | V1-C6 7 |
| 6.2. GENERALIDADES SOBRE LOS ESTUDIOS DE CONDICIÓN | V1-C6 8 |
| 6.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LOS PAVIMENTOS | V1-C6 11 |
| 6.4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS | V1-C6 12 |
| 6.5. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS | V1-C6 12 |
| 6.5.1. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | V1-C6 14 |
| 6.5.1.1. Aplicación del índice de deterioro superficial | V1-C6 14 |
| 6.5.1.2. Los deterioros del tipo B en el método VIZIR | V1-C6 17 |
| 6.5.2. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-C6 17 |
| 6.5.3. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO | V1-C6 19 |
| 6.6. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LAS CARRETERAS EN AFIRMADO | V1-C6 20 |
| 6.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C6 21 |

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

*Figura 6-1 Ejemplo de categorías de tratamientos según la condición del pavimento*_____ V1-C6 8

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----------------|
| <i>Tabla 6-1 Indicadores de las características que se miden en los pavimentos</i> | <i>V1-C6 10</i> |
| <i>Tabla 6-2 Tipos de equipos para la recolección no destructiva de información sobre la condición de los pavimentos</i> | <i>V1-C6 11</i> |
| <i>Tabla 6-3 Áreas de valoración en los estudios de la condición del pavimento y sus correspondientes fuentes de información</i> | |
| <i>(Adaptada de ref. 6.9)</i> | <i>V1-C6 11</i> |
| <i>Tabla 6-4 Contraste de la condición superficial y las deflexiones para determinar las posibles soluciones de mantenimiento y rehabilitación (6.9)</i> | <i>V1-C6 16</i> |
| <i>Tabla 6-5 Rangos de calificación del PCI y necesidades de mantenimiento y reparación (6.14)</i> | <i>V1-C6 18</i> |
| <i>Tabla 6-6 Relación entre el nivel de gravedad de un deterioro y la naturaleza de los trabajos de mantenimiento o rehabilitación de una carretera en afirmado (6.18)</i> | <i>V1-C6 21</i> |

Página en blanco

CAPÍTULO 6. RELACIÓN ENTRE LA CONDICIÓN DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO

6.1. INTRODUCCIÓN

“Por definición, el mantenimiento sólo debe incluir trabajos que, en términos generales, estén orientados a preservar el camino para que preste un servicio adecuado por el tiempo previsto en el diseño y bajo las condiciones de tránsito y ambiente prevalecientes. De acuerdo con ello, un camino bien diseñado y perfectamente construido sobre un terreno ideal de características homogéneas, no debería requerir más mantenimiento que el que corresponde a operaciones de conservación rutinaria y periódica. Sin embargo, claramente la situación es otra; a veces, al poco tiempo de la puesta en servicio comienzan a detectarse pequeñas fallas que, de no repararse oportunamente, llevan al colapso prematuro de sectores crecientes de la obra” (Tabla 6-1).

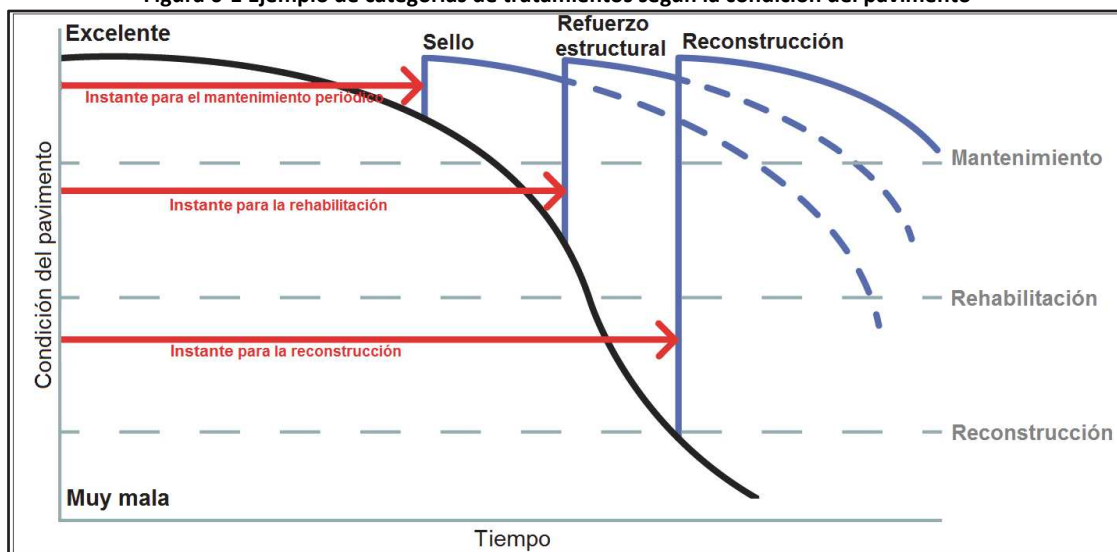
La gráfica conceptual que relaciona el tiempo o el tránsito circulante sobre un pavimento y su condición superficial y estructural, mostrada en la figura 4.1 del Capítulo 4, es aceptada por la generalidad de los administradores y técnicos relacionados con la ingeniería de carreteras. La guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos del Instituto (6.9) la utiliza para describir la relación entre la condición del pavimento y sus necesidades de intervención, con el fin de mantener o recuperar la calidad de servicio requerida por los usuarios. La Figura 6-1, basada en el concepto de la figura 4.1 del Capítulo 4, ilustra los lapsos posibles para acometer diferentes categorías de tratamientos de acuerdo con la condición del pavimento, con el fin de restaurar su condición de servicio inicial.

Desde el punto de vista técnico, las opciones de intervención en una calzada en cualquier instante de su vida se deben escoger tanto en función de su condición funcional y estructural en el momento de realizar la evaluación técnica, como de su tipo (pavimento asfáltico, pavimento rígido, adoquines, afirmado). En la actualidad, también, en función de la sostenibilidad.

Un pavimento sostenible es aquel que minimiza los impactos ambientales mediante la reducción del consumo de energía, de los recursos naturales y de las emisiones asociadas, al tiempo que satisface todos los estándares y condiciones de comportamiento (Tabla 6-2)

La necesidad del mantenimiento rutinario de una calzada pavimentada o en afirmado es tan obvia que no requiere ni diseño ni justificación alguna; en cambio, la recomendación de acciones específicas de mantenimiento periódico y principalmente de rehabilitación debe estar precedida de un estudio de condición y de un juicio de ingeniería en relación con las capacidades funcional y estructural del tramo de carretera objeto de la evaluación.

Figura 6-1 Ejemplo de categorías de tratamientos según la condición del pavimento



Los trabajos de mantenimiento periódico están enfocados a solucionar una necesidad de tipo funcional como, por ejemplo, reparar desperfectos prematuros, reducir la tasa de degradación de la capa de rodadura, mejorar el aspecto de la calzada o las condiciones de adherencia neumático-pavimento, restaurar el sello de las juntas en pavimentos rígidos, impermeabilizar la superficie del pavimento o proporcionar una diferencia visual entre la calzada y las bermas en aras de la seguridad. Casi siempre, una actividad de mantenimiento periódico cumple simultáneamente varias de estas funciones, así se aplique por una razón específica. Para que el efecto del trabajo de mantenimiento periódico sea efectivo, es condición necesaria que, en el instante de su ejecución, la condición estructural del pavimento aún sea satisfactoria.

6.2. GENERALIDADES SOBRE LOS ESTUDIOS DE CONDICIÓN

El estudio de la condición de un pavimento o de un afirmado consiste en la recolección y el análisis de datos relacionados con sus características funcionales y estructurales. En el pasado, los encargados de las carreteras se apoyaban en su experiencia y en inspecciones visuales para programar las operaciones de mantenimiento. El problema de esta técnica radica en el hecho de que la experiencia es difícil de transmitir de una persona a otra y, por lo tanto, las decisiones que se tomaban a partir de la misma información solían variar considerablemente. En cambio, los estudios de condición suministran un método razonable y consistente para obtener y analizar objetivamente la información con el fin de asignar eficientemente unos recursos que, generalmente, son limitados. Mediante los estudios de condición, una agencia encargada de la administración de carreteras puede:

- Evaluar periódicamente los comportamientos estructural y funcional de la red vial a su cargo o de tramos de ella
- Establecer la manera como evolucionan los deterioros de los pavimentos y de los afirmados
- Determinar y programar las necesidades de mantenimiento
- Definir la necesidad de acometer una evaluación estructural detallada para el diseño de obras de rehabilitación
- Proyectar trabajos de mejoramiento
- Disponer de información para determinar los efectos de las restricciones presupuestales y de la dilación del mantenimiento
- Seguir el comportamiento de diferentes diseños y materiales empleados en la construcción de los pavimentos
- Disponer de información para alimentar los sistemas de administración de pavimentos

Las evaluaciones funcional y estructural sólo son exitosas en un sistema de gestión, en la medida en que se emplee una metodología de referenciación eficiente y exacta.

Existen muchos métodos para definir la condición de un segmento de carretera en un momento determinado. Muchos de los sistemas de administración de pavimentos emplean un método particular para recolectar los datos y para definir los estados de condición o de capacidad funcional y estructural de los pavimentos. El empleo de un determinado sistema de administración requiere, a menudo, la adopción de unos procedimientos específicos para la recolección de la información.

La literatura técnica disponible sobre los estudios de condición es copiosa. Las referencias 6.3, 6.4 y 6.5, por ejemplo, describen con gran detalle muchos de los equipos y métodos disponibles en la actualidad para obtener la información; la referencia 6.6 presenta los criterios a considerar en la selección de los datos y en los métodos de recolección, y en la referencia 6.7 se discuten algunos de los procedimientos automatizados o semi automatizados para recolectar y analizar la información sobre los deterioros de los pavimentos.

Un estudio de condición comienza con la recolección de información. Posteriormente, los datos obtenidos se deben interpretar para definir el grado de comportamiento del pavimento en el momento del estudio. Generalmente, se emplean los siguientes tipos de inspecciones y medidas en el caso de las calzadas pavimentadas:

- Deterioros superficiales
- Calidad del rodamiento (rugosidad)
- Resistencia al deslizamiento (fricción superficial y textura)
- Ruido
- Capacidad estructural

En las calzadas en afirmado, la inspección de los deterioros superficiales (tipo, nivel de gravedad, extensión) suele ser suficiente para establecer su condición

Hoy día, el mercado ofrece una variedad casi ilimitada de equipos destinados a medir las características de las carreteras. Debido a que cada clase de equipo tiene sus propios principios de medida, es posible obtener diferentes índices de condición al cuantificar una determinada característica. Los investigadores han desarrollado ecuaciones de correlación e índices internacionales para normalizar algunos atributos, de manera de hacer comparables los resultados obtenidos con diferentes equipos. La Tabla 6-1 muestra los indicadores usualmente empleados para medir las funciones y las características de los pavimentos; la Tabla 6-2 incluye una lista de los tipos de equipos empleados para medirlas, y la Tabla 6-3 sintetiza las áreas de valoración en los estudios de condición de un pavimento y sus correspondientes fuentes de información (6.7).

Tabla 6-1 Indicadores de las características que se miden en los pavimentos

| Tipo de estudio | Función del pavimento que se evalúa | Característica que se mide | Ejemplos de indicadores e índices |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| Funcional | Comodidad | Rugosidad | Índice de rugosidad internacional (IRI) |
| | | | Índice de servicio presente (PSI) |
| | | Ruido | Índice del cuarto de carro (QI) |
| | | | Nivel de presión sonora (SPL) |
| | Seguridad | Textura | Macrotextura |
| | | | Microtextura |
| | | Resistencia al deslizamiento | Coeficiente de resistencia al deslizamiento |
| Estructural | Capacidad estructural | Propiedades mecánicas | Índice de fricción internacional (IFI) |
| | | | Deflexiones |
| | | Deterioros ¹ | Espesores |
| | | | Agrietamiento |
| | | | Otros defectos superficiales |

¹ Los deterioros de los pavimentos pueden tener origen y efecto tanto funcional como estructural. Su ubicación en el grupo estructural ha obedecido solamente a una simplificación para resumir la información de la tabla

Tabla 6-2 Tipos de equipos para la recolección no destructiva de información sobre la condición de los pavimentos

| Característica | Clase de equipo |
|------------------------------|--|
| Rugosidad | Clase I: Perfiles de precisión - Láser - Manual Clase II: Otros métodos perfilométricos Clase III: A partir de correlaciones Clase IV: Evaluación subjetiva |
| Ruido | Proximidad inmediata (CPX) Intensidad de sonido a bordo (OBSI) |
| Microtextura | Estático |
| Macrotextura | Estático Dinámico |
| Resistencia al deslizamiento | Estático Dinámico |
| Propiedades mecánicas | Deflectómetro de impacto Otro equipos de medida de deflexión Georradar |
| Deterioros superficiales | Análisis visual Análisis de videos Medidores de perfil transversal |

Tabla 6-3 Áreas de valoración en los estudios de la condición del pavimento y sus correspondientes fuentes de información (Adaptada de ref. 6.9)

| Área de valoración | Fuentes de información | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------|----------------------------------|------------------------|
| | Inspección de deterioros | Medidas de regularidad superficial | Medidas de fricción | Medidas de ruido | Medidas de capacidad estructural | Inspección del drenaje |
| Suficiencia estructural | X | | | | X | X |
| Suficiencia funcional | X | X | X | X | | X |
| Suficiencia del drenaje | X | | | | X | X |

6.3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LOS PAVIMENTOS

La condición superficial de los pavimentos es un factor de la mayor importancia, tanto para las entidades encargadas de la administración vial, por su incidencia sobre los costos de mantenimiento, como para los usuarios, por su incidencia sobre la comodidad y la seguridad de su circulación y sobre los costos de operación vehicular. Las características funcionales de un pavimento residen, fundamentalmente, en su capa de rodadura. Estos aspectos

funcionales están asociados, principalmente, con la textura y la regularidad superficial. Las cualidades que se deben exigir a una capa de rodadura para que satisfaga estas funciones de seguridad y comodidad tienen que ver con:

- Regularidad superficial (comodidad y seguridad de rodadura)
- Adherencia neumático-pavimento (repercute en la seguridad de rodadura)
- Ruido de rodadura (comodidad e impacto ambiental)
- Visibilidad (seguridad y comodidad de circulación)

Algunos documentos técnicos del Instituto tratan de manera suficiente estos aspectos, motivo por el cual no se repiten en este manual. Las normas de ensayo de materiales para carreteras (6.8) presentan procedimientos para la determinación de algunas de estas características y la guía para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos (6.9) dedica varios capítulos a la explicación de sus conceptos, a las técnicas de medida y a la aplicación de sus resultados.

6.4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS

La capacidad estructural está relacionada con la aptitud que tiene el pavimento (o el afirmado) para soportar adecuadamente el tránsito actual y futuro. Algunos tipos de deterioros que evidencian la debilidad estructural de los pavimentos pueden ser detectados visualmente, mientras otros exigen la toma de medidas continuas o intermitentes no destructivas para su detección o cuantificación. La ejecución de algunas acciones destructivas complementarias suele ser necesaria para realizar los diseños, calibrar los modelos de deterioro y obtener información fidedigna sobre las propiedades de los materiales de la calzada objeto de la evaluación. Información muy detallada sobre el tema se presenta en la guía para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos del Instituto (6.9), a la cual se puede dirigir el lector interesado en conocerla.

6.5. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS

Los deterioros superficiales de un pavimento son indicadores externos de desperfectos producidos por las cargas del tránsito, factores ambientales, deficiencias de construcción o combinaciones de ellos, y constituyen el testimonio más evidente de su comportamiento en servicio.

Los deterioros pueden tener origen y efecto tanto funcional como estructural. Un deterioro funcional es aquel que afecta la aptitud del pavimento para proporcionar una superficie de rodamiento cómoda y/o segura y, por lo general, está motivado por alguna deficiencia de la capa de rodadura. La mayoría de los deterioros de este tipo se pueden corregir con simples tratamientos de mantenimiento periódico de fácil ejecución y bajo costo. Por el contrario, un deterioro estructural es promovido por la acumulación de cargas (fatiga), por un espesor insuficiente o por falta de soporte estructural. Su reparación suele ser costosa y puede requerir hasta la reconstrucción del pavimento si la gravedad y la extensión del deterioro así lo ameritan. Generalmente, la manera de manifestarse los deterioros funcionales y estructurales es diferente, razón por la cual la simple inspección visual brinda una idea aceptable en relación con la fuente del trastorno y con tipo de mantenimiento por aplicar.

Normalmente, el inventario de los daños visibles es el primero de los pasos necesarios para evaluar la condición global de un pavimento. Esta información es la que determina la amplitud de las investigaciones posteriores, con el fin de llegar a una conclusión objetiva sobre la condición de la calzada objeto de la evaluación. Considerando que los deterioros típicos de origen funcional y estructural de los pavimentos asfálticos y de los pavimentos rígidos son muy diferentes, su clasificación y valoración requieren la aplicación de procedimientos inherentes a cada uno de ellos.

En todos los casos, los deterioros se deben clasificar según su tipo, nivel de gravedad y extensión. Cualquier procedimiento de inspección de deterioros que ignore siquiera uno de estos tres factores, no brindará la información adecuada para establecer un dictamen apropiado sobre la condición del pavimento. No obstante, no existe un criterio universal para la valoración de cada uno de ellos, razón por la cual se presentan diferencias, a veces muy importantes, dependiendo del criterio que se aplique.

El inventario de los deterioros de un pavimento se puede adelantar visualmente o de manera automatizada. Independientemente del procedimiento empleado, los datos recolectados se deben resumir de manera que brinden al ingeniero una imagen precisa de la condición existente en la superficie del pavimento o del afirmado. Uno de los caminos más apropiados para ello consiste en verterlos en formularios del tipo “*esquema de itinerario*”, en los cuales se pueden anotar los diversos deterioros a lo largo del pavimento objeto de análisis, con su extensión y nivel de gravedad. Estos esquemas tienen la ventaja de que en ellos se pueden representar, simultáneamente, otros datos relacionados con las evaluaciones funcional y estructural, como las deflexiones, la rugosidad, y el perfil del pavimento, así como el estado del drenaje, lo que permite obtener, con un solo golpe de vista, una radiografía completa de la condición de la calzada en el tramo sometido a inspección. Un ejemplo de ellos aparece en la figura 3.1.1 de la primera versión de la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras del Instituto.

La utilidad de la inspección visual de los deterioros superficiales de los pavimentos se ha venido ampliando gracias a la combinación de la información sobre su existencia con sus

rangos de gravedad y extensión, de manera de conformar unos “índices” que representan la condición global de la superficie y suministran pautas generales para la elección de la estrategia de mantenimiento o de rehabilitación por aplicar.

6.5.1. Clasificación y cuantificación de los deterioros de los pavimentos asfálticos

Desde hace varios años, el Instituto utiliza como base para las inspecciones de las superficies de sus pavimentos asfálticos el sistema VIZIR, el cual forma parte de las normas de ensayo de la entidad, bajo la denominación INV E-813. Aunque muchos profesionales de la ingeniería de pavimentos del país suelen emplear otros métodos, el PCI (Pavement Condition Index) por ejemplo; el VIZIR presenta muchas ventajas: (1) la enorme sencillez de su aplicación; (2) el establecimiento de una distinción clara entre los deterioros estructurales y los funcionales (a los que denomina tipo A y tipo B, respectivamente) a los fines de calificar el pavimento y, por encima de todo, (3) el hecho de haber sido probado con éxito durante muchos años en la inspección de pavimentos asfálticos en países en vías de desarrollo en zonas tropicales (6.10). La norma INV E-813 se incluye en este manual como Anexo 1.

El sistema VIZIR permite calificar las secciones en las que se divide el tramo de pavimento objeto de evaluación a través de un “índice de deterioro superficial”, I_s , que es un valor numérico que tasa la condición superficial del pavimento a partir del tipo, la gravedad y la densidad de los deterioros de origen estructural (tipo A) que presenta su superficie. El I_s no mide la capacidad estructural ni suministra información directa sobre aspectos funcionales como la resistencia al deslizamiento o la regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Tampoco considera algunos deterioros de un pavimento asfáltico que no están ligados directamente al comportamiento del mismo y de la subrasante. Simplemente, proporciona una base racional para determinar las necesidades y las prioridades generales de mantenimiento y de reparación. Entre mayor sea su valor, más deteriorado se encontrará el pavimento, menor será su vida residual y mayores serán las necesidades en materia de mantenimiento o rehabilitación.

Los deterioros del tipo A considerados por el método VIZIR son los ahuellamientos, las depresiones longitudinales y transversales, y las grietas por fatiga de los tipos longitudinal y piel de cocodrilo. Además, se consideran dentro de este tipo las áreas parchadas y bachadas, que suelen evidenciar la remoción y el reemplazo de materiales afectados estructuralmente.

6.5.1.1. Aplicación del índice de deterioro superficial

A partir del índice de deterioro superficial, I_s , VIZIR define tres situaciones generales en relación con la probable capacidad estructural de un pavimento asfáltico en el instante del inventario (6.10):

- 1) Valores del I_s de 1 y 2 representan pavimentos con agrietamientos y deformaciones limitados, que presentan un buen aspecto general y que, por lo

general, no requieren en el momento de la inspección más que acciones de mantenimiento rutinario y algunas limitadas de mantenimiento periódico.

- 2) Valores 3 y 4 representan pavimentos con agrietamientos de origen estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos sin agrietamientos pero con deformaciones de alguna importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de mantenimiento periódico extensos o trabajos de rehabilitación y, ocasionalmente, de reconstrucción.
- 3) Por último, los valores 5, 6 y 7 son indicativos de pavimentos con abundantes agrietamientos y deformaciones de origen estructural, cuyo deficiente estado superficial indica la necesidad de trabajos importantes de rehabilitación o, inclusive, de reconstrucción.

Debido a que, frecuentemente, un estado superficial aceptable enmascara síntomas de debilidad estructural en un pavimento asfáltico, la segunda edición de la guía para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos del Instituto (6.9) recomienda combinar el índice de deterioro superficial (I_s) con las deflexiones de la sección evaluada, para definir con mayor precisión las posibles soluciones de mantenimiento del pavimento, estableciendo los seis casos que muestra la Tabla 6-4

Tabla 6-4 Contraste de la condición superficial y las deflexiones para determinar las posibles soluciones de mantenimiento y rehabilitación (6.9)

| Caso | I _s | Deflexiones centrales ¹ | Observaciones y posibles causas de discrepancia |
|------|----------------|------------------------------------|--|
| 1 | 1, 2 | Bajas | Posiblemente sólo se requieran trabajos de mantenimiento rutinario para la corrección de los defectos de origen superficial y otros daños localizados |
| 2 | 1, 2 | Altas | Pavimento subdimensionado para el tránsito que debe soportar, el cual precisa ser reforzado |
| 3 | 3, 4 | Bajas | Si los deterioros prevalecientes son agrietamientos del tipo piel de cocodrilo y el cuenco de deflexión es cerrado (bajo radio de curvatura), ello es indicativo de la presencia de una capa débil bajo las asfálticas (que se puede verificar con los resultados de la exploración destructiva). En este caso hay varias opciones: bacheo de las áreas más deterioradas y colocación de un refuerzo en un espesor que reduzca las deformaciones de tracción en el fondo de las capas asfálticas a un nivel admisible; si los materiales lo permiten, se puede optar por el reciclado; en caso contrario, se debe contemplar una reconstrucción parcial. Si los deterioros prevalecientes son deformaciones por fallas provenientes de las capas superiores o la subrasante, la opción es la reconstrucción parcial o total del pavimento, según la profundidad donde se encuentre el origen de las deformaciones |
| 4 | 3, 4 | Altas | Es el paso avanzado del Caso 2 por no aplicar a tiempo las medidas necesarias. Las soluciones posibles son el refuerzo o el reciclado |
| 5 | 5, 6, 7 | Bajas | Es el paso avanzado del Caso 3. Las soluciones son similares a las descritas para éste |
| 6 | 5, 6, 7 | Altas | Usualmente corresponde a la fatiga total del pavimento por cumplimiento de la vida útil. Debido al nivel de los deterioros, las obras de rehabilitación por ejecutar probablemente correspondan a trabajos de reciclado en frío de alta intensidad y/o de reconstrucción |

¹ Las deflexiones se determinan mediante alguno de los procedimientos descritos en las normas INV E-795, INV E-797 e INV E-798. No hay un valor único que establezca el límite entre las deflexiones que se pueden considerar altas y las que se pueden considerar bajas. Éste debe ser fijado por el ingeniero en cada caso particular, en función de la composición estructural del pavimento y del nivel de tránsito que soporta la vía objeto de la evaluación

Los modelos que respaldan los sistemas administración del mantenimiento permiten considerar múltiples estrategias alternativas de actuación durante un período de análisis relativamente prolongado – restringidas únicamente por las limitaciones tecnológicas, ambientales y presupuestales – las cuales se deben someter a análisis de costos durante el ciclo de vida, de manera de recomendar aquella que, considerando las posibilidades y las restricciones, resulte más favorable para los intereses de la comunidad.

Los organismos viales de algunos países desarrollados han logrado establecer estrategias que, ligadas a curvas de deterioro debidamente calibradas, brindan las soluciones técnica y económicamente más favorables para el manejo de las redes viales a su cargo. En Colombia, si bien se han realizado algunos trabajos al respecto, aún no se tiene la certeza de que las

obras de mantenimiento o rehabilitación con las que se alimentan los programas que apoyan la gestión, como el HDM-4, sigan efectivamente las leyes de comportamiento incluidas por defecto en los modelos o las que se le incorporen a partir de los resultados de investigaciones locales muy restringidas. La guía de diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos del Instituto (6.9) asigna a los trabajos de mantenimiento periódico de los pavimentos asfálticos unos períodos útiles basados en la experiencia nacional e internacional, dependientes de la técnica de intervención, en tanto que para los trabajos de rehabilitación y reconstrucción fija unos períodos de diseño en función del nivel de tránsito de la carretera y del tipo de intervención seleccionada.

6.5.1.2. Los deterioros del tipo B en el método VIZIR

Como el *“índice de deterioro superficial”* del VIZIR solamente considera los deterioros visibles del tipo A (estructurales), la guía de diseño de obras de rehabilitación de pavimentos del Instituto incluye en su numeral 3.1.3 (Parte 3, Capítulo 1, de la referencia 6.9) comentarios referentes a la incidencia que tienen los deterioros del tipo B en el veredicto sobre la capacidad funcional del pavimento. Además, en el numeral 3.3.1 (Parte 3, Capítulo 3, de la misma referencia) se indican los niveles de irregularidad superficial (IRI) a partir de los cuales el ingeniero debe considerar la opción de un refuerzo estructural u otra alternativa de rehabilitación para mejorar la situación. En el numeral 3.3.2 (Parte 3, Capítulo 3) del mismo documento se mencionan los niveles de investigación y de intervención en relación con la resistencia al deslizamiento y, por último, aunque en el numeral 3.3.3 se indica que si bien el ruido producido en el contacto neumático-pavimento no constituye actualmente un factor determinante para calificar el comportamiento funcional del pavimento, es posible, si existen medidas del ruido, delimitar los tramos donde se considere que alguna intervención sobre el pavimento pueda contribuir en la reducción del nivel de la presión acústica.

6.5.2. Clasificación y cuantificación de los deterioros de los pavimentos rígidos

Hasta el instante de la elaboración del presente manual, el Instituto Nacional de Vías no había normalizado ningún método para la inspección de las superficies de los pavimentos rígidos a su cargo, aunque dispone de una guía técnica para realizarla (6.11), donde se describen los deterioros con sus grados de gravedad, sus causas posibles, la manera de medirlos e incluye formularios para su registro, pero no preceptúa ningún índice que englobe estos factores y que suministre una idea general del estado general de la calzada sometida a evaluación y de las operaciones de mantenimiento que puede requerir.

La literatura técnica internacional abunda en procedimientos para calificar la integridad estructural del pavimento rígido y/o la condición operacional de la superficie: Pavement Condition Index (PCI), Pavement Condition Rating (PCR), Good-Fair-Poor (GFP) condition rating, Pavement Quality Index (PQI), son algunos de ellos. Posiblemente, el más difundido en el ámbito latinoamericano sea el PCI, del cual existen múltiples variantes, entre las cuales la desarrollada por Shahin et al. (6.12) y adoptada por la ASTM como norma D 6433 ha sido

la más utilizada por los ingenieros colombianos, principalmente en la inspección y la evaluación de pavimentos urbanos. Inclusive, existe un desarrollo local para su cálculo automático (6.13).

El PCI es un indicador numérico que otorga una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI no mide la capacidad estructural del pavimento ni proporciona información sobre el coeficiente de resistencia a la fricción o la rugosidad general. Solamente proporciona una base objetiva para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Los autores del método propusieron una relación entre los rangos de PCI, la descripción cualitativa de la condición del pavimento y las posibles acciones por realizar (mantenimiento y reparación), la cual ha sido tomada como referencia por muchos autores (Tabla 6-5).

Tabla 6-5 Rangos de calificación del PCI y necesidades de mantenimiento y reparación (6.14)

| PCI | Calificación | Condición y acciones recomendadas |
|----------|---------------|---|
| 86 – 100 | Muy bueno | El pavimento carece de daños o presenta algunos menores y sólo requiere mantenimiento rutinario |
| 71 – 85 | Satisfactorio | El pavimento presenta deterioros dispersos de baja gravedad y requiere básicamente mantenimiento rutinario |
| 56 – 70 | Aceptable | El pavimento presenta una combinación de deterioros de gravedad media y baja. Las acciones por adelantar pueden oscilar entre el simple mantenimiento rutinario y reparaciones mayores en un futuro cercano |
| 41 – 55 | Pobre | El pavimento presenta deterioros de gravedad baja, media y alta que pueden ocasionar dificultades para la circulación. Las acciones por adelantar pueden variar entre el mantenimiento rutinario y reparaciones mayores |
| 26 – 40 | Muy pobre | El pavimento presenta principalmente deterioros de gravedad media y alta que pueden causar problemas importantes de mantenimiento y de operación vehicular. Las acciones por adelantar varían entre la reparación parcial y la reparación total |
| 11 – 25 | Grave | El pavimento presenta, predominantemente, deterioros de gravedad alta que generan problemas considerables de mantenimiento y de operación vehicular. Se requieren trabajos de reparación total de inmediato |
| 0 – 10 | Fallado | El deterioro ha progresado al punto de que la circulación no es segura. Se requiere la reconstrucción total |

El procedimiento para determinar el PCI consiste, en esencia, en determinar la densidad que presenta cada tipo de deterioro en una unidad de muestreo, densidad que se determina dividiendo la cantidad del deterioro por el tamaño de la unidad. Posteriormente, las densidades de cada tipo de deterioro se emplean para obtener un valor de deducción para cada deterioro. Un valor de deducción es un número que refleja el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de gravedad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. A continuación, se aplica un procedimiento matemático por medio del cual se determina un máximo valor deducible corregido (CDV) que, restado de 100, permite obtener el PCI de la muestra evaluada.

En el apéndice de la norma ASTM D 6433 se encuentran gráficas para determinar los valores por deducir para los 19 tipos de deterioros cuya existencia recomienda verificar la norma al

inspeccionar los pavimentos de concreto hidráulico de las carreteras. Una adaptación de la parte de la norma ASTM D 6433, relacionada con la inspección y la calificación de los pavimentos rígidos de carreteras, se incluye en este manual como Anexo 2.

Un índice como el PCI, que engloba todos los deterioros, da una idea de la condición general del pavimento en el instante de la evaluación y evita la presentación de índices separados para cada tipo de deterioro en un tramo de carretera. Sin embargo, se ha establecido que la combinación de los valores de deducción para un determinado rango de deterioros da como resultado un índice combinado que no permite saber si predominan los deterioros estructurales o los funcionales y que, además, no es consistente con el tiempo, puesto que mientras algunos pavimentos pueden experimentar principalmente agrietamientos, en otros pueden primar los escalonamientos y en otros las desportilladuras (*"spalling"*) o el descamado (*scaling*) en diferentes instantes y por razones muy distintas. La predicción de la condición futura del pavimento rígido sobre la base de un índice de condición compuesto es bastante problemática por estas razones.

Tratando de solucionar este inconveniente, algunas agencias viales han venido considerando que la determinación de un índice de condición característico de cada deterioro específico relacionado con una respuesta estructural básica específica (por ejemplo, índices individuales de agrietamiento, de escalonamiento, etc.) brinda una mejor oportunidad de disponer de índices que progresan uniformemente con el tiempo y que se pueden usar para hacer estimaciones razonables de las condiciones futuras del pavimento rígido. Han considerado, además, que si de todas maneras se desea adoptar un índice único para expresar la condición del pavimento, éste no se debería tomar como un promedio de los índices individuales, sino como el promedio menos la desviación estándar. De esta manera si, por ejemplo, el índice debido al escalonamiento es alto, pero los debidos a los otros deterioros son muy bajos, el índice compuesto será una representación razonable de las condiciones de escalonamiento que prevalecen en el pavimento. Por supuesto, si se desea predecir la condición futura del pavimento se deberían emplear los índices individuales y no el compuesto (6.15).

6.5.3. Clasificación y cuantificación de los deterioros de los pavimentos de adoquines de concreto

Tomando como modelo el procedimiento PCI, la consultora Applied Research Associates, Inc. (ARA) elaboró para el Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI) una guía para determinar, a través de inspecciones visuales, la condición de las superficies pavimentadas en adoquines de concreto en caminos y estacionamientos (6.16). Aunque se siguió muy al detalle la metodología indicada en la parte de la norma ASTM D 6433 relacionada con la inspección y la calificación de los pavimentos asfálticos de carreteras, la identificación y la medida de los deterioros son específicas para los pavimentos de adoquines y el cálculo del índice de condición del pavimento (PCI) se basa en curvas de deducción desarrolladas a partir de investigaciones propias y ajustadas a ellos. Algún tiempo después de la publicación de la guía, la ASTM acogió ese procedimiento en su norma E 2840.

En cuanto a la relación entre la calificación y las necesidades de mantenimiento, los autores del método sugieren que si el valor del PCI de un pavimento de adoquines de concreto es mayor de 70, las acciones que requiere son, típicamente, de mantenimiento rutinario; si se encuentra entre 60 y 70, posiblemente lo más apropiado sea algún trabajo de mantenimiento periódico; si está en el rango de 40 a 59, el pavimento precisa acciones que encuadran plenamente dentro de la categoría de la rehabilitación; mientras que para valores inferiores a 40 la reconstrucción resulta, típicamente, la acción más rentable (6.17).

El procedimiento para la inspección y la manera de calificar la condición de los pavimentos de adoquines de acuerdo con este criterio, se ha incluido en este manual como Anexo 3.

6.6. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LAS CARRETERAS EN AFIRMADO

La información que periódicamente presenta el Instituto Nacional de Vías sobre el estado de la red a su cargo, divide las carreteras en pavimentadas y no pavimentadas. El término “*no pavimentadas*” resulta cómodo para distinguir las carreteras no revestidas de las que sí lo están, pero resulta demasiado vago para definir un determinado tipo de carretera, un nivel de servicio o un nivel de mantenimiento. El término carretera no pavimentada abarca desde una trocha temporal, que es aquella donde la circulación ocurre directamente sobre el suelo natural tomando el trazado menos malo entre los abiertos por los vehículos precedentes, dependiendo de las condiciones ambientales del lugar en cada instante, hasta una carretera con alguna elaboración de ingeniería (al menos en relación con el diseño geométrico y el drenaje) y con superficie de rodadura de grava (afirmado), cuya finalidad es asegurar la circulación permanente en condiciones decorosas, entendiéndose por decorosas el hecho de que el recorrido por la carretera no se constituya en una expedición en la que se desconozcan el tiempo de viaje y el número de vehículos que sucumbirán en el trayecto.

Cuando se habla de gestión de mantenimiento para vías no pavimentadas se piensa esencialmente en este último tipo de vía, y es para él que fue concebido el sistema de inspección y clasificación VIZIRET desarrollado, de manera similar al VIZIR, a través de la inspección de muchos kilómetros de vías afirmadas en varios países emergentes del África tropical (6.18).

El sistema VIZIRET permite determinar la condición de una vía en afirmado, a partir de la inspección visual de su superficie y de la calificación de los deterioros que cataloga como estructurales, definiendo un índice de calidad, llamado Índice de Viabilidad (I_v), el cual proporciona una base lógica para determinar las necesidades generales de mantenimiento y rehabilitación. Este índice está ligado a cuatro niveles de gravedad que determinan la naturaleza de los trabajos por realizar, comprendiendo actividades de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico y reconstrucción, como se muestra en la Tabla 6-6. El sistema de calificación se describe en detalle en el Anexo 4.

Tabla 6-6 Relación entre el nivel de gravedad de un deterioro y la naturaleza de los trabajos de mantenimiento o rehabilitación de una carretera en afirmado (6.18)

| Nivel | Condición del afirmado | Trabajos por realizar |
|-------|---|---|
| 0 | Ausencia de deterioros | Acciones básicas de mantenimiento rutinario |
| 1 | Degradación leve y poco sensible a los usuarios | Perfilado ligero con o sin reaplicación localizada de grava |
| 2 | Degradación constante y sensible a los usuarios | Perfilado pesado con o sin reaplicación localizada de grava |
| 3 | Degradación muy importante | Recarga de grava o reconstrucción |

6.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 Gobierno de Chile, Dirección de Vialidad, “Manual de Carreteras. Volumen 7. Mantenimiento vial”, Santiago de Chile, Edición 2014

6.2 Timothy D. Miller, Hussain U. Bahia, “Sustainable asphalt pavements: technologies, knowledge gaps and opportunities”, The University of Wisconsin, Madison, February 20, 2009

6.3 R. G. Hicks, J.P. Mahoney, “Collection and Use of Pavement Condition Data”, NCHRP Synthesis 76, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1981

6.4 M. Y. Shahin, S. D. Kohn, “Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots”, Technical Report M-268, U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL, 1979

6.5 J. A. Epps, C.L. Monismith, “Equipment for Obtaining Pavement Condition and Traffic Loading Data”, NCHRP Synthesis 126, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1986

6.6 W. D. O. Paterson, T. Scullion, “Information Systems for Road Management: Draft Guidelines for System Design and Data Issues”, Report INU77, Infrastructure and Urban Development Department, World Bank, Washington, DC, 1990

6.7 J. K. Cable, V.J. Marks, “Automated Pavement Distress Data Collection Equipment Seminar”, FHWA-TS-90-053, Iowa DOT, Ames, IA, and Federal Highway Administration, Washington, DC, 1990

6.8 Instituto Nacional de Vías, “Normas de ensayo de materiales para carreteras”, www.invias.gov.co, Bogotá D. C., 2013

6.9 Instituto Nacional de Vías, “Guía para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras”, www.invias.gov.co, Bogotá D. C., 2008

6.10 Paul Autret, Jean Louis Brousse, “VIZIR, méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins de entretien d'un réseau routier”, LCPC, Paris, Décembre 1991

6.11 Instituto Nacional de Vías, *“Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos”*, Universidad Nacional de Colombia, Convenio interadministrativo 0587-03, Octubre de 2006

6.12 M. Y. Shahin, S. D. Kohn, R. L. Lytton, L. Japel, *“Development of a pavement maintenance management system. Volume VIII: Development of an airfield pavement maintenance and repair consequence system”*, ESL-TR-81 -19, Final Report, Engineering and Services Laboratory Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, Florida 32403, April 1981

6.13 Luis Ricardo Vásquez Varela, *“Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras”*, Ingepav, Manizales, Febrero 2002

6.14 Applied Research Associates, Inc. (ARA), *“Pavement condition report. Lebanon-Boone County Airport”*, Project 15805741, Indiana Department of Transportation, Indianapolis, February 2015

6.15 Newton Jackson, *“Development of revised pavement condition indices for Portland cement concrete pavement for the WSDOT Pavement Management System”*, WA-RD 682.3, WA State Transportation Center, February 2009

6.16 Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI), *“Interlocking concrete block pavement distress guide”*, Applied Research Associates, Inc. (ARA), Toronto, Ontario, December 2007

6.17 David K. Hein, Brian Aho, Robert Burak, *“Development of a pavement condition index procedure for interlocking concrete pavements”*, Applied Research Associates Inc., Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI), 9th international conference on concrete block paving, Buenos Aires, Argentina, October 18-21 2009

6.18 Paul Autret, Jean Louis Brousse, *“VIZIRET. Qualification et quantification des dégradations d’une route non revêtue pour la programmation et le suivi des travaux d’entretien”*, LCPC, bulletin réf. 4157, janvier-février 1998

CAPÍTULO 7

Técnicas y Estrategias para el Mantenimiento de las Calzadas Pavimentadas y no Pavimentadas

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------------|
| 7. CAPÍTULO 7. TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS | V1-C7 7 |
| 7.1. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | V1-C7 7 |
| 7.1.1. TRATAMIENTO DE GRIETAS | V1-C7 7 |
| 7.1.2. PARCHEO Y BACHEO | V1-C7 10 |
| 7.2. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | V1-C7 14 |
| 7.2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS USUALES DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS | V1-C7 14 |
| 7.2.1.1. Sello tipo niebla | V1-C7 17 |
| 7.2.1.2. Sello de arena – asfalto | V1-C7 20 |
| 7.2.1.3. Tratamiento superficial | V1-C7 20 |
| 7.2.1.4. Lechada asfáltica | V1-C7 21 |
| 7.2.1.5. Sello del Cabo (“Cape seal”) | V1-C7 22 |
| 7.2.1.6. Microaglomerado en frío | V1-C7 23 |
| 7.2.1.7. Microaglomerado en caliente | V1-C7 23 |
| 7.2.1.8. Sobrecapa funcional | V1-C7 24 |
| 7.2.1.9. Mezcla drenante | V1-C7 25 |
| 7.2.1.10. Fresado | V1-C7 26 |
| 7.2.1.11. Reciclado en caliente in-situ | V1-C7 27 |
| 7.2.2. FORMACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO PARA LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS | V1-C7 28 |
| 7.2.3. LIMITACIONES Y EFECTIVIDAD DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO | V1-C7 29 |
| 7.3. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-C7 30 |
| 7.3.1. SELLADO DE GRIETAS | V1-C7 31 |
| 7.4. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-C7 31 |
| 7.4.1. REMOCIÓN Y REEMPLAZO DEL MATERIAL SELLANTE DE JUNTAS | V1-C7 34 |
| 7.4.2. COSIDO CRUZADO | V1-C7 36 |
| 7.4.3. CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS DE ALIVIO DE PRESIÓN | V1-C7 37 |
| 7.4.4. CEPILLADO | V1-C7 37 |
| 7.4.5. RANURADO | V1-C7 38 |
| 7.4.6. COLOCACIÓN O RECOLOCACIÓN DE PASADORES | V1-C7 39 |
| 7.4.6.1. Corte y ejecución de la ranura | V1-C7 39 |
| 7.4.6.2. Limpieza y preparación de la ranura | V1-C7 40 |
| 7.4.6.3. Colocación de los pasadores | V1-C7 41 |
| 7.4.7. ESTABILIZACIÓN Y ELEVACIÓN DE LOSAS | V1-C7 43 |
| 7.4.7.1. Patrones de perforación | V1-C7 44 |
| 7.4.7.2. Selección del material para la inyección | V1-C7 45 |
| 7.4.7.3. Desarrollo de los trabajos para la estabilización de la losa | V1-C7 45 |
| 7.4.7.4. Desarrollo de los trabajos para la elevación de una losa | V1-C7 46 |
| 7.4.8. REPARACIÓN EN ESPESOR PARCIAL | V1-C7 47 |
| 7.4.8.1. Demarcación de la zona afectada | V1-C7 48 |
| 7.4.8.2. Excavación y remoción del concreto | V1-C7 49 |
| 7.4.8.3. Limpieza de la zona por reparar | V1-C7 50 |
| 7.4.8.4. Preparación de la junta | V1-C7 50 |
| 7.4.8.5. Relleno | V1-C7 51 |
| 7.4.8.6. Terminado superficial | V1-C7 52 |
| 7.4.8.7. Texturizado | V1-C7 52 |
| 7.4.8.8. Curado | V1-C7 52 |
| 7.4.8.9. Resellado de juntas | V1-C7 53 |
| 7.4.8.10. Apertura al tránsito | V1-C7 53 |
| 7.4.9. REPARACIÓN EN ESPESOR TOTAL | V1-C7 54 |
| 7.4.9.1. Tamaño de la reparación | V1-C7 54 |
| 7.4.9.2. Transferencia de carga | V1-C7 55 |

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

| | | |
|-------------|---|-----------------|
| 7.4.9.3. | Requerimientos del concreto | V1-C7 55 |
| 7.4.9.4. | Ejecución de los trabajos | V1-C7 56 |
| 7.4.10. | DESARROLLO DE ESTRATEGIAS FACTIBLES PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-C7 63 |
| 7.5. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO | V1-C7 65 |
| 7.5.1. | LIMPIEZA DE LA CALZADA | V1-C7 65 |
| 7.5.2. | REEMPLAZO Y REPOSICIÓN DE ADOQUINES | V1-C7 66 |
| 7.5.3. | REPARACIÓN DE DEFORMACIONES | V1-C7 66 |
| 7.6. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE AFIRMADOS | V1-C7 67 |
| 7.6.1. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS AFIRMADOS | V1-C7 68 |
| 7.6.1.1. | Bacheo en afirmado | V1-C7 68 |
| 7.6.1.2. | Perfilado ligero | V1-C7 68 |
| 7.6.1.3. | Control del polvo | V1-C7 69 |
| 7.6.2. | TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS AFIRMADOS | V1-C7 70 |
| 7.6.2.1. | Perfilado pesado | V1-C7 70 |
| 7.6.2.2. | Recarga de grava | V1-C7 70 |
| 7.6.3. | OTRAS ALTERNATIVAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS AFIRMADAS | V1-C7 75 |
| 7.7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-C7 76 |

| | |
|---|-----------------|
| <u>C7A APÉNDICE A. INCIDENCIA DE LA CONDICIONES GENERALES DEL DRENAJE SOBRE EL COMPORTAMIENTO Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS (7.29)</u> | V1-C7 79 |
|---|-----------------|

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 7

| | |
|---|----------|
| Figura 7-1 Configuraciones para el llenado a ras de las grietas (7.2) | V1-C7 8 |
| Figura 7-2 Máquina ruteadora (7.5) | V1-C7 9 |
| Figura 7-3 Llenado de una grieta con banda de sellado (7.2) | V1-C7 9 |
| Figura 7-4 Remoción de material para el parcheo de un pavimento asfáltico | V1-C7 11 |
| Figura 7-5 Sello de los bordes de un parche (7.7) | V1-C7 12 |
| Figura 7-6 Parcheo por el método de esparcir y compactar la mezcla (7.8) | V1-C7 12 |
| Figura 7-7 Parcheo lanzando la mezcla a presión (7.7) | V1-C7 13 |
| Figura 7-8 Pavimento con un exagerado sellado de grietas (7.7) | V1-C7 17 |
| Figura 7-9 Riego en negro sobre un concreto asfáltico de textura abierta (7.7) | V1-C7 17 |
| Figura 7-10 Aplicación de un riego de rejuvenecimiento | V1-C7 19 |
| Figura 7-11 Sello de arena- asfalto (7.9) | V1-C7 20 |
| Figura 7-12 Mantenimiento de un pavimento asfáltico con un tratamiento superficial (7.9) | V1-C7 21 |
| Figura 7-13 Mantenimiento de un pavimento con una lechada asfáltica | V1-C7 22 |
| Figura 7-14 Sello del Cabo | V1-C7 22 |
| Figura 7-15 Textura superficial de un microaglomerado en caliente tipo F-10 | V1-C7 24 |
| Figura 7-16 Diferencia de visibilidad en instantes de lluvia al circular sobre una mezcla asfáltica densa y sobre una mezcla drenante | V1-C7 25 |
| Figura 7-17 Fresado de un pavimento asfáltico | V1-C7 26 |
| Figura 7-18 Cosido cruzado (7.15) | V1-C7 36 |
| Figura 7-19 Cepillado de un pavimento rígido (7.16) | V1-C7 38 |
| Figura 7-20 Comparación de superficies cepilladas y ranuradas en un pavimento rígido (7.16) | V1-C7 39 |
| Figura 7-21 Ejecución de las ranuras (7.16) | V1-C7 40 |
| Figura 7-22 Ranura impermeabilizada en la intersección con la junta (7.16) | V1-C7 41 |
| Figura 7-23 Ranuras y pasadores preparados para su instalación (7.15) | V1-C7 41 |
| Figura 7-24 Vibrado del relleno (7.16) | V1-C7 42 |
| Figura 7-25 Patrones típicos de orificios para la estabilización de losas de pavimentos de concreto simple (7.17) | V1-C7 44 |
| Figura 7-26 Método de la cuerda para la elevación de losas (7.17) | V1-C7 47 |
| Figura 7-27 Demarcación del área por reparar | V1-C7 49 |
| Figura 7-28 Golpeo con martillo para detectar el sonido del concreto deteriorado | V1-C7 49 |
| Figura 7-29 Remoción por fresado del material afectado (7.16) | V1-C7 50 |
| Figura 7-30 Aplicación de un mortero de cemento como puente de adherencia | V1-C7 51 |
| Figura 7-31 Curado del material de la reparación | V1-C7 53 |
| Figura 7-32 Piezas aserradas de tamaño manejable | V1-C7 57 |
| Figura 7-33 Izado de una sección aserrada | V1-C7 58 |
| Figura 7-34 Fragmentación y remoción del concreto deteriorado | V1-C7 58 |
| Figura 7-35 Superficie de apoyo preparada | V1-C7 59 |
| Figura 7-36 Destrucción de losas construidas sobre relleno fluido | V1-C7 60 |
| Figura 7-37 Máquina para taladrar los orificios para la instalación de los pasadores | V1-C7 61 |
| Figura 7-38 Secuencia recomendada para realizar las actividades de mantenimiento periódico (7.19) | V1-C7 64 |
| Figura 7-39 Perfilado ligero (7.21) | V1-C7 69 |
| Figura 7-40 Recarga de grava (7.21) | V1-C7 71 |
| Figura 7-41 Comportamiento previsible de un afirmado en función de su coeficiente de gradación y de su producto de contracción (7.24) | V1-C7 72 |

APÉNDICE CAPÍTULO 7

| | |
|--|-----------------|
| <i>Figura C7A-1 Pavimento asfáltico con superficie en buenas condiciones ($R = 0$)</i> | <i>V1-C7 80</i> |
| <i>Figura C7A-2 Pavimento rígido con superficie en buenas condiciones ($R = 0$)</i> | <i>V1-C7 80</i> |
| <i>Figura C7A-3 Drenaje superficial ineficiente ($A = 2$)</i> | <i>V1-C7 81</i> |
| <i>Figura C7A-4 Afloramiento excesivo de agua ($H = 2$)</i> | <i>V1-C7 82</i> |
| <i>Figura C7A-5 Depresiones y deformaciones del pavimento por ausencia de dispositivos de drenaje interno ($D = 2$)</i> | <i>V1-C7 82</i> |
| <i>Figura C7A-6 Pavimento sobre un suelo de subrasante expansivo ($S = 2$)</i> | <i>V1-C7 83</i> |
| <i>Figura C7A-7 Calificación del riesgo hídrico sobre los pavimentos</i> | <i>V1-C7 84</i> |

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 7

| | |
|---|----------|
| Tabla 7-1 Técnicas usuales de mantenimiento periódico de pavimentos asfálticos de carreteras (Adaptada de ref. 7.9) | V1-C7 15 |
| Tabla 7-2 Técnicas de mantenimiento periódico de pavimentos asfálticos | V1-C7 18 |
| Tabla 7-3 Combinaciones de técnicas que forman estrategias de mantenimiento periódico (7.9) | V1-C7 29 |
| Tabla 7-4 Estrategias de mantenimiento rutinario de pavimentos asfálticos de carreteras (Adaptada de 7.9) | V1-C7 29 |
| Tabla 7-5 Técnicas generales para el mantenimiento de pavimentos rígidos de carreteras | V1-C7 33 |
| Tabla 7-6 Distancia económica mínima aproximada entre dos parches (7.18) | V1-C7 55 |
| Tabla 7-7 Plasticidad recomendada para los materiales de afirmado (7.23) | V1-C7 72 |
| Tabla 7-8 Pérdida típica de grava (7.26) | V1-C7 74 |
| Tabla 7-9 Pérdida anual de grava en terreno plano en función del tránsito (7.27) | V1-C7 74 |
| Tabla 7-10 Correcciones por aplicar a las pérdidas de la Tabla 7.9 de acuerdo con la pluviometría y el tipo de terreno (7.27) | V1-C7 74 |

APÉNDICE

| | |
|--|----------|
| Tabla C7A-1 Riesgo asociado con la calificación global del drenaje | V1-C7 84 |
|--|----------|

Página en blanco

CAPÍTULO 7. TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS CALZADAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS

Las actividades de mantenimiento de las calzadas pavimentadas y en afirmado comprenden desde tareas elementales hasta operaciones bastante elaboradas, que se pueden dividir en rutinarias y periódicas dependiendo de las características del trabajo por efectuar y de la periodicidad con que se requiere realizarlas.

7.1. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Las actividades de mantenimiento rutinario más importantes en las calzadas asfálticas son el sellado de grietas y las operaciones de parcheo y bacheo.

7.1.1. Tratamiento de grietas

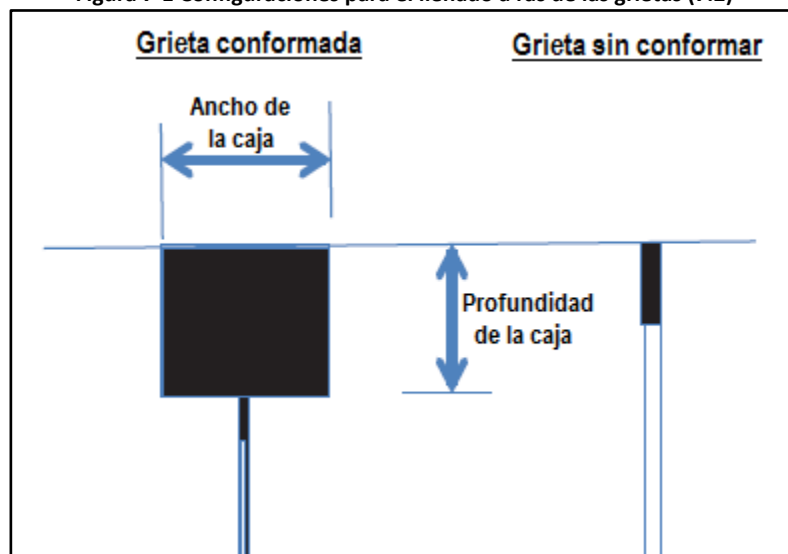
El tratamiento de grietas consiste en su eventual conformación, su limpieza y la aplicación de un producto sellante, en frío o en caliente, cuyas características técnicas y cantidades dependen de la abertura de la grieta. El procedimiento es apropiado para tratar grietas de tipo longitudinal, transversal y en bloque cuyo ancho se encuentre entre 3 y 25 mm, pero no se debe emplear para enfrentar patrones interconectados como los del tipo piel de cocodrilo, ni para tratar grietas de borde causadas por sobrecarga, fallas por corte o erosión de la berma, o las parabólicas producidas por baja estabilidad de la mezcla o por falta de adherencia entre las capas asfálticas y la subyacente. Tampoco resulta apropiado en pavimentos semirrígidos, si en las capas asfálticas existentes permanecen grietas de retracción o reflexión, caso en el cual lo más procedente es el uso de un sistema de prevención del reflejo para minimizar el efecto perjudicial de la reflexión en la superficie de pavimento reforzado (7.1).

La literatura técnica distingue dos procedimientos para el tratamiento de las grietas de los pavimentos asfálticos: sellado (*"sealing"*) y llenado (*"filling"*). El primero se emplea para prevenir el ingreso de agua y de partículas incompresibles y aplica a las grietas transversales que sufren cantidades significativas de movimiento (debido a los cambios estacionales de temperatura); mientras que el segundo está destinado únicamente a impedir la infiltración de agua y es aplicable sobre todo a las grietas longitudinales, las cuales experimentan movimientos de escasa magnitud con los cambios volumétricos. Este último tratamiento es el usual y el normalmente necesario en los pavimentos asfálticos de la red vial nacional.

Se han utilizado muchas configuraciones para el llenado de las grietas de los pavimentos asfálticos (7.2). De ellas, las más empleadas en el país han sido las de llenado a ras (*"flush fill"*) con o sin conformación previa (ruteo) de la grieta (Figura 7-1).

Filice recomienda que las dimensiones de la caja de conformación para el llenado de grietas sean 19 mm × 19 mm (7.3).

Figura 7-1 Configuraciones para el llenado a ras de las grietas (7.2)



Existen diferentes productos, tanto de aplicación en frío como en caliente, que pueden resultar idóneos para el llenado de grietas. Los de aplicación en frío, generalmente emulsiones asfálticas, son más baratos y penetran fácilmente dentro de ellas, aunque presentan un comportamiento menos satisfactorio que los de aplicación en caliente. El Artículo 466, “*Sello de grietas en pavimentos asfálticos*” de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) solamente considera el empleo de productos termoplásticos de aplicación en caliente que cumplan los requisitos físicos de calidad indicados en la norma ASTM D 6690, sin que ello implique que no se puedan usar otros productos idóneos bajo especificaciones particulares. En cualquier caso, el material por emplear en un proyecto determinado de tratamiento de grietas deberá ser escogido por el ingeniero, considerando que deberá poseer la capacidad de permanecer adherido a las paredes de la grieta, expandirse y contraerse sobre el rango de temperaturas de servicio sin rotura o exfoliación desde las paredes de la grieta y resistir adecuadamente la abrasión producida por el tránsito. En las especificaciones que forman parte de este manual, el llenado de grietas en los pavimentos asfálticos está considerado como Actividad 1211.

En los contratos de mantenimiento rutinario que suscribe actualmente el Instituto con las microempresas, se conviene que el llenado de grietas de menos de 3 mm se realice con emulsión asfáltica.

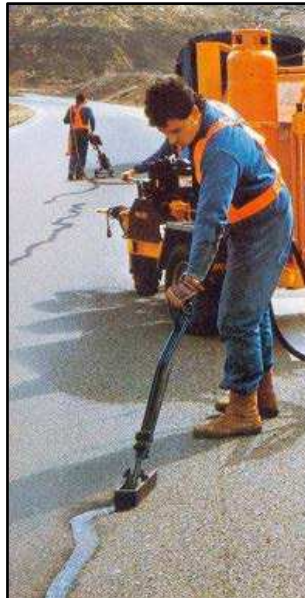
Figura 7-2 Máquina ruteadora (7.5)



Cuando el tratamiento de grietas se realiza como actividad única de mantenimiento, la configuración recomendable no es la de llenado a ras sino la de banda de sellado (*"overband"*), la cual se extiende en la superficie del pavimento hacia los lados de la grieta (Figura 7-3). En este caso, se debe tener cuidado para no aplicar el producto en exceso, tanto para evitar incomodidades al tránsito como para impedir que el material sellante se adhiera a los neumáticos de los vehículos y sea desprendido de la grieta.

Aunque hay concordancia en cuanto al hecho de que la expectativa de vida de un material para el llenado de grietas en frío es menor que la de uno aplicado en caliente, se presentan amplias discrepancias en cuanto al probable número de años. Yildirim et al. (7.5) reportan que la duración del tratamiento en frío de una grieta sin ruteo oscila entre 1 y 2 años y que la vida típica del tratamiento en caliente se encuentra entre 3 y 5 años. Por su parte, el Departamento de Transporte de California (7.6) menciona períodos de 2 a 4 años para el relleno en frío con emulsión asfáltica y de 6 a 8 años para las aplicaciones en caliente.

Figura 7-3 Llenado de una grieta con banda de sellado (7.2)



7.1.2. Parcheo y bacheo

Este tratamiento consiste en la intervención de áreas localizadas del pavimento para corregir defectos relacionados con un deterioro estructural o problemas de humedad, de materiales o de construcción. La intervención puede abarcar sólo las capas asfálticas (parcheo) o comprender también las granulares o estabilizadas hasta lograr un apoyo firme (bacheo), dependiendo de la naturaleza del deterioro.

Al igual que en el caso del sellado de grietas, el parcheo y el bacheo se pueden realizar como tratamientos únicos, caso en el cual se constituyen actividades de mantenimiento rutinario, o como preparación de la superficie del pavimento para una actividad de mantenimiento periódico o de refuerzo estructural. Cualquiera sea el caso, el parcheo y el bacheo constituyen uno de los tratamientos más costosos del mantenimiento de los pavimentos asfálticos.

Dentro de las especificaciones de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías (7.4), las excavaciones para parcheo y bacheo están consideradas en el Artículo 465, *“Excavación para reparación de pavimento asfáltico existente”*, en tanto que las operaciones para el relleno de las excavaciones se describen en los Artículos referentes a los materiales que se empleen, de acuerdo con la profundidad excavada.

El trabajo descrito en el Artículo 465 de las especificaciones de construcción comprende las siguientes actividades:

- Demarcación de las áreas por excavar, las cuales deben ser ligeramente más amplias que las que reflejan los deterioros, haciendo uso de figuras geométricas, cuadradas o rectangulares, cuyas caras longitudinales y transversales deberán ser, respectivamente, paralelas y perpendiculares al eje de la carretera.
- Corte, mediante aserrado, de las capas asfálticas de las áreas delimitadas, asegurando que las paredes excavadas sean verticales y uniformes. Si se trata de una operación de parcheo y las capas asfálticas son espesas, el corte se llevará hasta encontrar una capa asfáltica sana (se recomienda que el espesor del parche sea, cuando menos, 50 % superior al espesor asfáltico fallado). Si las capas asfálticas no son espesas o se ha determinado que la operación por realizar es de bacheo, el corte abarcará la totalidad del espesor de las capas asfálticas.
- Si se trata de una operación de parcheo, demoler la capa afectada, preferentemente con un martillo neumático, y remover el material de la excavación (Figura 7-4). Si se trata de una operación de bacheo, se excavará empleando un equipo apropiado para las dimensiones y ubicación del área sometida a reparación, hasta la profundidad señalada por el representante del Instituto en el sitio y se removerá la totalidad del material excavado, de manera que el fondo de la excavación sea plano, uniforme y firme. Si la extensión del área por parchar lo permite, el corte y la remoción de la capa asfáltica

deteriorada se pueden realizar con una máquina fresadora, caso en el cual se aplica el Artículo 460, “*Fresado de pavimento asfáltico*”, de las especificaciones de construcción o la Actividad 1229 de las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

- Si el fondo expuesto de la excavación corresponde a una capa granular o a un suelo, se deberá compactar de manera que se alcance la densidad requerida por la especificación aplicable, en un espesor no menor de 15 cm.

Figura 7-4 Remoción de material para el parcheo de un pavimento asfáltico



Fuente: <http://rainierasphalt.com/services/patching/>

Las siguientes actividades de las operaciones de parcheo o bacheo no forman parte del Artículo 465 de las especificaciones de construcción, sino de las que resulten aplicables para el relleno de la excavación:

- Dependiendo de la profundidad de la excavación, ésta se podrá rellenar empleando materiales granulares de subbase y/o base granular y, en todos los casos, de mezcla asfáltica hasta alcanzar un nivel de 3 a 6 mm por encima de la rasante del pavimento que se repara, con el fin de evitar acumulaciones de agua y tener en cuenta la compactación adicional que produce el tránsito automotor. Estos materiales se deberán colocar en los espesores y compactar a los niveles de densidad exigidos en los documentos aplicables al proyecto. En el caso de las capas asfálticas, tanto la superficie que las va a recibir como las paredes de la excavación se deberán pintar con un riego de liga empleando una emulsión asfáltica de rotura rápida en una dosis aproximada de 1 litro/m².
- Si la excavación es pequeña y la mezcla se debe aplicar manualmente, se esparcirá siempre con pala y no con rastrillo, con el fin de prevenir su segregación.
- Si el parcheo o bacheo se realiza solamente como operación de mantenimiento rutinario y, por lo tanto, va a quedar expuesto al tránsito, los bordes del parche se

deberán sellar para prevenir el ingreso de agua u otras sustancias deletéreas. (Figura 7-5).

Figura 7-5 Sello de los bordes de un parche (7.7)



Cuando el parcheo se realiza como actividad de mantenimiento rutinario, además del procedimiento recién descrito, el cual se puede considerar como semipermanente, existen otros de durabilidad muy temporal, que casi se pueden considerar como intervenciones de emergencia sobre la calzada, los cuales se emplean para cubrir deterioros de los tipos baches y ojos de pescado. Dos de los más utilizados son el de esparcir y compactar la mezcla (*“throw and roll”*) y el de arrojar la mezcla a presión (*“spray-injection patching”*).

El primero de ellos es el menos costoso (y también el menos eficiente) y consiste en esparcir la mezcla asfáltica dentro del orificio, con o sin limpieza y/o secado previo de éste y, en seguida, compactarla mediante pasadas del mismo vehículo que se empleó para transportarla al sitio (Figura 7-6).

Figura 7-6 Parcheo por el método de esparcir y compactar la mezcla (7.8)



El segundo procedimiento, conocido en el país como método de la *“máquina tapahuecos”*, requiere el empleo de un equipo específicamente diseñado para el trabajo, que realiza en una secuencia continua las siguientes operaciones (Figura 7-7):

- Limpiar el bache con aire comprimido, para liberarlo de material suelto, agua y basura presentes
- Aplicar un riego de liga con emulsión en el fondo y las paredes del bache, a una tasa aproximada de 1 litro/m²
- Empleando aire forzado, disparar dentro del bache, hasta llenarlo con algo de exceso, la mezcla asfáltica diseñada para el trabajo. Se supone que la mezcla queda compactada por la fuerza del aire que la lanza al orificio.

El procedimiento se puede terminar aplicando sobre la superficie una capa delgada de agregado seco, para evitar que la mezcla se adhiera a los neumáticos de los vehículos que circulen sobre el parche.

En las especificaciones que forman parte de este manual, los trabajos de parcheo en los pavimentos asfálticos están considerados en las Actividades 1212 y 1213, y los de bacheo en la Actividad 1214.

Figura 7-7 Parcheo lanzando la mezcla a presión (7.7)



7.2. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Si se determina que las actividades de mantenimiento periódico constituyen la mejor opción para intervenir el pavimento asfáltico en un instante dado, lo que corresponde es identificarlas.

Los capítulos 2 y 3 de la referencia 7.9 incluyen unas tablas donde se presentan posibles técnicas de tratamiento de los pavimentos asfálticos de carreteras, según sus condiciones funcional y estructural y teniendo en cuenta, además, la vida residual estimada y la importancia de la vía. Un resumen de ellas, adaptado específicamente a las actividades de mantenimiento periódico, se presenta en la Tabla 7-1 . Como se puede advertir en la tabla, los trabajos de mantenimiento periódico (llamados de restauración en la referencia 7.9) requeridos para corregir los defectos del pavimento, solamente constituyen una solución apropiada siempre y cuando éste posea una vida residual de alguna consideración. El mantenimiento periódico no es apropiado para el tratamiento de los deterioros de tipo estructural. Ellos se deben enfrentar siempre mediante el diseño de obras de rehabilitación sobre una base de proyecto, como se describe en la citada referencia 7.9.

7.2.1. Descripción de las técnicas usuales de mantenimiento periódico de los pavimentos asfálticos

Los trabajos de mantenimiento periódico de un pavimento asfáltico están enfocados, típicamente, a solucionar una necesidad de tipo funcional como, por ejemplo, mejorar la fricción superficial o impermeabilizar la superficie del pavimento. No obstante, algunos de ellos pueden cumplir varias funciones y así se ejecuten por una razón específica, suelen satisfacer simultáneamente otras necesidades secundarias. Las principales funciones del mantenimiento periódico de un pavimento asfáltico son las siguientes:

- Suministrar una nueva superficie de rodamiento
- Impermeabilizar la superficie
- Mejorar el drenaje superficial
- Mejorar la fricción superficial
- Reducir la rata de degradación del pavimento
- Mejorar la apariencia de la calzada
- Reducir el ruido de rodadura
- Proporcionar una diferencia visual entre la calzada y las bermas

Tabla 7-1 Técnicas usuales de mantenimiento periódico de pavimentos asfálticos de carreteras (Adaptada de ref. 7.9)

| Técnica | Vida residual del pavimento (Años) | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|-----|------|------|
| | 0-2 | 3-5 | 6-10 | > 10 |
| CARRETERAS DE TRÁNSITO BAJO | | | | |
| Sello tipo niebla | | X | X | |
| Sello de arena – asfalto | | X | X | |
| Tratamiento superficial | | X | X | |
| Lechada asfáltica | | X | | |
| Sello del Cabo | | X | | |
| Microaglomerado en frío | | | | |
| Microaglomerado en caliente | | | | |
| Sobrecapa funcional ^{1,2} | | X | | |
| Mezcla drenante | | | | |
| Fresado | | X | | |
| Reciclado en caliente in-situ | | X | | |
| CARRETERAS DE TRÁNSITO MEDIO | | | | |
| Sello tipo niebla | | | | |
| Sello de arena – asfalto | | | X | X |
| Tratamiento superficial | | X | X | |
| Lechada asfáltica | | X | X | |
| Sello del Cabo | | X | X | |
| Microaglomerado en frío | | | X | |
| Microaglomerado en caliente | | | | |
| Sobrecapa funcional ^{1,2} | | X | | |
| Mezcla drenante | | | | |
| Fresado | | X | | |
| Reciclado en caliente in-situ | | X | | |
| CARRETERAS DE TRÁNSITO ALTO | | | | |
| Sello tipo niebla | | | | |
| Sello de arena – asfalto | | | | |
| Tratamiento superficial ³ | | | | X |
| Lechada asfáltica | | | | |
| Sello del Cabo | | | | |
| Microaglomerado en frío | | X | X | X |
| Microaglomerado en caliente | | X | X | |
| Sobrecapa funcional ^{1,2} | | X | X | |
| Mezcla drenante ⁴ | | X | X | X |
| Fresado | | X | X | |
| Reciclado en caliente in-situ | | X | | |

¹Puede requerir parcheo o bacheo previo

²No es recomendable cuando exista la posibilidad de reflejo de grietas

³El tratamiento se debe construir con un asfalto modificado con polímeros

⁴La mezcla drenante requiere que la capa de apoyo sea impermeable y presente una pendiente transversal adecuada

Los conceptos de tránsito bajo, medio y alto considerados en este manual son los establecidos en las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4):

| Nivel de tránsito | Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño, $N_{80_{kN}}$ (millones) |
|-------------------|---|
| NT1 | $N_{80_{kN}} \leq 0.5$ |
| NT2 | $0.5 < N_{80_{kN}} \leq 5.0$ |
| NT3 | $N_{80_{kN}} > 5.0$ |

Prácticamente todas las técnicas de mantenimiento periódico dan lugar a una nueva superficie de rodamiento, adecuada a las necesidades funcionales y de durabilidad del pavimento. Aquellas que incluyen la aplicación de agregados pétreos suelen ser aplicadas específicamente para mejorar las características de desgaste de la estructura y la seguridad de los usuarios. Un tratamiento superficial, por ejemplo, proporciona una nueva capa de agregado expuesta al tránsito, la cual puede suministrar mejores características de durabilidad y de resistencia a la abrasión que la superficie original. El tratamiento superficial incrementa también la macrotextura del pavimento, lo que se traduce en el mejoramiento del drenaje superficial de la calzada. Un resultado similar se puede lograr con una lechada asfáltica, con un microaglomerado o con una mezcla drenante. Esta última, además, constituye el único medio realmente efectivo y económico para disminuir el ruido producido en el contacto entre los neumáticos de los vehículos y el pavimento.

Salvo las mezclas drenantes, las técnicas de mantenimiento periódico cumplen el propósito de impermeabilizar el pavimento cubriendo las fisuras y las áreas segregadas permeables, restringiendo así la infiltración de agua y reduciendo la velocidad a la cual se deteriora el pavimento. Algunos pavimentos asfálticos presentan síntomas de envejecimiento sin acusar otros defectos de importancia. En ellos, la aplicación de sellos del tipo niebla, lechadas asfálticas o tratamientos superficiales puede constituir una solución satisfactoria.

Las acciones de mantenimiento periódico dan lugar, además, a un marcado mejoramiento de la apariencia superficial de un pavimento asfáltico. Superficies con abundantes parches o con un sellado de grietas intenso son muy poco atractivas a la vista (Figura 7-8). La aplicación de un tratamiento superficial, una lechada asfáltica o un microaglomerado, constituye una manera simple y efectiva de cubrir estas irregularidades y restablecer una apariencia uniforme.

El mantenimiento periódico sirve, también, para establecer una distinción visual entre las bermas y el área de circulación vehicular. Cuando el tratamiento se aplica únicamente a la calzada, se establece una clara diferencia entre las dos zonas, con lo que se logra que los motoristas eviten circular por la berma o por la junta de ella con la calzada, ayudando de esta manera a incrementar la vida del pavimento de una manera simple pero efectiva.

Figura 7-8 Pavimento con un exagerado tratamiento de grietas (7.7)



La Tabla 7-2 resume las principales técnicas de mantenimiento periódico de un pavimento asfáltico de carretera, indicando los principales propósitos de cada una de ellas. Sus características relevantes se mencionan en los apartados siguientes.

7.2.1.1. Sello tipo niebla

Aunque su finalidad general es proteger la superficie contra la degradación, un sello del tipo niebla se puede aplicar con dos propósitos distintos: (1) mejorar la impermeabilidad de un pavimento nuevo o relativamente nuevo (edad inferior a 2 años) que presente síntomas de disgregación o escasez en la dosificación del asfalto o, simplemente, mejorar su apariencia (Figura 7-9); y (2) rejuvenecer una capa de rodadura envejecida debido a la oxidación del ligante. En el primer caso se denomina riego en negro, mientras que en el segundo caso el tratamiento se conoce como riego de rejuvenecimiento.

Figura 7-9 Riego en negro sobre un concreto asfáltico de textura abierta (7.7)



Tabla 7-2 Técnicas de mantenimiento periódico de pavimentos asfálticos

| Técnica | Propósitos | Actividad de mantenimiento¹ |
|---------------------------------------|--|---|
| Sello tipo niebla | Sellado de la superficie Rejuvenecimiento del asfalto oxidado | 1221 |
| Sello de arena – asfalto | Sellado de la superficie Mejora temporal de la fricción superficial | 1222 |
| Tratamiento superficial | Suministrar una superficie de rodamiento rejuvenecida Mejorar el drenaje superficial de la calzada Mejorar las características de fricción superficial | 1223 |
| Lechada asfáltica | Sellado de la superficie Retardar la desintegración superficial del pavimento Mejorar la resistencia al deslizamiento | 1224 |
| Sello del Cabo (<i>“Cape seal”</i>) | Suministrar una superficie rodamiento rejuvenecida Mejorar el drenaje superficial de la calzada Mejorar las características de fricción superficial Retardar la desintegración superficial del pavimento | 1225 |
| Microaglomerado en frío | Sellado de la superficie Retardar la desintegración superficial del pavimento Mejorar la resistencia al deslizamiento Nivelar áreas ahuelladas de poca profundidad | 1224 |
| Microaglomerado en caliente | Brindar una nueva superficie de rodamiento Mejorar el drenaje y la fricción superficial | 1226 |
| Sobrecapa delgada | Brindar una nueva superficie de rodamiento Retardar la desintegración superficial del pavimento | 1227 |
| Mezcla drenante | Suministrar un adecuado drenaje superficial Reducir el hidroplaneo Limitar la proyección de agua lluvia Mejorar la visibilidad en condiciones de lluvia Incrementar la fricción superficial Reducir el ruido de rodadura | 1228 |
| Fresado | Producir una superficie rugosa y correctamente nivelada Facilitar la colocación de una nueva capa de espesor uniforme con una alta adherencia Eliminar la necesidad de capas de nivelación Reducir las elevaciones de rasante que pueden producir los trabajos de mantenimiento o de refuerzo | 1229 |
| Reciclado en caliente in-situ | Corregir deterioros de origen superficial Renovar la superficie del pavimento | - |

¹ Estas actividades de mantenimiento son las incluidas en el Volumen 2 de este manual

El riego en negro consiste, simplemente, en una aplicación ligera de una emulsión asfáltica diluida sobre la superficie del pavimento. El riego de rejuvenecimiento, en cambio, radica en la aplicación de una combinación de aceites rejuvenecedores o una mezcla de emulsión asfáltica con aceites de reciclado, con los que se busca ablandar el asfalto oxidado de la capa de rodadura, reduciendo así la velocidad de su envejecimiento y su oxidación (Figura 7-10). Cualquiera sea el caso, la dosificación del ligante se debe establecer con mucho cuidado, con el fin de asegurar que el producto penetre en la superficie existente y no dé lugar a excesos de asfalto en la superficie ni a una disminución inconveniente de la resistencia al deslizamiento. En situaciones en las que se requiera una rápida apertura al tránsito, se puede aplicar una capa de arena para evitar que el ligante se pierda al adherirse a los neumáticos de los vehículos.

Figura 7-10 Aplicación de un riego de rejuvenecimiento



Fuente: <http://www.dot.ca.gov/hq/maint/MTAGChapter6-FogandRejuvenatingSeals.pdf>

La emulsión recomendada para el riego es negro es la de rotura lenta, diluida generalmente al 50 % (una parte de emulsión + una parte de agua potable), para reducir su viscosidad y permitir el control de la aplicación de pequeñas cantidades de asfalto residual. La dosificación típica para la emulsión diluida al 50 % es de 0.25 a 0.50 litros/m², dependiendo de las condiciones de la superficie. La arena para la capa de protección, cuando se requiere una rápida apertura al tránsito, se puede aplicar a una tasa aproximada de 0.5 kg/m². Un barrido posterior resulta siempre recomendable.

En el caso de los riegos de rejuvenecimiento, los productos por aplicar son agentes catiónicos de rejuvenecimiento muy variados, compuestos por aceites de petróleo y resinas, emulsificados con agua, y están cobijados por nombres comerciales. Su dosificación y su aplicación se deberán realizar en acuerdo con las instrucciones del fabricante del producto.

Los riegos en negro y de rejuvenecimiento no están considerados en las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto, pero en las especificaciones de

mantenimiento que forman parte de este manual corresponden a la Actividad 1221. Su aplicación no es recomendable sobre pavimentos de carreteras con tránsitos de las categorías NT2 y NT3 y sólo son aceptables como solución en las de categoría NT1, siempre y cuando se asegure que luego de aplicado el sello, el valor de resistencia al deslizamiento en la superficie sea superior al mínimo establecido como “*nivel de investigación*” en la Tabla 3.3.2 de la guía para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras del Instituto (7.9). La expectativa de vida de estos riegos es muy variable y depende de la condición del pavimento sobre el cual se aplica, del tránsito circulante y de las condiciones ambientales. Por lo general, no excede de 2 años.

7.2.1.2. Sello de arena – asfalto

Consiste en la aplicación de un material bituminoso, generalmente una emulsión de rotura rápida, sobre la superficie del pavimento, seguida por la extensión y la compactación de una capa delgada de arena (Figura 7-11). El sello cumple, básicamente, la misma función que el riego en negro pero, además, ofrece mejores condiciones de fricción superficial debido a la adición de una cantidad sustancialmente mayor de agregado pétreo. Esta técnica se encuentra considerada en el Artículo 432 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) y sólo es admisible en vías con niveles de tránsito NT1 y NT2. En las especificaciones que forman parte de este manual, el sello de arena-asfalto corresponde a la Actividad 1222. Su expectativa de vida es similar a la de los riegos en negro.

Figura 7-11 Sello de arena- asfalto (7.9)



7.2.1.3. Tratamiento superficial

Consiste en aplicaciones sucesivas de una emulsión asfáltica de rotura rápida y capas de gravilla de tamaño uniforme (Figura 7-12). Su construcción sobre un pavimento existente sirve para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie pero, principalmente, para mejorar las características de drenaje y de fricción superficial. Los tratamientos superficiales simples y dobles están considerados en los Artículos 430 y 431 de las especificaciones generales de

construcción de carreteras (7.4) y como Actividad 1223 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

Figura 7-12 Mantenimiento periódico de un pavimento asfáltico con un tratamiento superficial (7.9)



El empleo de los tratamientos superficiales con los fines que se acaban de mencionar está limitado a carreteras de tránsito bajo y medio (NT1 y NT2) cuando se utilizan emulsiones elaboradas con asfaltos convencionales. Si se emplean emulsiones elaboradas con asfaltos modificados con polímeros, los tratamientos se pueden aplicar en carreteras con elevada intensidad de tránsito (7.10).

Cuando se construyen en condiciones favorables, los tratamientos superficiales de mantenimiento pueden cumplir adecuadamente su función durante períodos de 5 a 7 años, correspondiendo la mayor duración a los de tipo doble elaborados con asfaltos modificados con polímeros.

7.2.1.4. Lechada asfáltica

Consiste en una mezcla de emulsión asfáltica de rotura lenta, agua, agregado fino, llenante mineral y, eventualmente, aditivos, que se realiza en una máquina mezcladora especial que se encarga también de extenderla sobre la superficie del pavimento (Figura 7-13). La lechada es efectiva para sellar áreas con grietas de poca abertura, impermeabilizar la superficie y mejorar la fricción superficial. Debido a que la lechada es muy rígida, el pavimento que se va a cubrir con ella deberá ser estable, sin deformaciones excesivas ni grietas que puedan sufrir movimientos bajo la acción del tránsito automotor.

El empleo de la lechada asfáltica está considerado en el Artículo 433 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) y como Actividad 1224 en las especificaciones de mantenimiento incluidas en este manual. Su aplicación en la restauración de pavimentos, se debe restringir a carreteras de tránsito bajo y medio (NT1 y NT2). Su expectativa de vida útil se encuentra entre 3 y 5 años.

Figura 7-13 Mantenimiento de un pavimento con una lechada asfáltica



Fuente: <http://iprslurryseal.com/services/slurry-seal-surfacing>

7.2.1.5. Sello del Cabo (“Cape seal”)

Consiste en la aplicación de un tratamiento superficial simple sobre un pavimento existente y, luego de algún tiempo (típicamente tres semanas), la de una lechada asfáltica sobre el tratamiento terminado (Figura 7-14). La construcción conjunta de estos dos tratamientos combina las principales características favorables de ambos: el tratamiento superficial aporta principalmente impermeabilización y resistencia al deslizamiento, mientras que la lechada brinda lisura, reduce el nivel del ruido de rodadura y evita el desprendimiento de partículas típico de los tratamientos superficiales. Por ser una técnica de restauración con los mismos propósitos de los dos tratamientos que combina, no es recomendable su construcción sobre pavimentos con problemas estructurales. La vida útil de esta superficie de rodadura puede alcanzar 8 o más años.

Este sello, como tal, no está incluido en las especificaciones de construcción de carreteras del Instituto, motivo por el cual se deben considerar conjuntamente los Artículos 430 y 433. Las especificaciones de mantenimiento que forman parte este manual lo consideran como Actividad 1225.

Figura 7-14 Sello del Cabo



Fuente: www.weterville.org

7.2.1.6. Microaglomerado en frío

Llamado también micropavimento, es una lechada asfáltica elaborada con una emulsión de asfalto modificado con polímeros y un agregado pétreo de tamaño máximo ligeramente mayor al empleado para la fabricación de la lechada convencional. Aunque cumple las mismas funciones de la lechada en la restauración de un pavimento, la modificación del ligante hace que el microaglomerado sea utilizable en carreteras de alto volumen de tránsito (NT3). Este tratamiento está considerado en el Artículo 433 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) y como Actividad 1224 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

Los microaglomerados en frío también se pueden utilizar para rellenar zonas ahuelladas de poca profundidad, siempre y cuando ellas no obedezcan a baja resistencia a la deformación plástica de la capa de rodadura. Debido a su naturaleza frágil, su acción como tratamiento sellante de fisuras no suele ser muy eficaz. Colocados en condiciones favorables, su expectativa de vida puede superar los 5 años.

De acuerdo con un estudio reciente, las lechadas asfálticas y los microaglomerados en frío producen algunos beneficios ambientales relacionados con el bajo consumo de recursos materiales, menor energía utilizada y menos gases emitidos respecto de otros métodos tradicionales de reparación (7.11).

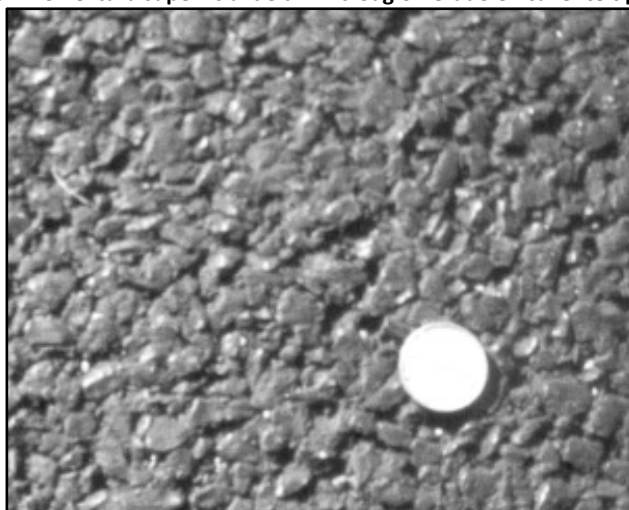
7.2.1.7. Microaglomerado en caliente

Es una mezcla asfáltica elaborada en caliente con agregados de gradación discontinua, que se emplea para construir capas de rodadura de poco espesor. Se elabora con un asfalto modificado con polímeros o con asfalto-caucho, eventualmente con la incorporación de fibras naturales o artificiales, y con un agregado pétreo que presenta una discontinuidad granulométrica entre los tamaños de 2 a 5 mm, con el fin de obtener una textura macrorrugosa al compactar la capa en el terreno (Figura 7-15). Las fibras incorporadas al esqueleto mineral ejercen un papel doble. Primero, permiten fijar un mayor contenido en ligante debido al aumento que producen en la superficie específica a envolver, lo que se traduce en una película de ligante más gruesa sin riesgo de escurrimiento, interesante desde el punto de vista del envejecimiento y favorable por tanto a la durabilidad de la mezcla. La fibra ejerce, además, un papel estructurante aportando una armadura al mortero, mejorando su cohesión, su resistencia a la tracción, a la deformación plástica y a la fatiga.

Los microaglomerados en caliente son útiles en la restauración de pavimentos que tengan una base firme, que no estén deformados y que presenten moderados síntomas de desprendimiento o de agrietamiento, o problemas de deslizamiento o de envejecimiento. No se recomienda su uso sobre capas asfálticas con exudaciones pronunciadas, ya que los excesos de asfalto se reproducen rápidamente en la superficie.

El microaglomerado en caliente, llamado también mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura, está considerado por las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto en su Artículo 452 (7.4) y como Actividad 1226 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual. Su expectativa de vida se encuentra entre 5 y 8 años.

Figura 7-15 Textura superficial de un microaglomerado en caliente tipo F-10



Fuente: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6270/07.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

7.2.1.8. Sobrecapa funcional

Las sobrecapas funcionales o sobrecapas delgadas, construidas con mezclas del tipo denso en caliente, son muy utilizadas como técnica de mantenimiento periódico, por cuanto prolongan la vida útil de un pavimento asfáltico estructuralmente sano a través del mejoramiento de su condición funcional, a la vez que mantienen la geometría superficial de la vía. Los pequeños defectos superficiales, diferentes a deformaciones, son cubiertos por ella, dando la misma apariencia de un pavimento nuevo.

Como toda técnica de preservación, las sobrecapas delgadas sólo son útiles en la medida en que se coloquen antes de que el deterioro del pavimento alcance un estado crítico que haga necesaria la construcción de refuerzos espesos u otras obras de rehabilitación estructural. El tratamiento puede estar precedido del fresado o microfresado de la superficie existente, si se considera necesaria la remoción de algunas imperfecciones menores.

Para ser considerada como operación de mantenimiento periódico, el espesor compacto de la sobrecapa no debe ser superior a 40 milímetros. Su construcción se debe efectuar según lo establecido en el Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4). En las especificaciones que forman parte de este manual está considerada como Actividad 1227. La mezcla por emplear deberá ser del tipo MDC-10 y, para su aplicación en vías de tránsito alto (NT3) se deberá elaborar con asfalto modificado

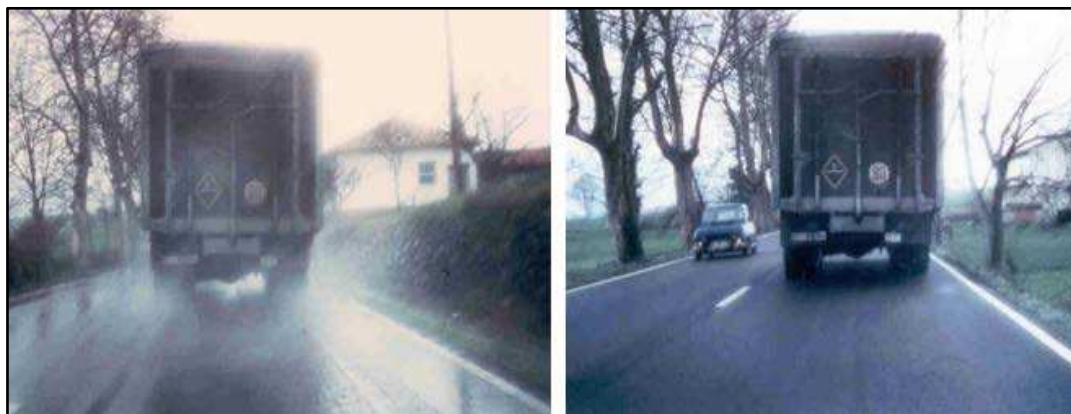
con polímeros o asfalto-caucho. Colocada en condiciones e instante apropiados, su vida útil puede alcanzar hasta 10 años (7.12).

En años recientes se han venido desarrollando unas nuevas mezclas en caliente de los tipos denso, discontinuo y abierto para la construcción de capas asfálticas delgadas de rodadura (7.13). Aún no se dispone de datos sobre su comportamiento a largo plazo, debido a lo reciente de su implementación, motivo por el cual su uso no se recomienda en este manual.

7.2.1.9. Mezcla drenante

El uso de mezclas drenantes como capas de rodadura tiene por finalidad manejar el agua lluvia a través de la estructura del pavimento y no por su superficie, sustituyendo el concepto tradicional de la capa de rodadura impermeable, por el opuesto en el que se hace que el agua penetre en la calzada y la función de impermeabilización sea trasladada a la capa sobre la cual se apoya la capa superficial. Ello se logra empleando una mezcla asfáltica con un elevado contenido de vacíos con aire, cuyo diseño y colocación en obra dan lugar a una superficie de textura abierta y de alta capacidad drenante. Construida sobre una superficie impermeable y con una correcta pendiente transversal, en un espesor del orden de 40 a 50 mm, evita la presencia de agua en la superficie, drenándola de manera inmediata en instantes de lluvia, eliminando el hidroplaneo, proporcionando alta resistencia al deslizamiento, reduciendo el volumen de agua proyectada al paso de los vehículos y mejorando la visibilidad de los conductores en instantes de lluvia (Figura 7-16), así como disminuyendo el ruido producido en el contacto de los neumáticos de los vehículos con la superficie del pavimento. En su elaboración se deben emplear asfaltos modificados con polímeros, cuya mayor viscosidad permite obtener un espesor importante de película asfáltica sin riesgos de exudación y ofreciendo alta flexibilidad y una elevada cohesión. Todo lo anterior señala como campo de aplicación de las mezclas drenantes las zonas con numerosos días de lluvia al año o con problemas derivados del ruido de circulación vehicular.

Figura 7-16 Diferencia de visibilidad en instantes de lluvia al circular sobre una mezcla asfáltica densa y sobre una mezcla drenante



Fuente: http://catedramln.unizar.es/files/cursos/2006-2007/bituminosas/conferencia_miro.pdf

La mezcla drenante está considerada en el Artículo 453 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) y como Actividad 1228 en las especificaciones de mantenimiento incluidas en este manual. Su expectativa de vida oscila entre 8 y 10 años. Si su mantenimiento durante el transcurso de los años no es adecuado, se puede colmar prematuramente, perdiendo gran parte de su eficacia.

7.2.1.10. Fresado

Es un proceso realizado por un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de alta dureza, que cuenta con un sistema de nivelación automática y que opera con buena precisión. El fresado consiste en la molienda (generalmente en frío) de la parte superior de un pavimento para corregir sus perfiles longitudinal y transversal, removiendo abultamientos, baches, excesos de asfalto, grietas descendentes de poca profundidad y otras imperfecciones de la capa de rodadura, sin afectar las capas inferiores y dejando una superficie de macrotextura rugosa y nivelada de elevada resistencia al deslizamiento (Figura 7-17).

El material recuperado del fresado, conocido por su sigla inglesa RAP (*“Reclaimed Asphalt Pavement”*), se puede reutilizar en la construcción, mantenimiento o rehabilitación de pavimentos, generalmente formado parte de una nueva mezcla asfáltica.

Este tratamiento suele preceder la colocación de una nueva capa asfáltica que compense la pérdida de espesor que origina o, inclusive, que mejore la capacidad estructural del pavimento. Si la capa de compensación tiene el mismo o menor espesor que la capa removida, se considera que las dos acciones conforman un tratamiento de mantenimiento periódico, pero si se coloca una de mayor espesor, el fresado se convierte en parte de una operación de rehabilitación. El fresado de pavimentos asfálticos está considerado en el Artículo 460 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) y como Actividad 1229 en las especificaciones que forman parte de este manual.

Figura 7-17 Fresado de un pavimento asfáltico



Fuente: www.youtube.com/watch?v=w4-05_ziyeA

Una variante de este procedimiento, conocida como “*microfresado*” o “*texturizado*”, se ha determinado como satisfactoria para corregir algunos defectos leves de regularidad superficial mediante la eliminación de los puntos altos de la superficie, sin tener que acudir a soluciones basadas en la recuperación o el recrecimiento del espesor.

7.2.1.11. Reciclado en caliente in-situ

Consiste en el reprocesamiento de la capa de rodadura de un pavimento asfáltico en bajos espesores, generalmente no superiores a 50 mm, con el fin de corregir problemas superficiales generados por envejecimiento del ligante, pulimento de los agregados, pérdida de textura, etc. Se incluye aquí todo procedimiento en el cual la superficie es cepillada o escarificada en caliente y adicionada o no de un agente de reciclado, con o sin la incorporación de materiales vírgenes, reacondicionada y recompactada. Este sistema permite eliminar deterioros superficiales tales como ahuellamientos, abultamientos y agrietamientos atribuibles a la carpeta asfáltica, al igual que excesos de asfalto y desprendimientos de ligante o de agregados pétreos. También, permite regenerar las características antideslizantes del pavimento, restaurar la sección transversal de la calzada y rejuvenecer la superficie,

Existen tres maneras básicas de aplicar esta técnica (7.14):

- *Termorreperfilado o termorrenivelación*: Consiste en el calentamiento de la capa asfáltica superficial, su escarificado o fresado inmediato hasta la profundidad deseada, la adición de un rejuvenecedor si se considera necesario, la remezcla del material suelto y su extensión y compactación. Todas las operaciones, con excepción de la compactación, son realizadas por una sola máquina en forma secuencial. Este tratamiento se realiza normalmente en un espesor de 20 a 40 mm y no involucra agregados ni mezcla nueva, por lo que el espesor de la estructura permanece prácticamente constante y la única mejora en las características del material reciclado es la eventual adición del rejuvenecedor del asfalto. La capa reciclada se puede dejar como nueva capa de rodadura o se puede cubrir con una sobrecapa. Si este último es el caso, el termorreperfilado forma parte de una solución de rehabilitación y no de mantenimiento periódico.
- *Termorreciclado*: Consiste en el calentamiento de la capa asfáltica superficial, su escarificado o fresado inmediato hasta la profundidad deseada y la adición de agregado virgen, nuevo ligante asfáltico y un rejuvenecedor y/o una nueva mezcla en caliente (con o sin RAP), si así se considera necesario. El material resultante se mezcla completamente y se coloca y compacta en una sola capa. Todas las operaciones son realizadas por una sola máquina en forma secuencial a excepción de la compactación final, que siempre es necesaria. El tratamiento se suele aplicar en espesores de 40 a 80 mm. La capa reciclada se puede dejar como nueva capa de rodadura o se puede cubrir con una sobrecapa. Si este último es el caso, el termorreciclado forma parte de una solución de rehabilitación y no de mantenimiento periódico.

- *Termorregeneración:* Consiste en una combinación de alguno de los dos procedimientos anteriores más la colocación simultánea de una nueva capa de concreto asfáltico que no se mezcla con el material subyacente. La capa termorreperfilada o termorreclada y la nueva mezcla de concreto asfáltico se deben compactar como una sola capa. En este proceso, la superficie reciclada cumple la función de capa de nivelación, mientras que la nueva mezcla cumple la de capa de rodadura. El espesor de esta última dependerá del tamaño máximo del agregado con el cual se elabora pero, típicamente, varía entre 20 y 75 mm. Si la nueva capa se coloca para que cumpla una función estructural, que es la situación más frecuente, el tratamiento constituye una operación de rehabilitación y no de mantenimiento periódico.

En los tres casos se utilizan máquinas integrales de grandes dimensiones que realizan de manera secuencial todas las operaciones requeridas en una sola pasada (excepto la compactación). Estos procedimientos son complejos y la maquinaria que los realiza no solo es enorme sino, también, muy costosa. Además, el calentamiento previo del pavimento produce una oxidación adicional del ligante, lo que puede dificultar la efectividad del reciclado. Igualmente, se debe considerar la problemática y los inconvenientes debidos a las emisiones de humos y a los riesgos de trabajar con temperaturas elevadas. Debido a estos inconvenientes, aunque se deja constancia de su existencia, el reciclado en caliente in-situ no se considera en este manual como opción atractiva para el mantenimiento periódico de los pavimentos asfálticos a cargo del Instituto Nacional de Vías.

7.2.2. Formación de estrategias de mantenimiento periódico para los pavimentos asfálticos de carreteras

La Tabla 7-3 presenta las técnicas y las combinaciones de ellas que generan estrategias de mantenimiento periódico de los pavimentos asfálticos de las carreteras de la red vial nacional, según lo considera la guía del Instituto para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras (7.9). Por su parte, la Tabla 7-4 muestra las aplicaciones de ellas de acuerdo con el nivel de tránsito de la carretera y la vida residual del pavimento que se va a someter al mantenimiento, según las recomendaciones de la misma guía. Entre ellas, el ingeniero deberá elegir, para sus diferentes análisis técnicos, económicos, ambientales y sociales, aquéllas que mejor se adapten a la realidad (deterioros relevantes y vida residual) y a las necesidades de su proyecto (tránsito futuro), previa consideración de todas las limitaciones existentes. Así mismo, si el ingeniero considera que las circunstancias lo aconsejan, puede proponer al Instituto la aplicación de estrategias diferentes, debidamente soportadas desde todos los puntos de vista recién mencionados.

Las alternativas conformadas por combinaciones de técnicas de conservación como éstas u otras de mantenimiento y rehabilitación que la experiencia fije como apropiadas, junto con los criterios o umbrales de intervención requeridos para aplicar cada una (en términos de los niveles de rugosidad, ahuellamiento, agrietamiento y baches), son las que se someten a evaluación en el programa HDM – 4, para obtener la alternativa más rentable considerando

las condiciones y solicitudes del tránsito, las características del pavimento y el estado en que se encuentra la calzada, entre otros aspectos.

Tabla 7-3 Combinaciones de técnicas que forman estrategias de mantenimiento periódico (7.9)

| Estrategia de mantenimiento | Riego en negro | Sello arena-asfalto | Fresado | Tratamiento superficial | Lechada asfáltica | Sello del Cabo | Microaglomerado en frío | Microaglomerado en caliente | Sobrecapa funcional (≤ 40 mm) | Mezcla drenante | Reciclado superficial en caliente |
|-----------------------------|----------------|---------------------|---------|-------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 101 | x | | | | | | | | | | |
| 102 | | x | | | | | | | | | |
| 103 | | | | x | | | | | | | |
| 104 | | | | | x | | | | | | |
| 105 | | | | | | x | | | | | |
| 106 | | | | | | | x | | | | |
| 107 | | | | | | | | x | | | |
| 108 | | | | | | | | | x | | |
| 109 | | | x | x | | | | | | | |
| 110 | | | x | | x | | | | | | |
| 111 | | | x | | | | x | | | | |
| 112 | | | x | | | | | x | | | |
| 113 | | | x | | | | | | x | | |
| 114 | | | | | | | | | x | x | |
| 115 | | | | | | | | | | | x |

Tabla 7-4 Estrategias de mantenimiento rutinario de pavimentos asfálticos de carreteras (Adaptada de 7.9)

| Técnica o estrategia | Tránsito bajo | | | | Tránsito medio | | | | Tránsito alto | | | |
|----------------------|----------------------|-----|------|------|----------------|-----|------|------|---------------|-----|------|------|
| | Vida residual (años) | | | | | | | | | | | |
| | 0-2 | 3-5 | 6-10 | > 10 | 0-2 | 3-5 | 6-10 | > 10 | 0-2 | 3-5 | 6-10 | > 10 |
| 101 | | x | x | | | | | | | | | |
| 102 | | x | x | | | | x | x | | | | |
| 103 | | x | x | | | x | x | | | | | x |
| 104 | | x | | | | x | x | | | | | |
| 105 | | x | | | | x | x | | | | | |
| 106 | | | | | | | x | | | x | x | x |
| 107 | | | | | | | | | | x | x | |
| 108 | | x | | | | x | | | | x | x | |
| 109 | | x | | | | | x | | | | x | |
| 110 | | x | | | | | x | | | | | |
| 111 | | | | | | x | x | | | | x | |
| 112 | | | | | | x | | | | x | x | |
| 113 | | | | | | x | x | | | x | x | |
| 114 | | | | | | | | | | x | x | |
| 115 | | x | | | | x | | | | x | | |

7.2.3. Limitaciones y efectividad de los trabajos de mantenimiento periódico

Las técnicas de mantenimiento periódico constituyen un medio efectivo para corregir defectos de tipo superficial y funcional en un pavimento asfáltico y contribuyen a paliar

temporalmente algunos de tipo estructural, pero no suministran aporte estructural a la calzada existente, el cual sólo se puede obtener a través de otros mecanismos más intensos como el refuerzo, el reciclado y la reconstrucción. Otras limitaciones de los trabajos de mantenimiento periódico en los pavimentos asfálticos son las siguientes:

- El riesgo de que la aplicación de los riegos en negro y de rejuvenecimiento se traduzca en la generación de superficies deslizantes, hace que ellos sean más recomendables en la protección de las bermas que en la de la calzada.
- La mayoría de los tratamientos descritos no resultan suficientemente efectivos si la superficie presenta deformaciones permanentes y agrietamientos de cierta consideración, salvo que se aplique algún tratamiento de preparación.
- Aunque la lechada asfáltica constituye un excelente tratamiento rejuvenecedor, no es tan durable como un tratamiento superficial si el pavimento por rehabilitar está agrietado y acusa deflexiones altas bajo la acción del tránsito.
- Los microaglomerados en caliente no presentan buen comportamiento si se construyen sobre superficies muy deformadas o con excesos de asfalto.
- Aunque las mezclas drenantes son muy efectivas en el mejoramiento del drenaje superficial, su éxito requiere la impermeabilidad de la capa subyacente, una buena resistencia al desprendimiento del asfalto y una pendiente adecuada; además, su efectividad decrece a medida que sus vacíos se van colmatando, lo que implica exigentes medidas de mantenimiento. Asimismo, cuando sufren deterioros localizados suelen ser sometidas a sellado de fisuras o a operaciones de parcheo con mezclas densas que afectan el flujo libre de agua a través de la capa.

7.3. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Las operaciones que se pueden considerar como de mantenimiento rutinario en un pavimento rígido son el sellado de grietas para minimizar la infiltración de agua y de materiales incompresibles, y la reparación en espesor parcial, para reparar deterioros de juntas, grietas, estallidos y algunas fallas superficiales. De acuerdo con las características y la magnitud de la intervención, esta última suele encajar mejor dentro de las operaciones de mantenimiento periódico. Por ello y por conveniencia en la descripción de las actividades, la reparación parcial se describe en este manual dentro de este segundo grupo.

7.3.1. Sellado de grietas

El sellado de grietas de un pavimento rígido representa un reto, por cuanto, a diferencia de las juntas, las grietas no son rectas, no tiene ancho constante y sus bordes no están bien definidos. En consecuencia, son más difíciles de limpiar, de darles forma y de sellarlas. El primer paso para realizarlo correctamente consiste en formar una caja, aserrándola con una hoja de poco diámetro (no más de 200 mm) para que tenga la flexibilidad suficiente para seguir la trayectoria de la grieta. Su ancho debe oscilar entre 6 y 12 mm. Los discos de gran diámetro pueden generar roturas de fragmentos de la losa que ponen en peligro al operador. Los equipos de conformación (ruteo) tampoco resultan muy aconsejables, salvo que la grieta sea bastante regular en su forma y ancho. Una vez que el aserrado se ha completado, los pasos siguientes son similares a los que se describen más adelante para el resellado de juntas. A las grietas de ancho inferior a 3 mm no se les suele aplicar ningún tratamiento o sellado.

Para que el sellado sea efectivo como operación de mantenimiento rutinario, se debe comprobar que las piezas de concreto formadas a uno y otro lado de la grieta no experimenten desplazamientos verticales diferenciales excesivos entre sí. De lo contrario, se deberá acometer una actividad de mantenimiento periódico.

El sellado de grietas en pavimentos rígidos está considerado como Actividad 1231 en las especificaciones que forman parte de este manual.

7.4. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Dentro de las actividades de mantenimiento periódico de los pavimentos rígidos existen múltiples aplicaciones, dependiendo de la patología y del estado del pavimento; así, mientras en algunos casos se pueden hacer reparaciones superficiales, en otros es necesario demoler parte de las losas y cuando el deterioro es más avanzado puede ser necesaria la reconstrucción de losas completas. Los tratamientos empleados con mayor frecuencia en la actualidad para el mantenimiento periódico de los pavimentos de concreto simple de carreteras son los siguientes:

- *Remoción y reemplazo del material sellante de juntas*, para minimizar la infiltración de agua y de materiales incompresibles
- *Cosido cruzado*, para reparar grietas longitudinales de gravedad baja y media
- *Construcción de juntas de alivio de presión*, para eliminar la posibilidad del estallido de losas en las juntas transversales de contracción

- *Cepillado (microfresado)*, para eliminar el escalonamiento
- *Ranurado*, para mejorar la resistencia al deslizamiento
- *Colocación o recolocación de pasadores*, para restaurar la transferencia de carga en juntas y grietas
- *Estabilización y elevación de losas*, para rellenar pequeños vacíos debajo de ellas
- *Reparación en espesor parcial*, para reparar deterioros de juntas, grietas, estallidos y algunas fallas superficiales
- *Reparación en el espesor total de la losa*, para reparar deterioros en juntas y grietas con alto grado de gravedad

Definir la aplicación de cualquiera de estos tratamientos no precisa de análisis previos de ingeniería muy prolijos, pues ellos se derivan de la simple inspección de los deterioros del pavimento. En ese orden de ideas, los deterioros específicos de los pavimentos de concreto simple (definidos en cuanto a su tipo y nivel de gravedad en el Anexo 2) a los cuales la experiencia indica que se adaptan mejor estas técnicas de mantenimiento periódico, son los señalados con mayor detalle en la Tabla 7-5. En la tabla se ha incluido, también, el sellado de grietas en los casos en que esta actividad de mantenimiento rutinario resulte procedente.

Cada una de las acciones de mantenimiento recomendadas en la tabla solamente tiene en cuenta el tipo de deterioro y el nivel de gravedad específicos a los cuales se refiere; por lo tanto, si una losa presenta varios desperfectos con diferentes niveles de gravedad, el ingeniero deberá elegir la técnica o el conjunto de técnicas que considere que pueden resolver de la mejor manera el problema que aqueja a esa losa y, de ser necesario, tomar una decisión en conjunto con las soluciones a los problemas de las losas vecinas. Si la intensidad de los deterioros hace necesaria la ejecución de labores de rehabilitación de una complejidad mayor que la cubierta por el mantenimiento periódico, su estudio y diagnóstico, así como el diseño de la solución, se encuentran más allá del alcance de este manual. Esta circunstancia se suele presentar en tramos de pavimento rígido cuyo índice de condición PCI es inferior a 55.

Tabla 7-5 Técnicas generales para el mantenimiento de pavimentos rígidos de carreteras

| Tipo de deterioro | | Nivel de gravedad | Técnicas típicas de mantenimiento periódico |
|-------------------|---|-------------------|---|
| Número (Anexo 2) | Descripción | | |
| 21 | Estallido | Bajo | Construcción de junta de alivio de presión; reparación en espesor parcial |
| | | Medio | Reparación en espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor total |
| 22, 29 | Grieta de esquina, parcheo de gran tamaño | Bajo | Cajeo y sellado de grietas y monitoreo |
| | | Medio | Reparación en espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor total |
| 23 | Losa fragmentada | Bajo | Monitoreo; sellado de grietas ⁴ |
| | | Medio | Sellado de grietas ⁴ ; reparación en espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor total |
| 24 | Grieta de durabilidad "D" | Bajo | Monitoreo |
| | | Medio | Reparación en espesor total |
| | | Alto | Reemplazo de losa |
| 25 | Escalonamiento | Bajo | Monitoreo; cepillado con disco diamantado |
| | | Medio | Cepillado con disco diamantado o elevación de la losa; colocación o recolocación de pasadores |
| | | Alto | Cepillado con disco diamantado o elevación de la losa; colocación o recolocación de pasadores; reparación en espesor total |
| 26 | Deterioro del material sellante de la junta | Bajo | Monitoreo |
| | | Medio | Remoción y reemplazo del sellante existente |
| | | Alto | Remoción y reemplazo del sellante existente |
| 27 | Desnivel carril-berma | Bajo | Monitoreo |
| | | Medio | Nivelar la berma con la calzada |
| | | Alto | Nivelar la berma con la calzada |
| 28 | Grieta lineal ¹ | Bajo | Monitoreo y sellado de grietas ⁴ |
| | | Medio | Cosido cruzado y sellado de grietas; reparación en espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor total |
| 30, 38, 39 | Parcheo pequeño, Desportilladura | Bajo | Monitoreo; reparación en espesor parcial |
| | | Medio | Reparación en espesor parcial. En el caso del parche, al menos en el espesor de éste |
| | | Alto | Reparación en espesor total. |
| 31 | Desgaste de la superficie | N/A | Reparación en espesor parcial; reparación en espesor total |
| 32, 37 | Saltaduras, grietas de retracción | N/A | Monitoreo |
| 3 | Bombeo ² | N/A | Sellado de juntas y grietas ⁴ , estabilización o elevación de la losa; colocación o recolocación de pasadores; reparación en espesor total |
| 3 | | N/A | Sellado de juntas y grietas ⁴ , estabilización o elevación de la losa; colocación o recolocación de pasadores; reparación en espesor total |
| 3 | | N/A | Sellado de juntas y grietas ⁴ , estabilización o elevación de la losa; colocación o recolocación de pasadores; reparación en espesor total |
| 34 | Punzonamiento | Bajo | Monitoreo; sellado de grietas ⁴ |
| | | Medio | Reparación en espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor total |
| 35 | Cruce de vía férrea | Bajo | Monitoreo |
| | | Medio | Reparación en espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor total |
| | | Bajo | Monitoreo |
| | | Medio | Reparación en espesor parcial ³ ; reparación en |

| Tipo de deterioro | | Nivel de gravedad | Técnicas típicas de mantenimiento periódico |
|-------------------|-----------------------|-------------------|--|
| Número (Anexo 2) | Descripción | | |
| 36 | Craquelado, descamado | | espesor total |
| | | Alto | Reparación en espesor parcial ³ ; reparación en espesor total |

¹ Si se trata de una grieta transversal en la parte media de una losa muy larga, la técnica por aplicar para cualquier nivel de gravedad deberá consistir en la provisión de una junta transversal de contracción.

² Si el bombeo generó algún tipo de deterioro, se aplicará la técnica de corrección correspondiente a éste. En todo caso, se deberá prever la instalación de drenes longitudinales para prevenir la evolución del fenómeno.

³ Si el deterioro se debe a la reacción álcali-sílice, no aplica la reparación en espesor parcial.

⁴ En los casos en los que el sellado de grietas se describe como operación única, éste corresponde a una actividad de mantenimiento rutinario

Como en el caso de los pavimentos asfálticos, los trabajos de mantenimiento periódico de los pavimentos rígidos están enfocados, típicamente, a solucionar necesidades de tipo funcional y a preservar el conjunto de la estructura existente, mas no a su rehabilitación general ni a su reconstrucción. Las características principales de las técnicas más utilizadas para el mantenimiento periódico de un pavimento de concreto simple se describen a continuación.

7.4.1. Remoción y reemplazo del material sellante de juntas

Por regla general, los sellantes de juntas fallan antes de que lo hagan los pavimentos en los cuales se instalan. Por lo tanto, existe la necesidad de reponerlos periódicamente. Su falla puede ocurrir por varios motivos: pérdida de adhesión al concreto, pérdida de cohesión (desintegración interna) o endurecimiento.

El proceso de reposición involucra la remoción del viejo sellante si aún existe, el eventual aserrado de un nuevo reservorio para adecuarlo a las dimensiones del sellante por aplicar, la limpieza total del nuevo reservorio, la instalación del cordón de respaldo y del producto de sello y, para los sellantes preformados, su inserción en la junta.

El retiro del material del sello existente tiene como propósito propiciar la adherencia del sellante nuevo a las caras de la junta, la cual no se puede asegurar al rellenar sobre el sellador deteriorado o envejecido. Existen varias formas de quitar el material sellante de una junta, siendo lo más importante que la empleada no deteriore las caras de la junta. El retiro manual es rápido y efectivo en el caso de los sellos de compresión (preformados). El método más empleado y eficaz para el retiro de los selladores de silicona consiste en el uso de aserrado con discos diamantados. El corte efectuado con ellos no sólo quita el sellador envejecido sino que, además, conforma un nuevo reservorio para el sello por aplicar.

Si el sellador existente se retira empleando un procedimiento diferente al de aserrado, puede ser necesario reconformar el reservorio para acondicionarlo para la aplicación del nuevo material de sellado. La reconformación debe ser muy cuidadosa, con el fin de brindar un factor de forma apropiado para el nuevo sellante.

Una vez acondicionada la caja, se procede a su limpieza y luego se instala el sellante como en el caso de una construcción nueva, incluyendo el cordón de respaldo cuando sea necesario y siguiendo el procedimiento específico requerido por cada tipo de sellador. La limpieza es, probablemente, el aspecto más importante del resellado de las juntas, pues en ella descansa en buena medida la adherencia del sellador y su correcto comportamiento a largo plazo.

Entre los materiales para la ejecución de este trabajo se encuentran los de aplicación en caliente, la silicona, los sellantes en poliuretano y los insertos de neopreno. Cuando se realiza como parte de un trabajo de mantenimiento periódico, el resellado de juntas se debe efectuar después de los demás tratamientos como, por ejemplo, las reparaciones en espesor parcial o total, el subsellado, la restauración de la transferencia de carga y/o el cepillado.

Aunque hay documentos que mencionan que la reparación del sello se puede realizar simplemente presionando el sellador existente hacia el fondo de la junta para utilizarlo como material de respaldo y aplicar encima el nuevo producto, esta práctica no resulta muy recomendable por cuanto no garantiza una buena adherencia entre el nuevo producto y las caras de la junta. Si de todas maneras se decide aplicar esta solución, ella se deberá considerar como una operación de mantenimiento rutinario.

El resellado de las juntas de expansión requiere la remoción de todo el sellador presente hasta alcanzar el material compresible. Las operaciones posteriores de limpieza y de colocación del nuevo material sellante son similares a las requeridas en las juntas de contracción.

Las juntas longitudinales entre los carriles adyacentes del pavimento rígido se encuentran generalmente unidas por barras de amarre que limitan los movimientos relativos de las losas. Estas juntas se suelen sellar con productos en caliente y no requieren la creación de un reservorio para su instalación. Si las juntas transversales se van a sellar con silicona, es necesario sellarlas en primer lugar, con el fin de evitar su contaminación a causa de la aplicación del material en caliente en la junta longitudinal.

Los sellantes de aplicación en caliente son termoplásticos; ellos endurecen al enfriarse y su terminado no es pegajoso. Si se desea, se puede aplicar sobre la superficie una cantidad ligera de arena para prevenir que los neumáticos lo levanten o lo despeguen. Cuando se empleen siliconas, se deberán seguir las recomendaciones del fabricante en relación con la apertura al tránsito.

Típicamente, los sellantes de aplicación en caliente requieren reemplazo cada 3 a 5 años, aunque algunos de bajo módulo pueden durar hasta 8 años; los sellantes de silicona duran entre 8 y 10 años y los de compresión (preformados) pueden prestar buen servicio por 15 o más años. Estos últimos no están considerados en el Artículo 500 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4). Muchas agencias no usan los

sellantes preformados para resellar las juntas, por cuanto se les han presentado problemas de instalación y comportamiento ante la falta de uniformidad de las caras de las juntas de los pavimentos en servicio.

La reposición del material sellante de las juntas de pavimentos rígidos está considerada como Actividad 1241 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.4.2. Cosido cruzado

Su finalidad es mantener la transferencia de carga por trabazón de agregados entre dos piezas de concreto separadas e impedir movimientos y ensanches de la grieta. La aplicación de este procedimiento como técnica de mantenimiento periódico está orientada hacia el tratamiento de grietas longitudinales.

El método consiste en colocar varillas corrugadas de longitud y diámetro adecuados para los esfuerzos previstos, mediante la perforación del concreto existente con una inclinación aproximada de 35° respecto de la horizontal, de manera de cruzar la grieta en la mitad del espesor de la losa (Figura 7-18), y el posterior relleno con un material de rápida ganancia de resistencia, de forma que se produzca el anclaje de las dos piezas vecinas.

Figura 7-18 Cosido cruzado (7.15)



El diámetro de las varillas de costura y la separación entre ellas se deben determinar en función de los esfuerzos generados por contracción térmica y están relacionados con el

espesor y las dimensiones en planta de la losa, así como de las condiciones de fricción entre ella y la capa que la soporta. La ACPA (American Concrete Pavement Association) recomienda el uso de varillas de 20 mm de diámetro ubicadas en tresbolillo a uno y otro lado de la grieta, a separaciones de 600 mm para tránsito pesado y de 900 mm para tránsito liviano. Alternativamente, se pueden emplear varillas de menor diámetro, aunque manteniendo la cuantía recomendada para el tratamiento.

El cosido cruzado está considerado como Actividad 1242 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.4.3. Construcción de juntas de alivio de presión

Las juntas de alivio de presión son parches de espesor pleno en mezcla asfáltica u otro material compresible, con los cuales se pretende corregir áreas con estallidos (*“blow-up”*) de bajo nivel de gravedad. Su construcción implica, únicamente, el aserrado y la remoción del concreto afectado en todo el espesor de la losa, la conformación y la compactación de la superficie de apoyo y la colocación del material elegido para llenar la junta creada, cuyas características dependen, fundamentalmente, del ancho de la reparación. Se suelen emplear caucho o poliestireno expandido cuando la junta es angosta y concreto asfáltico cuando es ancha.

No es probable que este tipo de reparación sea necesaria en los pavimentos rígidos de la red nacional, por cuanto las losas de ellos son relativamente cortas y, además, no se suelen producir gradientes térmicos de gran magnitud en lapsos reducidos. Por ello no se consideran como actividad de mantenimiento en las especificaciones que forman parte de este manual.

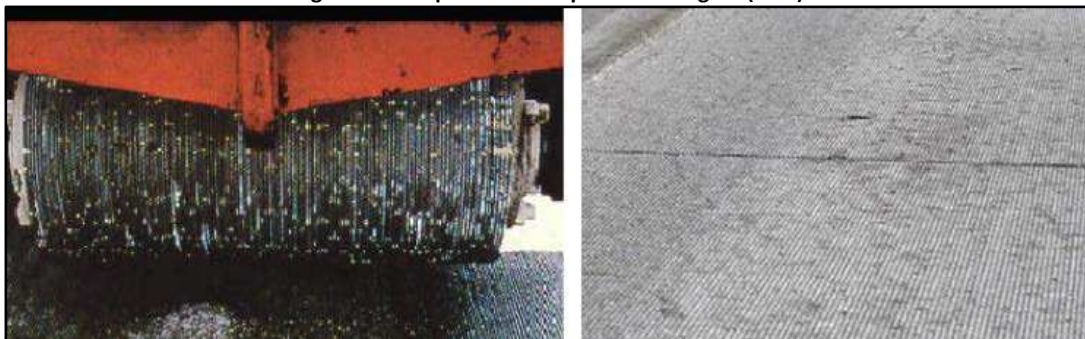
7.4.4. Cepillado

Consiste en la remoción de material superficial del pavimento (usualmente entre 5 y 7 mm), empleando discos diamantados muy poco espaciados sobre un tambor giratorio (Figura 7-19). Se usa, principalmente, para remover escalonamientos en juntas y grietas o remover pequeños abultamientos, de manera de recuperar la regularidad superficial del pavimento. Como complemento al cepillado se debe recuperar la capacidad de transferencia de carga en la junta o, de lo contrario, el escalonamiento se volverá a presentar. Además de mejorar la calidad de la circulación, el cepillado mejora la macrotextura y la resistencia al deslizamiento del pavimento.

Se debe tener presente que la operación de cepillado reduce el espesor de la losa, lo que puede disminuir su resistencia a la fatiga.

El cepillado está considerado como Actividad 1243 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

Figura 7-19 Cepillado de un pavimento rígido (7.16)



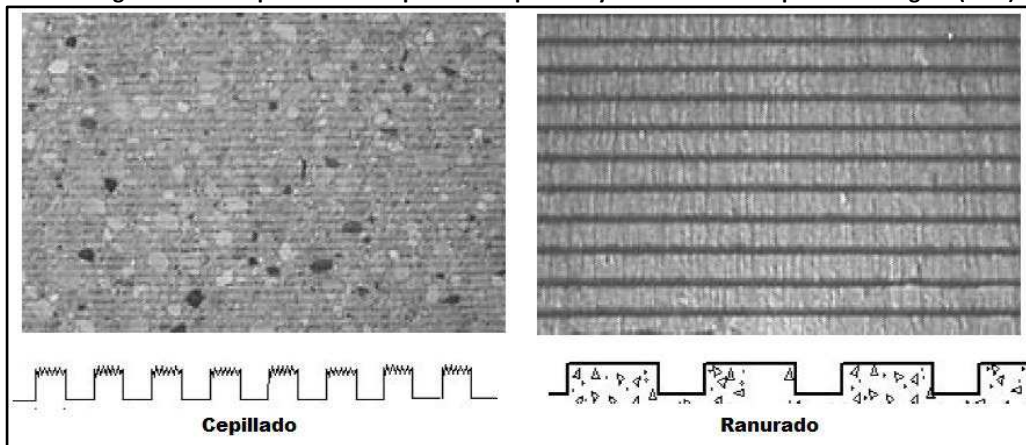
7.4.5. Ranurado

También se hace con hojas de corte, pero más separadas (aproximadamente 6 veces) que en el proceso de cepillado (Figura 7-20). El propósito del ranurado es mejorar la fricción superficial del pavimento cuando se encuentre húmedo, mediante el suministro de canales de drenaje. En carreteras en servicio, se aplica principalmente en curvas, en carriles de descenso con una adecuada pendiente transversal y en superficies que se han vuelto muy pulidas. Se debe emplear solamente en pavimentos sanos desde el punto de vista estructural.

El ranurado como operación de mantenimiento se puede hacer longitudinal o transversalmente. Aunque el ranurado transversal proporciona el canal de drenaje más directo al agua superficial, no es común realizarlo en pavimentos de carreteras en servicio, debido a que su ejecución es lenta y produce dificultades en el control de tránsito. La principal desventaja del ranurado en sentido longitudinal es la generación de pequeños movimientos laterales (*“wobble”*) en los autos pequeños y motocicletas. Este efecto se puede reducir empleando un ancho de ranura de 3 mm y limitando la separación entre ranuras a 20 mm.

El ranurado de pavimentos rígidos está considerado como Actividad 1244 en las especificaciones de mantenimiento incluidas en este manual.

Figura 7-20 Comparación de superficies cepilladas y ranuradas en un pavimento rígido (7.16)



7.4.6. Colocación o recolocación de pasadores

Tiene por finalidad restaurar la transferencia de carga a través de juntas y/o grietas, mediante la colocación de un mínimo de 3 pasadores en cada huella de circulación, separados centro a centro 300 mm, por lo general. La restauración de la transferencia de carga se puede hacer como operación de mantenimiento periódico o en preparación para el refuerzo del pavimento. En todo caso, la técnica no se recomienda cuando las juntas o grietas presentan un avanzado estado de deterioro, caso en el cual resulta más adecuada una reparación en espesor total.

Aunque es básicamente una técnica de mantenimiento periódico, se podría argüir que la restauración de la transferencia de carga aumenta la capacidad estructural, por cuanto se mejora la capacidad de transferir carga y, consecuentemente, se disminuyen los esfuerzos en las losas adyacentes.

El proceso comprende el aserrado de ranuras a través de la junta o grieta, la limpieza y la preparación de las cajas, la instalación de los pasadores de carga y el relleno empleando el mismo tipo de concreto usado para las reparaciones en espesor parcial. El sistema de transferencia (longitud, diámetro y separación de los pasadores) se debe seleccionar considerando el tránsito prevaleciente en la carretera. El procedimiento requiere un considerable cuidado en la construcción, aunque los avances recientes en equipo y métodos han aumentado mucho la calidad y la eficiencia de la operación. El período de buen comportamiento de este tratamiento se estima en 10 o más años.

7.4.6.1. Corte y ejecución de la ranura

Las ranuras se deben cortar paralelamente al eje del pavimento y entre sí. La correcta alineación es decisiva en la eficacia del tratamiento, pues evita que la junta o grieta se vea inmovilizada por restricciones producidas por los pasadores cuando las losas cambien de dimensión ante las variaciones diarias de temperatura. La ranura se puede realizar

formando primero sus bordes mediante aserrado y, luego, aserrar en el interior para completar la demolición o, alternatively, realizar solamente el aserrado de los bordes y luego demoler el espacio entre ellos empleando un taladro o herramienta manual (Figura 7-21). El ancho de cada ranura debe ser, al menos, 20 mm mayor que el diámetro del pasador y su profundidad un poco mayor que la mitad del espesor del pavimento, de manera que el pasador quede ubicado en el eje neutro.

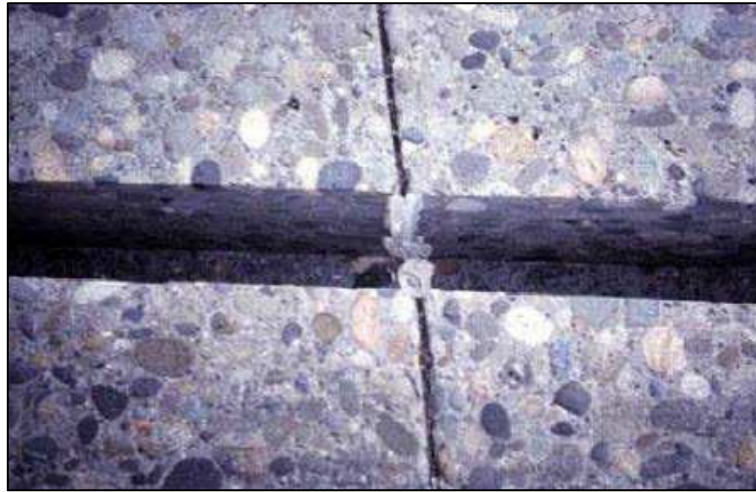
Figura 7-21 Ejecución de las ranuras (7.16)



7.4.6.2. Limpieza y preparación de la ranura

La ranura se debe encontrar totalmente limpia antes de la inserción del pasador, con fin de lograr que el concreto de relleno se adhiera perfectamente al existente, garantizando el buen funcionamiento de la reparación. Toda grieta o junta que cruce la ranura se debe someter a un calafateo cuidadoso a lo largo del fondo y de los lados de la ranura, con el fin de prevenir que el concreto de relleno ingrese en ella, impidiendo que posteriormente la junta o grieta se expanda y contraiga libremente, generando desportilladuras (Figura 7-22).

Figura 7-22 Ranura impermeabilizada en la intersección con la junta (7.16)



7.4.6.3. Colocación de los pasadores

Preparación

Los diámetros y las longitudes de los pasadores son los recomendados normalmente para la construcción de un pavimento rígido nuevo. Antes de su inserción, se coloca en el centro del pasador un inductor de junta compresible y se lubrica todo el contorno del pasador con aceite u otro elemento desmoldante, para evitar que se adhiera al material de relleno. Además, se le pone una cápsula plástica en cada extremo dejando un espacio libre al menos de 6 mm entre él y el extremo exterior de la cápsula, todo ello con el fin de brindar libertad de movimiento a las losas y, por último, se coloca el pasador sobre dos soportes con el fin de que mantenga su posición durante la aplicación del material de relleno (Figura 7-23).

Figura 7-23 Ranuras y pasadores preparados para su instalación (7.15)



Instalación

Cada pasador se centra horizontalmente en la ranura, verificándose que quede paralelo al eje del pavimento y con una alineación vertical correcta en el centro del espesor de la losa, con una luz de, al menos, 13 mm entre el fondo del pasador y el de la ranura. Si el pasador, los soportes y la ranura se han diseñado y construido apropiadamente, el sistema debe ajustar perfectamente dentro de la ranura, lo que ayuda a contener cualquier movimiento del pasador durante las operaciones de relleno.

Relleno de la ranura

Cualquier concreto apto para reparaciones parciales sirve para rellenar las ranuras, con la única condición de que el tamaño máximo del agregado permita que la mezcla cubra adecuadamente el pasador. Siempre que se empleen materiales premezclados de rápida resistencia inicial, se deben atender las recomendaciones de su fabricante.

El concreto no se debe lanzar sobre la ranura, sino colocar sobre una superficie limpia junto a ella e introducirlo luego de manera cuidadosa a ambos lados de la junta, con el fin de mantener al inductor de la junta perfectamente alineado con ésta.

El concreto fresco se debe compactar para eliminar cualquier vacío y asegurar el cubrimiento completo del pasador, empleando un vibrador de aguja con diámetro inferior a 25 mm (Figura 7-24). Se debe tener cuidado de que el vibrador no toque el pasador para prevenir que éste pierda su alineación. Tampoco se debe vibrar excesivamente, para evitar que los finos y el agua migren a la superficie del relleno, debilitándola.

Figura 7-24 Vibrado del relleno (7.16)



El relleno de las ranuras también se puede llevar a cabo con un mortero tipo grout sin contracciones (*"nonshrink"*) con alto tiempo de manejabilidad. Dada su alta fluidez, este producto no requiere vibrado para su compactación.

Curado y terminación

Como en toda obra de concreto, se debe proceder al curado mediante la aplicación de una membrana en el menor tiempo posible. Aunque el acabado de la ranura no es crítico, se debe efectuar un trabajo de terminación prolijo y un texturizado similar al de las losas circundantes.

Apertura al tránsito

El pavimento con los pasadores recolocados se puede abrir al tránsito tan pronto como el concreto haya ganado suficiente resistencia. Un criterio corriente consiste en permitir la apertura cuando se tenga certeza de que el concreto ha alcanzado una resistencia a compresión de 13.8 MPa en losas de 200 mm o más de espesor.

La instalación de pasadores en un pavimento rígido en servicio está considerada como Actividad 1245 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.4.7. Estabilización y elevación de losas

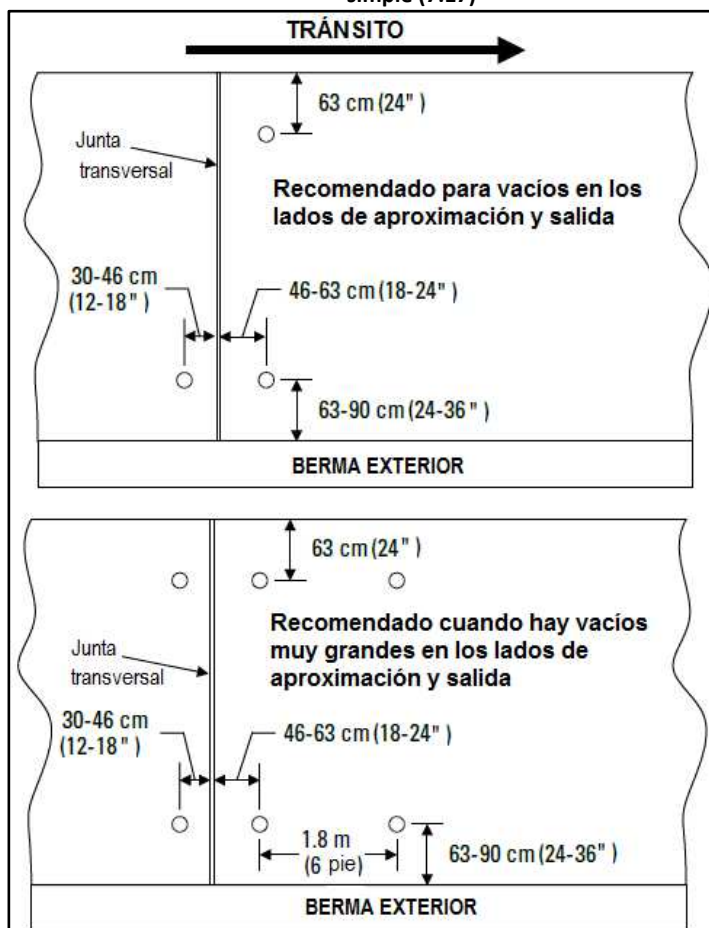
La estabilización, conocida también como subsellado, se usa exclusivamente para rellenar vacíos localizados bajo las esquinas de las losas. Su finalidad es disminuir las deflexiones en ellas reduciendo los esfuerzos en la losa y previniendo de esta manera la generación de escalonamientos y roturas de esquina. El proceso consiste en bombear una lechada de cemento o alguna formulación patentada de poliuretano a través de orificios perforados en la losa, rellenando los vacíos y, además, desplazando el agua libre y protegiendo el apoyo contra la saturación y el debilitamiento luego de terminada la estabilización.

La estabilización de las losas no se debe confundir con su elevación o gateo (*"slab jacking"*). Aunque ambos tratamientos se hacen con los mismos equipos y materiales, el subsellado se limita a llenar los vacíos y restaurar el soporte de la losa sin levantarla, mientras que en el tratamiento de elevación la lechada que llena los vacíos es forzada, mediante presión, a levantar hasta el nivel deseado una sección deprimida de la losa que afecta la transitabilidad del pavimento. La elevación de losas no es recomendable para reparar juntas escalonadas, cuyo tratamiento es más efectivo mediante la restauración de la transferencia de carga (instalación de pasadores) y/o el cepillado. En ambos tratamientos, los orificios realizados para la inyección se deben rellenar al final, empleando una mezcla de concreto apropiada.

7.4.7.1. Patrones de perforación

Buena parte del éxito de los tratamientos de estabilización y elevación reposa en la elección de un patrón adecuado de las perforaciones para la inyección. En el caso de la estabilización, los orificios en las losas se deben hacer tan lejos de juntas y grietas como sea posible pero, por supuesto, dentro del área en la que se han identificado los vacíos. Por otra parte, los orificios se deben encontrar lo suficientemente cerca entre ellos, para que el flujo de lechada que se inyecte a través de uno se encuentre con el flujo inyectado a través del vecino. La Figura 7-25 muestra dos patrones recomendados para pavimentos de concreto simple. En algunos casos, la estabilización puede ser necesaria solamente hacia el lado de salida de la junta, mientras que en otros se puede requerir tanto al lado de entrada del tránsito a la junta como al de salida.

Figura 7-25 Patrones típicos de orificios para la estabilización de losas de pavimentos de concreto simple (7.17)



Cuando el tratamiento es de elevación de losas, la mejor ubicación de las perforaciones solamente se puede establecer a través de la experiencia personal. Esto es importante, por cuanto la losa se debe levantar de manera que no se generen esfuerzos que le causen agrietamientos. Los orificios se deben efectuar a no menos de 300 mm ni a más de 450 mm de una junta transversal o del borde la losa. Además, se deben espaciar 1.80 m o menos, centro a centro, de manera que menos de 2.30 a 2.80 m² de losa sean levantados por inyección desde un orificio (7.17).

7.4.7.2. Selección del material para la inyección

El producto escogido para la estabilización de la losa debe tener la fluidez necesaria para penetrar dentro de áreas vacías relativamente pequeñas, a la vez presentar la resistencia y la durabilidad suficientes para soportar los esfuerzos producidos por el tránsito, la humedad y los cambios de temperatura. Son varios los productos que se han usado para este tratamiento. Los más comunes han sido las lechadas de cemento y materiales de poliuretano, pero también se han empleado el cemento asfáltico, lechadas de cemento con polvo de caliza y espumas de caucho y silicona. Aunque los materiales más comunes para la elevación de losas son también las lechadas de cemento y los de poliuretano, su preparación debe garantizar una mayor rigidez (las lechadas deben presentar mayor tiempo de flujo en el ensayo del cono de flujo, norma ASTM C 939).

7.4.7.3. Desarrollo de los trabajos para la estabilización de la losa

Perforaciones

Cualquier equipo que elabore orificios limpios, sin desportilladuras ni roturas superficiales en la parte inferior de la losa, resulta aceptable. Para inyecciones de lechada de cemento ha sido usual exigir que las perforaciones tengan de 38 a 51 mm de diámetro. La presión sobre la perforadora no debe ser excesiva, para evitar que se forme una desportilladura cónica en el fondo de la losa. Siempre que se desportillan piezas de gran tamaño debajo de la losa, ellas pueden obstruir el espacio vacío haciendo imposible llenarlo. Cuando se vayan a emplear materiales de poliuretano, el diámetro de los orificios no deberá exceder de 15 mm.

Una manera rápida de verificar si la inyección es necesaria, consiste en verter agua dentro del orificio. Si el agua no fluye hacia abajo, significa que no hay vacío y que, por lo tanto, no se debe inyectar. En este caso, se tapa el orificio de la losa.

Aunque el patrón de perforación se establece durante la etapa de diseño, la ubicación exacta de las perforaciones puede requerir un ajuste en el campo, con el fin de garantizar el relleno de los vacíos bajo las losas. Si el flujo del material de la inyección se alcanza fácilmente, se puede aumentar el espaciamiento entre orificios. Por el contrario, si no se logra un buen flujo después de alcanzar la máxima presión, el espaciamiento se debe reducir.

Preparación del material de la inyección

Las lechadas se deben elaborar en plantas que midan, dosifiquen y mezclen el material por peso o por volumen. Cuando se use poliuretano, todo el material se almacena, dosifica y mezcla en una unidad de bombeo autónoma. El manejo y uso del producto se debe hacer de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones del fabricante.

Inyección

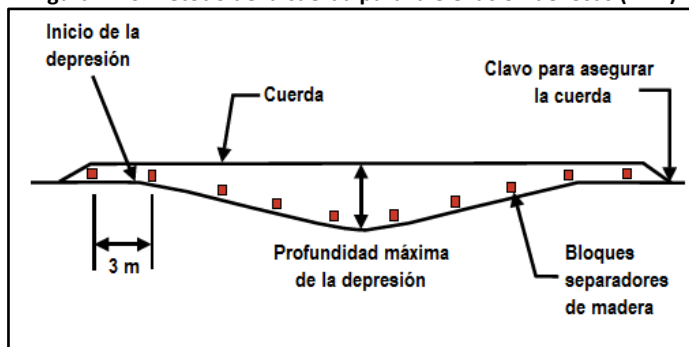
El procedimiento de inyección es algo diferente según el material que se emplee. Para lechadas de cemento se recomiendan bombas de inyección de desplazamiento positivo o bombas de cavidad progresiva de descarga no pulsante que mantengan las ratas y presiones de inyección (típicamente 5.5 litros/min y 275-413 kPa, respectivamente). Usualmente, se emplea un empacador de inyección forzada para prevenir la extrusión o el retorno del material durante la inyección. Una vez completada la inyección y cuando haya transcurrido suficiente tiempo para el endurecimiento de la lechada, se sella el orificio con un material apropiado. El trabajo no se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea inferior a 4 °C y, a menos que se haya usado un acelerador de fraguado, no se deberá permitir el tránsito automotor sobre la zona reparada durante un lapso mínimo de 3 horas.

El proceso de inyección de los materiales de poliuretano es similar al de la lechada, salvo que se emplean el equipo de bombeo y la temperatura, dosificación y presión que recomiende el fabricante del producto.

7.4.7.4. Desarrollo de los trabajos para la elevación de una losa

El procedimiento para la elevación de una losa es, en esencia, el mismo que se emplea para la estabilización; sin embargo, se requieren unas acciones adicionales para vigilar la elevación de la losa y asegurar que su superficie logre el nivel deseado. El método de la cuerda tensada (Figura 7-26) ha sido el medio tradicional para controlar no solamente la secuencia de bombeo sino, además, verificar que la losa alcanza el nivel apropiado. Consiste en fijar sobre el pavimento, y a lo largo de los bordes interior y exterior, unos bloques de madera de 19 mm de altura y asegurar una cuerda, cuando menos, a 3 m de cada extremo de la depresión. A medida que se bombea el material, la cantidad exacta que se eleva cada punto se puede observar en la cuerda, permitiendo que el bombeo en orificios específicos se controle cuidadosamente. Aunque este método es aceptable, pues se alcanzan los perfiles con una tolerancia de 6 a 9 mm, en años recientes se ha venido empleando tecnología láser para verificar las elevaciones por su mayor exactitud.

Figura 7-26 Método de la cuerda para la elevación de losas (7.17)



Si bien cada empresa especializada tiene su propia técnica para elevar las losas, un procedimiento típico consiste en ir inyectando de manera que solamente se produzca una ligera elevación en cada orificio. Una buena regla consiste en no elevar más de 6 mm mientras se bombea en un orificio. El bombeo se debe realizar en toda el área afectada de manera que no se produzcan deformaciones excesivas en la losa. Si, por ejemplo, el bombeo se inicia en un extremo de una depresión, la tensión en la superficie superior se incrementará y la losa se agrietará. Si el bombeo se inicia en el medio, donde la tensión se produce en la superficie inferior, la elevación de la losa tenderá a reducirla y la losa se puede subir una cantidad apreciable sin que sufra ningún deterioro. A medida que la sección se lleva a su perfil original, el bombeo del material se extiende más y más lejos en cualquier dirección, hasta que la depresión entera alcanza la elevación deseada. Se debe tener cuidado de no nivelar completamente la parte media, pues ello da lugar a una curvatura pronunciada y al agrietamiento. Naturalmente, la sección media de la depresión se debe elevar con mayor rapidez que los extremos, pero la elevación se debe conducir de manera que se evite la formación de curvaturas pronunciadas.

Cuando se emplee lechada de cemento, los orificios de inyección se deberán ir sellando con tacos de madera una vez que se ha completado el bombeo en cada orificio, con el fin de retener la presión de la lechada y evitar cualquier devolución del flujo de la mezcla. Cuando la elevación se ha completado totalmente, se remueven los tacos así como cualquier exceso de lechada que quede en la superficie, y se tapa el orificio con un material apropiado.

Cuando se emplee material de poliuretano, los orificios también se deberán tapar con un material adecuado, aunque a menudo se dejan sin sellar, teniendo en cuenta el limitado diámetro de los orificios.

La estabilización y la elevación de losas de pavimentos rígidos están consideradas como Actividad 1246 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.4.8. Reparación en espesor parcial

Se refiere a la reparación localizada de deterioros confinados al tercio superior de la losa, principalmente de los tipos desportilladuras y descamados. Este tipo de tratamiento no es

adecuado para solucionar deterioros que afecten toda la losa. Se puede realizar con concreto normal o de alta resistencia inicial, así como con otros materiales comerciales de ganancia rápida de resistencia si se requiere abrir la calzada al tránsito con prontitud.

La reparación en espesor parcial se puede realizar como tratamiento único de mantenimiento o como preparación para la colocación de una sobrecapa. En este último caso, la reparación se puede realizar en mezcla asfáltica si la sobrecapa es asfáltica, o en concreto en caso de que la sobrecapa sea rígida. El uso de mezclas asfálticas como tratamiento único no es muy recomendable, por cuanto ellas permiten un movimiento horizontal excesivo de la losa y no suministran transferencia de carga, motivo por el cual su empleo sólo se puede considerar como una reparación temporal.

El trabajo consiste, en esencia, en cortar con sierra los bordes del área afectada hasta una profundidad por encima de cualquier armadura, retirar el material deteriorado, limpiar la excavación, tratar la superficie del concreto expuesto para asegurar una buena adherencia y, finalmente, colocar la nueva mezcla a ras con la superficie del pavimento.

Las reparaciones en espesor parcial no resultan adecuadas para el tratamiento de desportilladuras que se extiendan más allá de 250 mm de la junta, cuyo tamaño suele ser indicio de un daño más grave que debe ser enfrentado en espesor total. Tampoco aplica para la reparación de zonas agrietadas que atraviesen todo el espesor de la losa, ni para las desportilladuras que dejan expuesta la armadura.

La expectativa de vida de una reparación en espesor parcial es muy variable. De acuerdo con la bibliografía técnica, puede oscilar entre 5 y 15 años.

7.4.8.1. Demarcación de la zona afectada

Antes de comenzar la reparación, se deben marcar los límites de la zona afectada (Figura 7-27). No basta con marcar las zonas visibles, sino que es necesario inspeccionar los sitios aledaños aparentemente sanos, para detectar problemas ocultos. Una manera sencilla de hacerlo, es dando golpes con una varilla o un martillo o arrastrando unas cadenas (Figura 7-28) y si el sonido es hueco (diferente al de aquellas zonas con integridad estructural evidente), ello indica la existencia de zonas debilitadas. Si persiste la duda, se pueden tomar núcleos para disponer de mejores elementos de juicio para limitar el área por intervenir o, inclusive, para definir el tipo de acción de mantenimiento por aplicar.

Figura 7-27 Demarcación del área por reparar



Fuente: Federal Highway Administration 1994 - Video VH-273B

Con el fin de asegurar la remoción de la totalidad del concreto deteriorado, los límites de la reparación se deben extender más allá de la zona afectada, unos 100 mm en longitud y 50 mm en anchura. Las zonas marcadas deben presentar bordes rectos y paralelos a las juntas. Si existen dos zonas afectadas separadas a menos de 600 mm, práctica y económicamente puede resultar más conveniente hacer una sola reparación que englobe a ambas.

Figura 7-28 Golpeo con martillo para detectar el sonido del concreto deteriorado



Fuente: Federal Highway Administration 1994 - Video VH-273B

7.4.8.2. Excavación y remoción del concreto

Los bordes de la zona demarcada se someten a aserrado al menos en una profundidad de 50 mm y el concreto de su interior se remueve mediante fresado si el área por retirar es suficientemente grande (Figura 7-29), o con ayuda de herramientas livianas, neumáticas o

manuales, disponiéndolas de la manera más horizontal posible, con el fin de evitar la generación de daños por debajo de la zona afectada. Si al alcanzar la profundidad a la que se espera encontrar concreto sano se detecta que el deterioro alcanza el nivel de los pasadores o se extiende en todo en el espesor de la losa, se deberá proceder a la reparación en espesor total.

Figura 7-29 Remoción por fresado del material afectado (7.16)



7.4.8.3. Limpieza de la zona por reparar

La superficie finalmente expuesta se debe limpiar enérgicamente antes de colocar el material de reparación. Se recomienda someter a chorro de arena las caras expuestas de la excavación, con el fin de eliminar partículas sueltas y cualquier otro material deletéreo. Esta tarea cumple, además, el propósito de generar una buena adherencia entre el concreto existente y el nuevo por verter. Finalmente, soplar con aire a presión remueve cualquier resto del chorro de arena y de la demolición

7.4.8.4. Preparación de la junta

La adecuada preparación de la junta es esencial para el buen comportamiento de las reparaciones en espesor parcial. Es necesario impedir que se produzca adherencia entre el material de la reparación y el concreto existente al otro lado de la junta, por cuanto pequeños movimientos diferenciales o de alabeo pueden provocar la rotura del borde. Asimismo, las reparaciones delimitadas por juntas o grietas transversales que atraviesen la totalidad de la losa requieren espacio suficiente para minimizar el desarrollo de fuerzas de compresión, debido a la expansión térmica de las losas. Para prevenir esa adherencia y mantener el espacio de la junta, lo habitual es colocar a lo largo de ella, antes de verter el concreto, un inserto compresible (poliestireno, polietileno, un panel de fibra impregnada de

asfalto, etc.), que forme una cara apropiada contra la cual se pueda sellar apropiadamente la junta o grieta. En el caso de grietas, es imprescindible que el material sea flexible, de manera que acompañe su trayectoria. La nueva junta o grieta deberá tener el mismo ancho de la existente. El inserto se debe colocar en la junta sobrepasando la profundidad de la reparación. También, es recomendable que se extienda de 50 a 75 mm a cada lado de los límites de ella, y se deberá retirar una vez haya curado la mezcla usada en la ejecución del parche.

Cuando la reparación se deba realizar en la junta entre la losa y la berma, también es necesario mantener la separación entre los dos elementos para evitar que, una vez endurecido, el concreto restrinja el movimiento longitudinal y se produzca un nuevo deterioro. Si la berma es de concreto, se procede como en el párrafo anterior, pero si es granular o de asfalto y la junta es a tope, se debe remover una parte de la berma en la longitud prevista para la reparación, con la tolerancia ya indicada, y colocar en ese espacio un inserto de madera blanda u otro material adecuado de suficiente rigidez, para brindar confinamiento durante la colocación y el fraguado del material de la reparación, impidiendo el flujo de éste a la berma. Una vez curado el concreto, se retira el inserto y se rellena el espacio con el mismo tipo de material de la berma.

7.4.8.5. Relleno

Antes de verter el concreto, es conveniente aplicar una capa delgada y uniforme de mortero de cemento o de un agente epóxico como puente de adherencia entre el concreto existente y la nueva mezcla. El material se debe distribuir en forma pareja sobre la superficie con un cepillo u otro elemento adecuado y debe cubrir toda el área de la reparación, incluyendo las paredes (Figura 7-30). La instalación y la mezcla de los componentes del producto epóxico deberán adaptarse a las recomendaciones de la hoja técnica de su fabricante.

Figura 7-30 Aplicación de un mortero de cemento como puente de adherencia



Fuente: Tomada de Unified Facilities Criteria UFC 3-270-03

La mezcla para la reparación se debe colocar cuidadosamente, bajo condiciones climáticas favorables y compactar con un vibrador de aguja pequeño, con el fin de eliminar cualquier vacío en la interfaz entre el parche y el concreto existente. El vibrador se debe aplicar en toda la extensión de la reparación para asegurar una adecuada compactación. No se debe emplear para mover el material, pues puede producirle segregación. En reparaciones muy pequeñas, el uso de herramientas de mano es suficiente para trabajar y compactar el material.

Siempre que se emplee en el relleno un producto epóxico de endurecimiento rápido, la mezcla de los componentes y su instalación se deberán hacer conforme a las recomendaciones de la hoja técnica del fabricante.

La cantidad de mezcla por aplicar en la reparación debe ser suficiente para garantizar que, una vez consolidada, la superficie de la reparación acompañe el perfil del pavimento existente.

7.4.8.6. Terminado superficial

El procedimiento recomendado para lograr un buen terminado consiste en emparejar la mezcla desde el centro hacia los bordes de la reparación. El terminado en sentido inverso provoca el despegue del material de las caras del parche y hace perder adherencia entre sustratos. Un procedimiento aconsejable luego del terminado, consiste en sellar el contacto del parche con el pavimento aplicando una lechada de cemento para prevenir la infiltración de humedad.

7.4.8.7. Texturizado

Completadas las labores de terminación, se debe texturizar la zona reparada. A pesar de su escasa área, que no afectaría la resistencia al deslizamiento, es importante que el pavimento mantenga una apariencia uniforme. Por ello, el texturizado debe ser similar al existente.

7.4.8.8. Curado

En las reparaciones de espesor parcial el curado resulta aún más crítico que en la construcción del pavimento, debido a la muy elevada relación entre la superficie expuesta y el volumen de concreto necesario para la reparación. La atención debe ser aún mayor cuando se empleen concretos o morteros especiales o con productos acelerantes.

Los materiales y procedimientos para el curado son los mismos que para la construcción del pavimento y para las reparaciones en espesor total, aunque las precauciones en cuanto a la dosificación y el instante de aplicación deben ser más exigentes (Figura 7-31).

Figura 7-31 Curado del material de la reparación



Fuente: Federal Highway Administration 1994 - Video VH-273B

Si en la reparación se utiliza un material de endurecimiento rápido ajustado a la norma ASTM C 928, el curado se deberá realizar con agua fría, una vez iniciado el endurecimiento y durante un período mínimo de dos horas; además, se deberán atender las recomendaciones del fabricante sobre el particular, consignadas en la hoja técnica del producto empleado.

7.4.8.9. Resellado de juntas

El resellado de las juntas en la zona reparada previene futuras desportilladuras y minimiza el ingreso de agua a la infraestructura. El trabajo se realiza una vez el concreto haya ganado resistencia, empleando las técnicas y precauciones usuales en este tipo de tarea.

El aserrado secundario de la junta es necesario para suministrar un factor de forma adecuado. También, se debe proceder a resellar toda la junta, para impedir el ingreso de agua y de materiales compresibles que puedan afectar su comportamiento y el de la losa.

7.4.8.10. Apertura al tránsito

El material de la reparación debe haber ganado suficiente resistencia antes de exponerlo al tránsito automotor. La mayoría de las agencias viales especifican que el concreto debe presentar una resistencia a compresión de, cuando menos, 21 MPa antes de abrir el área la tránsito. Otras establecen una resistencia flexural mínima de 2.8 MPa. Siempre es preferible disponer de una medida real de la resistencia del material del parche antes de autorizar la circulación sobre él, en especial en proyectos en los que se requiere una rápida apertura al tránsito. En este caso, la verificación se puede realizar con equipos de ultrasonido o medidores de madurez.

La reparación en espesor parcial está considerada como Actividad 1247 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.4.9. Reparación en espesor total

Es una reparación relacionada con daños de losas aisladas y no sobre una extensión continua y considerable del camino, caso en el cual correspondería un trabajo de reconstrucción. Las reparaciones en espesor total están dirigidas al remedio de una amplia variedad de deterioros, incluyendo grietas longitudinales y transversales, desportilladuras y estallidos, como se muestra en la Tabla 7-5. Comprenden la remoción y el reemplazo de una porción de losa en su espesor completo y en el ancho total de un carril. Siempre que se considere esta opción de reparación, se deberá verificar que no resulte más costosa que la demolición y el reemplazo de la losa completa.

Este tipo de reparación se puede efectuar como actividad de mantenimiento o como parte de un proyecto integral de rehabilitación que incluya otros procedimientos e, inclusive, la construcción de un refuerzo sobre el pavimento.

7.4.9.1. Tamaño de la reparación

La inspección visual permite estimar el tamaño del área por reparar, aunque es recomendable complementarla con procedimientos que ayuden a definir con mayor precisión la extensión del deterioro en profundidad; por ejemplo, golpear la superficie con una varilla o un martillo de caucho o arrastrar una cadena pesada, así como tomar núcleos del pavimento y medir las deflexiones del pavimento.

Extender la reparación a todo el ancho de la losa facilita el aserrado y la remoción de la masa de concreto por reemplazar. Los límites de la reparación deben ser paralelos y no deben formar esquinas interiores en el pavimento existente, ya que a partir de ellas se pueden generar nuevas grietas. Si, además, existen vacíos bajo la losa debidos al bombeo, la reparación en profundidad deberá llevarse más allá de los mismos. Esta evaluación se debe realizar tan cerca como sea posible de la fecha prevista para la ejecución de las obras.

Los trabajos aislados de reparación en espesor total se deben adelantar simultáneamente o después de que se hayan realizado los de reparación en espesor parcial en una losa adyacente.

La FHWA recomienda que para la reparación de losas con pasadores o varillas de amarre, la longitud mínima por reparar sea de 1.8 m; mientras que para losas sin pasadores o varillas de amarre se mantenga esa misma longitud en vías de bajo volumen de tránsito y se extienda hasta 2.40 m para pavimentos que deban soportar tránsito medio o pesado. Además, aconseja que no se adelanten reparaciones de espesor total en un ancho parcial de carril, debido a su relativa inestabilidad.

El Departamento de Transporte de California establece que la longitud mínima de una reparación en espesor pleno sea de 2.0 m y que la zona reparada se encuentre, al menos, a 2.0 m de la junta o grieta más cercana. Igualmente, que si la longitud por reparar excede de 4.50 m, se intercale una junta transversal de contracción.

Si la distancia entre los límites de dos áreas consecutivas por reparar es menor a lo que indica la Tabla 7-6, suele resultar más práctico y económico combinar los dos parches en una sola reparación. Se debe tener presente que, cuando se extienden los límites de la zona a reparar, la separación entre juntas nunca debe superar la máxima que presente el pavimento existente.

Tabla 7-6 Distancia económica mínima aproximada entre dos parches (7.18)

| Espesor de losa (mm) | Ancho de losa (m) | | | |
|----------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 |
| | Distancia económica mínima (m) | | | |
| 175 | 5.2 | 4.6 | 4.3 | 4.0 |
| 200 | 4.6 | 4.0 | 3.7 | 3.4 |
| 225 | 4.0 | 3.7 | 3.4 | 3.0 |
| 250 | 3.7 | 3.4 | 3.0 | 2.7 |
| 275 | 3.4 | 3.0 | 2.7 | 2.4 |

7.4.9.2. Transferencia de carga

En las reparaciones en espesor pleno es necesario brindar unas condiciones adecuadas de transferencia de carga en las juntas transversales para minimizar los movimientos diferenciales que generan desportilladuras, balanceo, bombeo, escalonamiento y roturas en las losas adyacentes. El uso de dispositivos mecánicos de transferencia de carga es altamente recomendable para cualquier nivel esperado de tránsito. Como el corte del concreto abarca normalmente todo el espesor de la losa, deja una superficie lisa sin capacidad de transferir carga, por lo cual los pasadores se deben encargar de establecer la conexión debida entre la zona reparada y el pavimento existente.

En todas las reparaciones en espesor total se debe dejar al menos una junta transversal con pasadores, para permitir el movimiento horizontal del área reparada. Las dimensiones y separaciones de los pasadores son las habituales en la construcción de pavimentos rígidos. En las juntas longitudinales afectadas por la reparación se deben instalar varillas corrugadas de 25 mm de diámetro, las cuales se deberán anclar a la losa existente.

7.4.9.3. Requerimientos del concreto

El concreto que se emplee para la reparación debe cumplir los mismos requisitos especificados para la construcción de pavimentos nuevos y ser compatible con la resistencia y la estabilidad volumétrica del pavimento existente. Por tratarse de arreglos en pavimentos en servicio, es usual que las reparaciones se deban habilitar lo más pronto posible con el fin de reducir al mínimo las molestias al tránsito automotor. Por ello, es común el empleo de

aditivos o de cementos de alta resistencia inicial que permitan alcanzar una elevada resistencia a edad temprana.

Siempre que exista tránsito pesado en los carriles adyacentes, conviene emplear un concreto de mayor ganancia de resistencia inicial, a los efectos de controlar la posibilidad de deterioros a causa de las vibraciones generadas por la circulación de buses y camiones.

7.4.9.4. Ejecución de los trabajos

Los pasos generales para la realización de una reparación de un pavimento rígido en espesor pleno son los siguientes:

- Aislamiento del área deteriorada
- Demolición y retiro del concreto deteriorado
- Reparación de la capa de apoyo y de los dispositivos de drenaje que lo requieran
- Provisión de la transferencia de carga en las juntas transversales
- Preparación de las juntas
- Colocación y terminación del concreto de la reparación
- Curado de la reparación
- Aserrado y sellado del perímetro de la reparación

La necesidad de aplicar cada uno de estos pasos depende del tipo de pavimento y de la ubicación de la reparación.

Como la reparación de un pavimento rígido en espesor pleno afecta el ancho total de un carril, se debe establecer un adecuado plan de control del tránsito para la seguridad del público y del personal de mantenimiento (ver numeral 1.5.3 del Capítulo 1).

Aislamiento del área deteriorada

El primer paso consiste en aserrar en todo el espesor de la losa el perímetro del área de reparación previamente definida. Como normalmente el volumen por remover es muy voluminoso, el concreto deteriorado se deberá aserrar en piezas de tamaño manejable (Figura 7-32). Ello permitirá su retiro generando un daño mínimo al concreto adyacente y al material de soporte. El trabajo se debe realizar en secciones rectangulares para simplificar la remoción del concreto. Para el corte en espesor total se emplean discos diamantados de diámetro apropiado que produzcan un corte recto de caras verticales que faciliten la

colocación posterior de los pasadores. Los cortes de aislamiento a lo largo de bermas de concreto o de las juntas longitudinales requieren el seccionamiento de las varillas de unión presentes en el área por reparar, empleando el mismo disco.

Figura 7-32 Piezas aserradas de tamaño manejable



Como ya se mencionó, por seguridad y por el buen comportamiento del pavimento, la longitud del área por remover debe ser, cuando menos, de 1.8 o 2.0 m (según el criterio que se aplique) y cualquier concreto remanente adyacente a ella debe tener, también, 1.8 o 2.0 m de largo como mínimo. Cualquier losa que no cumpla estos requisitos deberá ser demolida.

En pavimentos sometidos a bajos volúmenes de tránsito, los cuales no contienen pasadores, los cortes perimetrales para las reparaciones deben ser solamente parciales (penetrar aproximadamente un tercio del espesor de la losa), para permitir el picado de la parte inferior de la cara vertical, de manera de generar una cara rugosa para producir una transferencia de carga por el sistema de trabazón de agregados. Luego se realizan cortes adicionales en espesor total hacia el interior para aislar la zona por demoler y facilitar el izado o retiro del elemento deteriorado, sin que se produzcan roturas en el área circundante.

Para facilitar la remoción de la losa con una retroexcavadora u otro equipo de carga, se puede efectuar más de un corte dentro de una misma reparación.

Si es necesario mantener el tránsito durante los trabajos, las operaciones de aserrado en espesor total se deben efectuar, como máximo, dos días antes del inicio de la demolición, dado que los cortes en espesor total eliminan la transferencia de carga.

Demolición y retiro del concreto

Siempre que sea posible, la manera más conveniente de remover las zonas deterioradas es izando las secciones aserradas. Ello evita daños a la capa de apoyo de la losa y, casi siempre, es más práctico que demoler el concreto en el sitio y retirar posteriormente los escombros. Para el retiro del bloque se utilizan cadenas o eslingas que se pueden vincular al concreto por medio de anclajes o pernos (Figura 7-33).

Figura 7-33 Izado de una sección aserrada



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=4kZfecru-Kw>

La maniobra de izado debe ser precisa y cuidadosa, con el fin de evitar daños en el concreto sano que obliguen a extender el área de la reparación. Si se considera que el izado es inseguro o imposible por el alto grado de deterioro, el bloque se debe romper en fragmentos pequeños para retirarlos con una excavadora o herramientas manuales. El equipo por utilizar para la fragmentación dependerá de la magnitud de la reparación (Figura 7-34).

Figura 7-34 Fragmentación y remoción del concreto deteriorado



Fuente: Slab Replacement Guidelines, Caltrans, January 2004

La desventaja de la demolición, en particular cuando se emplean equipos pesados, es que frecuentemente deteriora la capa de apoyo, lo que implica mayores trabajos de preparación de la zona por reparar, incluida la delicada tarea de reconstruir la capa de soporte.

Reparación de la subbase y las estructuras de drenaje

Una vez retirado el concreto demolido, se procede a la reconformación de la subbase o subrasante y a la provisión de mecanismos de transferencia de carga en los límites de la reparación.

Si las operaciones de demolición y retiro produjeron daños en la subbase y/o la subrasante, se debe retirar todo el material perturbado y agregar, conformar y compactar uno nuevo de características apropiadas. Si la humedad del material de soporte es excesiva, éste se deberá airear o remover y reemplazar antes de proceder a la reparación de la losa. En ocasiones, puede ser necesario excavar más allá de la superficie de la subbase, debido a la existencia de daños preexistentes en las capas inferiores. En tal caso, se deberá excavar hasta encontrar una capa de fundación firme y bien densificada. Cualquiera sea el material de reposición empleado, el relleno se debe realizar en capas de espesor no mayor a 200 mm, las cuales se deberán compactar cumpliendo los niveles exigidos por las especificaciones de construcción o de mantenimiento (Figura 7-35).

Figura 7-35 Superficie de apoyo preparada



Fuente: <https://www.fhwa.dot.gov/Pavement/concrete/full5.cfm>

Algunas referencias mencionan la posibilidad de emplear morteros cementicios autocompactables en la reconformación de la subbase, nombre eufemístico de un producto más conocido como “relleno fluido”, cuya limitada resistencia a la erosión produjo uno de los mayores fiascos en la construcción y la rehabilitación de pavimentos rígidos en el país

(Figura 7-36). En consecuencia, el uso de este producto en los trabajos de construcción y mantenimiento de los pavimentos de la red vial nacional se considera inaceptable.

Figura 7-36 Destrucción de losas construidas sobre relleno fluido



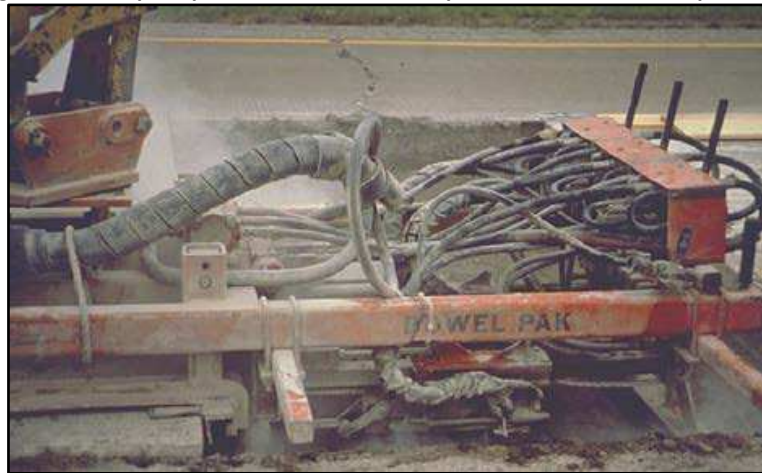
Fuente: <http://www.pulzo.com/bogota/ya-hay-tercer-carril-de-transmilenio-en-avenida-caracas-y-no-por-decreto-sino-por/168536>

Siempre que se efectúen excavaciones que involucren la subbase u otras capas inferiores, es deseable extender los límites de la reparación cuando menos 250 mm a cada lado del área por intervenir, con el fin de conservar sin perturbar el borde de la subbase o la subrasante, de manera de facilitar las operaciones subsiguientes de relleno y compactación.

Provisión de transferencia de carga en las juntas transversales

La instalación adecuada de los dispositivos de transferencia de carga reduce los movimientos diferenciales entre losas y es crítica para el buen comportamiento de las reparaciones en espesor total. Los pasadores destinados a proveer transferencia de carga se colocan en agujeros taladrados a la mitad de la altura de las caras verticales de las losas existentes. Se pueden emplear diferentes equipos de perforación, que disponen de uno o más taladros trabajando en forma simultánea o en forma independiente. Es preferible usar máquinas taladradoras que taladros manuales, tanto por el rendimiento como por la mejor alineación de los pasadores (Figura 7-37). De todas maneras, el taladrado manual puede resultar necesario siempre que el espacio de maniobra sea limitado. Sin embargo, aun en este caso, se recomienda la implementación de dispositivos que guíen correctamente la perforación.

Figura 7-37 Máquina para taladrar los orificios para la instalación de los pasadores



Fuente: Federal Highway Administration 1994 - Video VH-273C

El diámetro necesario del orificio para la instalación del pasador depende del tipo de material que se empleará para el anclaje. Si se emplean lechadas a base de cemento, se requiere un diámetro 5 a 6 mm mayor que el del pasador a colocar, mientras que el uso de una resina epoxi solo requiere un espacio adicional de 2 mm.

Una vez hecha la perforación, el orificio se debe limpiar con aire a presión, eliminando todos los restos de polvo y suciedad que puedan afectar la adherencia de la lechada o del epoxi con el concreto. El material de anclaje se debe inyectar en el fondo del orificio, para que fluya hacia el exterior de manera uniforme al introducir manualmente el pasador presionándolo y girándolo, con el fin de reducir la posibilidad de que queden vacíos a su alrededor.

Para evitar que el material de anclaje sea expulsado al insertar el pasador, se emplea un disco plástico de retención que impida su escape. La cantidad de material debe ser tal que, una vez introducido el pasador, rebalse fuera de la perforación. Si esto no ocurre, se debe extraer el pasador, colocar material adicional de anclaje y volver a introducir la barra como se indicó anteriormente. El extremo sobresaliente del pasador se debe engrasar ligeramente y cubrir con una cápsula de expansión, para facilitar el movimiento horizontal de la losa.

Las juntas perimetrales longitudinales de las reparaciones en espesor total también requieren una preparación adecuada antes de fundir el concreto, mediante la colocación o reposición de las varillas de amarre. Para la perforación de los agujeros se puede emplear un taladro manual convencional, dado que el alineamiento no es un problema en este tipo de vinculación. El material de anclaje es el mismo que se usa para anclar los pasadores.

Preparación de las juntas

Terminada la instalación de las varillas y antes de verter el concreto, se deben preparar las juntas longitudinales y transversales. A través de cada junta transversal de contacto se

deberá colocar una espuma de polietileno de célula cerrada de unos 6 mm de espesor. El material se deberá extender ajustadamente a lo largo de la cara de la losa existente con su parte superior a ras con la superficie del pavimento, para impedir que el concreto de la reparación se introduzca entre él y el pavimento existente. El material deberá ser perforado en los puntos donde se encuentren los pasadores.

Para reparaciones de longitud menor que la separación entre las juntas transversales del pavimento existente, se debe prevenir la adherencia de la reparación con el concreto existente del carril adjunto, mediante el uso de una lámina delgada (unos 5 mm) de cartón madera u otro material apropiado. El material se debe colocar también en todo el ancho y el espesor de la zona de contacto, de manera de permitir que el concreto viejo trabaje independientemente de la reparación, evitando la formación de grietas reflejas por simpatía.

Colocación y terminación del concreto de la reparación

Completados los trabajos previos, y tras una limpieza y humedecimiento de la superficie a recubrir, se procede a fundir el concreto de la reparación. El concreto se descarga del camión mezclador y se distribuye apropiadamente sobre el área de la reparación, reduciendo al mínimo su manipulación.

A continuación, se compacta con vibradores de inmersión de alta frecuencia o, si el tamaño de la reparación lo permite, empleando reglas vibratorias. Se debe poner especial atención en los bordes y en las zonas de pasadores, para garantizar una buena transferencia de carga y un comportamiento adecuado a largo plazo. Los vibradores de aguja son apropiados para este tipo de trabajo.

El enrasado con el pavimento adyacente se efectúa con reglas vibratorias o alisadoras estáticas de longitud adecuada. La textura de la superficie reparada deberá ser similar a la del concreto que la rodea y se puede obtener mediante arrastre de arpillera, cepillo o peine, según resulte necesario.

Curado de la reparación

Una vez terminada la superficie, se procede a aplicar una membrana de curado para mantener las condiciones necesarias de temperatura y humedad que promuevan la correcta hidratación del cemento y prevengan la formación de grietas de retracción. Los materiales y procedimientos aplicables son los mismos que al construir pavimentos nuevos. La pigmentación blanca permite distinguir la zona donde se ha aplicado el compuesto y verificar la uniformidad de la aplicación.

Las primeras horas de curado son más críticas en reparaciones con mezclas de concreto de alta resistencia inicial por lo que, en este caso, es recomendable la aplicación de la membrana con la mayor rapidez tras la terminación de la losa.

Aserrado y sellado del perímetro de la reparación

El último paso de la reparación en espesor total es el aserrado de control de agrietamiento en los casos que corresponda, es decir, en aquellas reparaciones cuya longitud requiera formar o mantener juntas intermedias en coincidencia con las losas existentes.

Finalmente, se procede al sellado de las juntas perimetrales y/o intermedias de las reparaciones, con los mismos materiales y procedimientos recomendados para las juntas de los pavimentos nuevos.

Apertura al tránsito

Las FHWA recomienda dos criterios para establecer el momento en que se puede permitir la apertura de la reparación al tránsito automotor: (1) especificar una resistencia mínima, (2) especificar un tiempo mínimo luego de completada la reparación. Aunque el primero es el preferible, en situaciones donde no sea necesaria una apertura rápida se suelen especificar tiempos mínimos para la habilitación cuando se usan mezclas convencionales.

Cuando se requiera la apertura rápida, tal el caso de carreteras de tránsito elevado, se especifican concretos de alta resistencia inicial. En este caso, se fijan resistencias mínimas de apertura al tránsito y se implementan métodos directos o indirectos de determinación de la resistencia para identificar el momento adecuado de habilitación. Entre los métodos indirectos están la medición de la madurez del concreto y la velocidad del pulso ultrasónico. Los métodos directos incluyen la determinación de resistencia en vigas y probetas moldeadas en obra y mantenidas en condiciones similares al concreto de la reparación. La FHWA suministra los siguientes criterios para la apertura al tránsito de una reparación en espesor total: (1) resistencia mínima a compresión de 13.8 MPa, y (2) módulo de rotura mínimo de 2.1 MPa en ensayos con carga en el centro de la viga o de 1.7 MPa para ensayos con cargas en los tercios. Indica, también, que bajo el segundo criterio el tiempo mínimo de apertura se establezca en función del diseño de la mezcla, el procedimiento de curado, las temperaturas de colocación y ambiente y el espesor de la losa.

La expectativa de vida de una reparación en espesor total depende de muchos factores pero, en general, oscila entre 10 y 15 años. El trabajo está considerado como Actividad 1248 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.4.10. Desarrollo de estrategias factibles para el mantenimiento periódico de los pavimentos rígidos

Una estrategia de mantenimiento periódico es un plan que define los tratamientos que se pueden aplicar o los instantes en que se deben aplicar sobre un determinado lapso. Por ejemplo, una estrategia que emplee un solo tratamiento puede consistir en el cepillado de la superficie cada 8 años durante los próximos 25 años, otra podría consistir en combinar la relocalización de pasadores con el cepillado durante el mismo período, etc. Es usual la

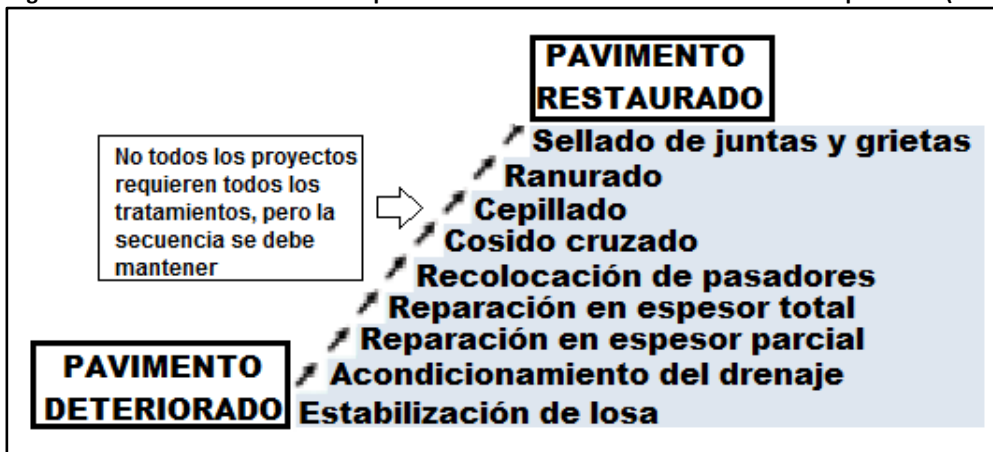
ejecución simultánea de varias actividades de mantenimiento periódico en un solo proyecto, debido a que ellas pueden ser complementarias. Por lo tanto, los propósitos del desarrollo de estrategias factibles de mantenimiento son los siguientes:

- Determinar las actividades necesarias para enfrentar de la mejor manera las necesidades del pavimento
- Determinar si es mejor realizar las actividades de manera conjunta o aplicarlas en diferentes instantes

Siempre que se decida realizar varias actividades de manera conjunta es importante adelantarlas de una manera lógica, con el fin de maximizar la eficacia de cada una de ellas a la vez que proteger los trabajos realizados previamente. Por ejemplo, las reparaciones en espesor parcial y total, la recolocación de pasadores y la estabilización de losas se deben realizar siempre con anterioridad al cepillado de la superficie. Retardar la ejecución del cepillado hasta que todas las demás actividades se hayan realizado, maximiza la efectividad del trabajo realizado para reducir la rugosidad del pavimento. Un resumen del orden lógico en que se deben adelantar los trabajos conjuntos de mantenimiento periódico en un pavimento rígido se presenta en la Figura 7-38 (7.19). El esquema no pretende decir que en cada proyecto se requiera la ejecución de todos los tratamientos; la recomendación es, simplemente, que se mantenga esa secuencia ascendente de aplicación siempre que alguno de ellos se deba realizar en conjunto con otro u otros durante un proyecto de mantenimiento. Como se puede apreciar, el sellado de las juntas y grietas deberá ser la última actividad por realizar cuando acompañe operaciones de mantenimiento periódico.

Cada combinación de tratamientos o escenario de su aplicación en el tiempo se debe considerar como una estrategia individual de mantenimiento. Aunque normalmente hay una elección que parece obvia cuando se analizan varias estrategias alternativas, siempre es recomendable compararlas de manera objetiva considerando la efectividad en costo de todas ellas.

Figura 7-38 Secuencia recomendada para realizar las actividades de mantenimiento periódico (7.19)



7.5. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Por su conformación y su mecanismo de funcionamiento, un pavimento de adoquines de concreto bien construido se puede mantener en buen estado con simples acciones de mantenimiento rutinario. Las de mantenimiento periódico, por lo general, no se derivan del efecto acumulado del tránsito y del clima, sino del agravamiento de alguna situación no atendida oportunamente con el mantenimiento rutinario.

Las curvas con los valores de deducción del PCI por deterioro, incluidas en el Anexo 3, permiten concluir que las deformaciones (en forma de ahuellamientos, depresiones o elevaciones) y las pérdidas de adoquines son los deterioros que más afectan la condición operacional del pavimento, seguidos por aquellos que se derivan de la pérdida de confinamiento. Salvo que se presenten en sitios aislados (como, por ejemplo, las depresiones que se producen en lugares donde se han realizado excavaciones para instalar tuberías y cables de servicios públicos), las deformaciones suelen tener su origen en la inestabilidad general del soporte del pavimento y, por lo tanto, su solución requiere una rehabilitación intensiva, cuando no la reconstrucción. En lo relacionado con los deterioros derivados de la pérdida de confinamiento lateral, lo que corresponde, como labor de mantenimiento periódico, es restituir el confinamiento y recomponer las áreas de pavimento que hayan sido afectadas por su carencia o deficiencia.

Algunas operaciones básicas para el mantenimiento de los pavimentos de adoquines de concreto son las siguientes:

7.5.1. Limpieza de la calzada

Su finalidad es mantener la apariencia del pavimento y la seguridad en el tránsito, así como prevenir el crecimiento de vegetación en las juntas entre adoquines. Consiste en barrer la calzada (con escobas manuales o mecánicas) y remover el suelo acumulado (con ayuda de agua a presión si es necesario) y cualquier otro obstáculo que afecte la seguridad de los usuarios. Además, empleando un punzón metálico se deberán aflojar y extraer el suelo y la vegetación alojados dentro de las juntas. Si existe aprobación de la autoridad ambiental competente, se deberá aplicar herbicida en la juntas para evitar que la vegetación se vuelva a reproducir en ellas. El aumento descontrolado de la hierba aumenta la abertura de la junta y favorece la infiltración del agua hacia el interior del pavimento y su soporte. Una vez removida la vegetación, se deberá aplicar arena para sello y barrer para que rellene las juntas afectadas.

La limpieza de pavimentos de adoquines está considerada como Actividad 1251 en las especificaciones de mantenimiento incluidas en este manual.

7.5.2. Reemplazo y reposición de adoquines

Los adoquines deteriorados se deberán reemplazar y los perdidos reponer, con el fin de mantener una superficie confortable y mejorar la seguridad en el tránsito. Los adoquines por cambiar se deberán marcar, remover y acopiar para su disposición en lugar aprobado. Puede ser necesario el empleo de un cincel para aflojar el primer adoquín. Inclusive, si el pavimento ha estado sometido al tránsito durante mucho tiempo, puede ser necesario romperlo para poderlo retirar. Los adoquines nuevos se instalarán en los espacios vacíos y, posteriormente, se verterá arena sobre ellos y se barrerá para que penetre en las juntas y asegure una buena trabazón con los bloques vecinos. Por último, se deberán aplicar golpes con un martillo de caucho a los adoquines colocados para que queden debidamente ajustados. El área reemplazada debe quedar ligeramente por encima de la original, para tener en cuenta el leve asentamiento que va a sufrir con el uso.

Tanto los adoquines como la arena para el sello deberán cumplir los requisitos de calidad señalados en el Artículo 510 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4). El reemplazo de adoquines está considerado como Actividad 1253 en las especificaciones que forman parte de este manual.

7.5.3. Reparación de deformaciones

Su finalidad es recuperar el perfil de la calzada, lo que mejora la seguridad en la circulación vehicular e impide la acumulación de agua que se puede infiltrar y debilitar el pavimento y la subrasante. La actividad implica la delimitación del área por reparar, remover los adoquines de ella, excavar las capas subyacentes afectadas por la deformación, recompactar el fondo de la excavación y, posteriormente, rellenarla empleando un material de base del mismo tipo del existente hasta el nivel inferior de la capa de arena de soporte y compactarlo debidamente. No se permitirá el uso de relleno fluido en la construcción de estos rellenos en las carreteras a cargo del Instituto Nacional de Vías. A continuación, se coloca la capa de arena de soporte y, empleando el mismo patrón de disposición del resto del pavimento, se reinstalan los adoquines removidos, salvo aquellos que presenten deterioros, los cuales se deberán reemplazar por nuevos de la misma forma y dimensiones. Luego, se vierte arena para sello sobre la superficie, se barre para que penetre en las juntas y asegure una buena trabazón con los bloques vecinos, y se aplican golpes con un martillo de caucho a los adoquines colocados para que queden debidamente ajustados. Por último, se compacta la superficie con una placa vibratoria y se barre cualquier exceso de arena.

Los asentamientos de baja gravedad se atribuyen, generalmente, a la pérdida de arena de las capas de apoyo de los adoquines. En este caso, la reparación requiere la remoción de los adoquines y de la arena de la zona afectada, el descarte de ésta y de los adoquines que se encuentren deteriorados, identificar la razón por la cual se ha perdido arena del soporte (grietas en bases estabilizadas, desperfectos en el elemento de confinamiento del pavimento, etc.), hacer la reparación correspondiente, reconstruir la capa de arena y reinstalar los adoquines, reemplazando aquellos que se descartaron por su deterioro.

Los adoquines, la arena para la capa de soporte y la arena para sello deberán cumplir los requisitos de calidad mencionados en el Artículo 510 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4).

La reparación de deformaciones localizadas en pavimentos de adoquines está considerada como Actividad 1252 en las especificaciones que forman parte de este manual.

7.6. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE AFIRMADOS

Mientras las carreteras pavimentadas se diseñan y construyen para obtener una sección transversal permanente, la situación de las no pavimentadas es muy diferente. Muchas de ellas ni siquiera se construyen inicialmente de manera correcta. El tránsito tiende a formar ondulaciones y a desplazar la grava desde la superficie hacia los bordes y las cunetas durante la temporada seca, mientras que el agua que fluye sobre la calzada en la temporada lluviosa produce surcos longitudinales y transversales que afectan adversamente no solo la comodidad sino, sobre todo, la seguridad de los usuarios.

En ese orden de ideas, los encargados del mantenimiento de las vías no pavimentadas tienen la responsabilidad permanente de mantener su sección transversal mediante diversas operaciones de mantenimiento: tratamiento con rastras y escobas, reaplicaciones puntuales de grava (bacheo), limpieza de las bermas y de los desagües, control del polvo, perfilado ligero, perfilado pesado y recargas de grava. De ellas, se consideran de mantenimiento periódico las dos últimas. Los instantes apropiados para su ejecución están ligados al índice de viabilidad que presente la calzada afirmada, según se describe en el Anexo 4.

Las carreteras afirmadas no suelen disponer de los recursos requeridos para su mantenimiento apropiado, por lo que es casi seguro que su estado no se pueda conservar en el punto óptimo deseado. Por ello, los limitados recursos se deben aplicar de manera de otorgar prioridad a las acciones que puedan afectar más la circulación sobre la calzada.

La atención de emergencias constituye, por supuesto, la prioridad absoluta. Deberán ser remediadas de inmediato y no admiten programación previa. Las obras de drenaje, incluidas la limpieza y la profundización de cunetas y la limpieza de alcantarillas, pontones y puentes deberán tener también alta prioridad, por cuanto su descuido puede dar lugar al deterioro generalizado de la carretera. Igual sucede con el relleno localizado de áreas erosionadas, la construcción de los desagües necesarios y las reparaciones de las estructuras viales. Se debe tener presente que la reparación de deterioros superficiales de la calzada resultantes de defectos del sistema de drenaje es inútil, si no se hacen simultáneamente las rectificaciones que requiera dicho sistema.

7.6.1. Técnicas para el mantenimiento rutinario de los afirmados

7.6.1.1. Bacheo en afirmado

Consiste, simplemente, en tratar de reponer las condiciones originales de la superficie del afirmado mediante la eliminación de baches, depresiones y demás irregularidades de poca extensión que representen incomodidad o peligro para la circulación del tránsito.

La frecuencia con la que se producen los baches en las vías afirmadas depende de múltiples factores, entre los que se pueden mencionar las precipitaciones, el volumen y la distribución del tránsito por tipo de vehículo, las características del material del afirmado, el espesor de la capa y el tipo y la resistencia del suelo de subrasante. En consecuencia, siempre que se presenten baches con una frecuencia que parezca mayor de lo usual conviene determinar las causas por las que ello sucede, con el fin de solucionar el problema de fondo en lugar de continuar con el bacheo continuo por un tiempo indefinido.

El material por utilizar deberá cumplir los requisitos de la especificación general o particular adecuada al sitio donde se presenta el problema.

La costumbre de llenar las depresiones con paladas del material desprendido y contaminado que se encuentra al borde de la calzada, dejando que sea el tránsito el que se encargue de la compactación, constituye una solución momentánea que resulta inadmisibles como operación del mantenimiento rutinario de una carretera de la red vial nacional. El trabajo bien hecho exige la adecuación del área por reparar excavando en forma cuadrada o rectangular y generando paredes con alguna inclinación hacia el fondo de la excavación hasta abarcar todo el afirmado, compactar el fondo, extender un material apropiado de relleno y compactarlo, operaciones que se deberán realizar de conformidad con la especificación aplicable.

En la eventualidad de que en el fondo de la excavación se encuentren suelos blandos o muy húmedos, se deberá analizar y solucionar el problema que genera esta situación, ya sea incrementando la profundidad de la excavación o implementando dispositivos apropiados de drenaje.

El bacheo de afirmados está considerado como Actividad 1311 en las especificaciones que forman parte de este manual.

7.6.1.2. Perfilado ligero

Esta operación se refiere a la reconformación frecuente de la calzada en afirmado, incluyendo las cunetas, con el fin de regularizar la superficie borrando las irregularidades surgidas de la circulación y de la lluvia antes de que alcancen magnitudes importantes, y volviendo a distribuir los materiales desplazados y acumulados en los bordes (Figura 7-39).

La operación de perfilado ligero *“no pretende reconstruir el compactado de la calzada y menos actuar sobre la tasa de humedad de su material”* (7.20).

El perfilado ligero de afirmados está considerado como Actividad 1312 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

Figura 7-39 Perfilado ligero (7.21)



En relación con la frecuencia requerida para el perfilado ligero, ella deberá ser escogida por el encargado del mantenimiento dependiendo de las características de cada caso, por cuanto la bibliografía especializada presenta cifras cuya dispersión impide la adopción de alguna con un buen margen de confianza.

El Banco Mundial (7.22) presenta los resultados de un estudio según el cual se recomienda el paso de la motoniveladora por cada 4000 a 8000 vehículos que circulen por la carretera, lo que equivale a un plazo de 40 a 80 días para un tránsito diario de 100 vehículos.

El TRRL (7.23) establece el paso de la motoniveladora cada 1500 a 2000 vehículos en caminos propensos a las ondulaciones, intervalo que aumenta a 12.000 a 15.000 vehículos si los afirmados son de *“calidad media”*, en tanto que en las vías que tengan gravas de *“buena calidad”* sugiere prescindir de la nivelación durante períodos mucho más largos.

Un documento del antiguo MOPT (7.20) incluye una tabla con varias opciones, pero, en términos amplios, recomienda efectuar la operación en intervalos entre 7500 a 9000 vehículos, para carreteras con tránsitos diarios inferiores a 250 vehículos.

7.6.1.3. Control del polvo

El polvo que levantan los vehículos que circulan sobre los afirmados en la estación seca no solamente degrada la capa sino que, además, dificulta la visibilidad y genera problemas

ambientales en el entorno. En su versión más simple, esta actividad consiste en regar con agua, de manera prácticamente cotidiana, la superficie de la carretera. Una alternativa un poco más elaborada implica la preparación de la superficie incluyendo su escarificación, el riego de un producto químico apropiado y la compactación de la capa tratada. En el Artículo 312, las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) consideran esta última alternativa utilizando cloruro de calcio como producto paliativo, al igual que en la Actividad 1313 de las especificaciones que forman parte de este manual.

7.6.2. Técnicas para el mantenimiento periódico de los afirmados

7.6.2.1. Perfilado pesado

Es una operación mecanizada que recupera la sección transversal y la rasante de la calzada mediante la escarificación, el humedecimiento y la recompactación del material de afirmado existente. El trabajo va acompañado de la reactivación del funcionamiento de las cunetas y de sus desagües. También, puede estar precedido de aplicaciones localizadas de grava (bacheo). La reconformación de las cunetas debe estar antecedida por la remoción de todo material inadecuado que se encuentre depositado en ellas.

El perfilado pesado se requiere cuando las operaciones de perfilado ligero resultan insuficientes y su frecuencia debe ser tan alta que dicha opción se torna impráctica y costosa. Es deseable realizarlo al final de la temporada de lluvias o al comienzo de la temporada seca, cuando la humedad del material es suficientemente alta para facilitar su recompactación y evitar la pérdida de grava. Si el trabajo se realiza durante la temporada seca, es necesario adicionar una cantidad considerable de agua, ya que la escarificación profunda produce una gran cantidad de material suelto. La operación de perfilado pesado es impracticable en capas de afirmado cuyo espesor sea inferior a 75 mm. Los sobretamaños, frecuentes en los afirmados, se deberán retirar manualmente y disponer en sitios de depósito aprobados.

El perfilado pesado de afirmados está considerado como Actividad 1321 en las especificaciones de mantenimiento que forman parte de este manual.

7.6.2.2. Recarga de grava

Es una operación similar al perfilado pesado, pero incluye el aporte de material para restablecer (o superar) el espesor original del afirmado (Figura 7-40). Es conveniente restituir el nivel de la superficie existente antes de colocar el material de recarga, para evitar la posibilidad de que las deformaciones existentes se reflejen en la nueva superficie. No se debe permitir que la compactación sea producida exclusivamente por el tránsito, pues se concentraría en las zonas de circulación de las ruedas, causando ahuellamientos con notable rapidez.

La recarga se aplica cuando el material del afirmado se ha desgastado por la acción del tránsito, por los perfilados rutinarios y periódicos, por la erosión causada por las aguas superficiales y por la dispersión de polvo provocada por el viento, dejando comprometida la subrasante, en particular donde existen ondulaciones, deformaciones y baches.

Figura 7-40 Recarga de grava (7.21)



Aunque el Instituto dispone de una especificación de construcción en la que se mencionan los requisitos que, de manera general, se exigen a los agregados para los afirmados, la experiencia indica que las características del material por aplicar deben ser función de las condiciones climáticas del lugar de uso. En climas secos, conviene emplear una proporción elevada de ligante arcilloso para evitar que la superficie se desmorone y ondule, mientras en los lluviosos la presencia de arcilla es una desventaja, por cuanto vuelve la superficie resbaladiza y propensa al ablandamiento y al ahuellamiento. La Tabla 7-7 resume las recomendaciones del TRRL respecto de la plasticidad de estos materiales, y la Figura 7-41 brinda una idea del posible comportamiento de un afirmado en función de dos parámetros: coeficiente de gradación y producto de contracción.

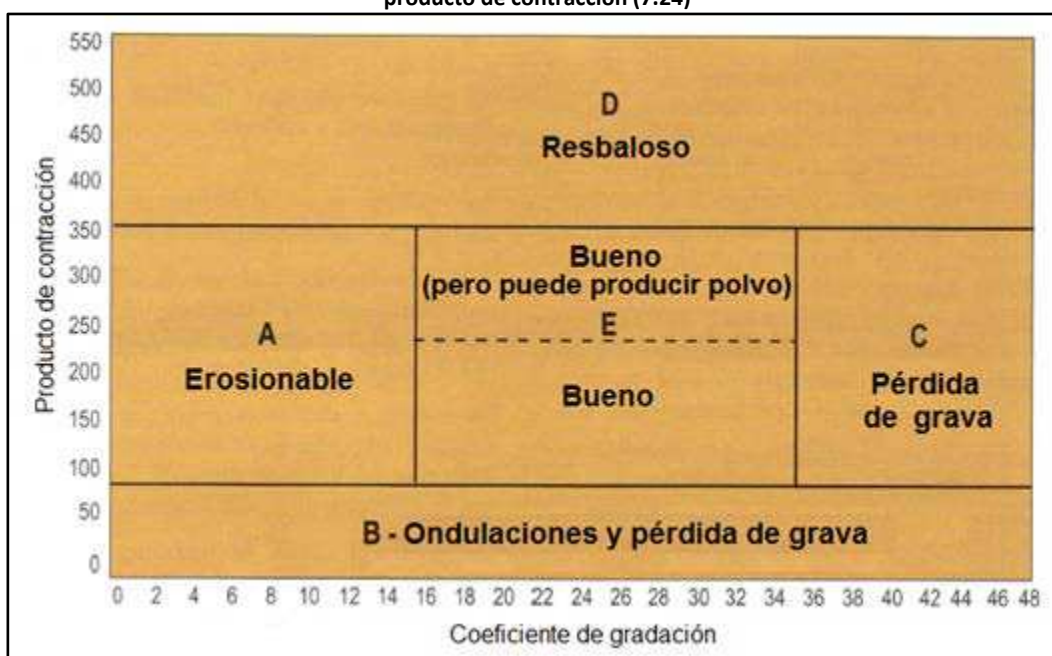
$$\text{Coeficiente de gradación} = \frac{[(\text{porcentaje pasa tamiz de 25 mm} - \text{porcentaje pasa tamiz de 2 mm}) / \text{porcentaje pasa tamiz de 4.75 mm}] \times 100}$$

$$\text{Producto de contracción} = \text{contracción lineal} \times \% \text{ pasa tamiz de 0.425 mm}$$

Tabla 7-7 Plasticidad recomendada para los materiales de afirmado (7.23)

| Clima | Límite líquido (%) | Índice plástico (%) | Contracción lineal (%) |
|--|--------------------|---------------------|------------------------|
| Tropical húmedo y tropical lluvioso | 35 máximo | 4 – 9 | 2 – 5 |
| Tropical con temporada de lluvias | 45 máximo | 6 – 20 | 3 – 10 |
| Semi árido y árido | 55 máximo | 15 – 30 | 8 – 15 |
| El producto de contracción se debe encontrar entre 100 y 240 | | | |

Figura 7-41 Comportamiento previsible de un afirmado en función de su coeficiente de gradación y de su producto de contracción (7.24)



El Artículo 311 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto (7.4) considera dos granulometrías para los materiales granulares de afirmado (A-38 y A-25). Además, solamente admite el rango de 4 a 9 para la plasticidad, el cual concuerda con recomendado por el TRRL para las zonas tropicales más húmedas y lluviosas.

Magnitud de la recarga de grava

En las carreteras afirmadas no son de temer las fisuras y los desórdenes que afectan las vías pavimentadas cuando su capa de base presenta alguna debilidad. Además, es posible aceptar altas deflexiones sin inconvenientes y adoptar menores espesores que en estructuras revestidas (7.20).

Existen muchos métodos para determinar el espesor total requerido de grava para una nueva calzada afirmada. La elección de alguno queda al criterio del ingeniero, pues el

Instituto no ha adoptado ninguno de manera oficial, aunque en su momento el MOPT hizo referencia de dos (7.20). El espesor necesario de la recarga en un determinado momento se puede calcular como el compromiso entre el espesor remanente del afirmado en el instante de la evaluación y el que requeriría un nuevo afirmado sobre la misma subrasante para servir el mismo tránsito.

La pérdida de grava es el factor más importante por el cual las vías en afirmado resultan muy onerosas en términos de costo durante el ciclo de vida, en particular a medida que se incrementan los volúmenes de tránsito. Reducir las pérdidas, eligiendo las gravas más adecuadas o modificando las propiedades de las disponibles de menor calidad, es una manera de reducir los costos a largo plazo.

Existe un convencimiento generalizado en relación con la necesidad técnica de realizar la recarga de grava cuando el espesor del afirmado haya disminuido hasta alcanzar 75 mm. Ello no implica, por supuesto, que no se pueda optar por la recarga cuando el espesor remanente sea mayor. En lo que sí no hay coincidencia y, por lo tanto, la situación se debe resolver en cada caso, es en la rapidez con la cual el afirmado pierde la grava a causa del tránsito, de la acción ambiental y de las operaciones rutinarias de perfilado ligero.

La guía de diseño de pavimentos de la AASHTO de 1993 (7.25) presenta tres ecuaciones empíricas para predecir la pérdida de grava, dependiendo de las condiciones regionales (lluvias), las condiciones propias de la vía (radio promedio de las curvas, pendiente, tipo de material de afirmado), las condiciones de uso (tránsito) y las características del mantenimiento rutinario (perfilado ligero). La AASHTO reconoce, sin embargo, que la aplicación de sus fórmulas presenta varios inconvenientes, motivo por el cual recomienda hacer uso de información local sobre pérdida de grava para el establecimiento de una política apropiada de conservación de los afirmados. Del mismo tenor es la ecuación propuesta en el modelo HDM, la cual es el resultado de correlaciones bastante complejas y cuya constitución parece, inclusive, repelente y sofisticada. Algunas leyes más elementales, obtenidas como resultado de estudios realizados en áreas tropicales, principalmente en África, resultan de mayor simpleza y facilidad de aplicación en el medio colombiano. Como resultado de un trabajo de investigación adelantado en Etiopía, el TRL de la Gran Bretaña estableció que las pérdidas anuales de grava por cada 100 vehículos diarios circulando sobre un afirmado se podían relacionar con las zonas definidas en la Figura 7-41, como se muestra en la Tabla 7-8 (7.26).

Tabla 7-8 Pérdida típica de grava (7.26)

| Zona de la figura 7.41 | Calidad del material | Pérdida típica de grava por cada 100 vehículos diarios (mm/año) ^{1, 2, 3} |
|------------------------|----------------------|--|
| A | Satisfactoria | 20 |
| B | Pobre | 45 |
| C | Pobre | 45 |
| D | Marginal | 30 |
| E | Buena | 10 |

¹ Las pérdidas de grava aumentan significativamente en tramos con pendiente longitudinal mayor de 6 % y en áreas de precipitación intensa. En tramos en rampa el aumento puede ser hasta de 50 %, dependiendo del valor de la pendiente y de la calidad del material.

² Las ratas de pérdida de grava de esta tabla se pueden usar como guía para la planeación de las operaciones de recarga; sin embargo, una indicación más precisa de la pérdida para una sección específica de carretera se debe obtener a partir de medidas periódicas del espesor del afirmado.

³ Estas pérdidas sólo son confiables durante la primera fase del ciclo de deterioro del afirmado, posiblemente 2 o 3 años. Posteriormente, a medida que el afirmado pierde espesor, se van produciendo otros deterioros, como baches y ahuellamientos, que también inciden sobre la velocidad de pérdida de material.

Como resultado de los estudios para la aplicación del método VIZIRET, el LCPC francés propuso la ley de pérdida de grava que muestran las Tablas 7-9 y 7-10 (7.27).

Tabla 7-9 Pérdida anual de grava en terreno plano en función del tránsito (7.27)

| Tránsito (vehículos/día) | Pérdidas en sitio plano y de baja precipitación (mm/año) |
|--------------------------|--|
| 0 – 50 | 15 |
| 50 – 100 | 20 |
| 100 – 200 | 25 |
| 200 – 400 | 30 |
| > 400 | 35 |

Tabla 7-10 Correcciones por aplicar a las pérdidas de la Tabla 7.9 de acuerdo con la pluviometría y el tipo de terreno (7.27)

| Corrección (%) | Precipitación (mm/año) | Tipo de terreno ¹ |
|----------------|------------------------|------------------------------|
| 0 | < 1250 | Plano |
| + 10 | 1250 – 1500 | Ondulado |
| + 20 | 1500 – 2500 | Montañoso |
| + 30 | > 2500 | Escarpado |

¹ Los tipos de terreno están definidos en el numeral 1.2.2 del manual de diseño geométrico de carreteras del Instituto

Una de las causas de la amplia discrepancia en las cifras que se presentan en relación con las pérdidas de grava en las carreteras en afirmado, es la manera tan simple como se acostumbra expresar la intensidad del tránsito circulante en estas vías. El término “vehículos por día” puede englobar bajo un mismo número una acción agresiva muy diferente. 100 vehículos diarios en un país industrializado pueden corresponder a unas 50.000 toneladas por año, de las cuales solo unos pocos miles se transportan en vehículos con peso mayor de

5 toneladas, mientras que en un país emergente pueden representar más de 150.000 toneladas, muchas de ellas transportadas por vehículos de más de 10 toneladas (7.28). Por ello, las cifras que brindan más confianza son aquellas obtenidas en ambientes similares a los de las carreteras que son objeto del análisis.

La recarga de grava en afirmados se incluye como Actividad 1322 en las especificaciones de mantenimiento incluidas en este manual.

7.6.3. Otras alternativas para el mantenimiento de las vías afirmadas

Debido a que las lluvias y las altas pendientes hacen que las calzadas no pavimentadas sufran un deterioro muy rápido, las inversiones en mantenimiento se pueden perder en un lapso tan corto, que las comunidades no llegan a disfrutar los beneficios del mejoramiento en las condiciones de movilidad. Si bien la reposición de material granular y el mantenimiento frecuente a base de reperfilados del afirmado permiten una conectividad razonable, la ejecución de estos tratamientos no es siempre oportuna, por lo que se suelen presentar problemas como los siguientes:

- El tránsito no es confortable, debido a la presencia frecuente de deterioros
- El polvo en suspensión disminuye la visibilidad, con los consiguientes problemas de seguridad vial
- Para los habitantes aledaños a las vías, el polvo generado por el paso de los vehículos genera problemas de salud y de calidad de vida.
- En temporada de lluvias se producen lodazales que provocan dificultades y colapsos en el flujo de tránsito
- La extracción continua de agregados para reponer la capa de rodadura suscita problemas en relación el medio ambiente

Debido a estas dificultades, en los años recientes se han adelantado estudios para establecer las condiciones técnicas, sociales, ambientales y económicas que hagan realmente factible la construcción y el mantenimiento de los afirmados. En la referencia 7.26 se describe un procedimiento llamado “*Surfacing Decision Management System*” (SDMS), el cual valora la conveniencia de un afirmado como opción de superficie de rodadura en una vía rural. De acuerdo con este procedimiento, para que el afirmado constituya una alternativa efectiva no se requiere solamente que existan materiales apropiados para su construcción y mantenimiento a una distancia razonable y que la política ambiental permita su utilización sino, además, que la precipitación anual sea menor a 1500 mm, que las pendientes longitudinales de la vía sean inferiores a 6 %, que el tránsito diario no exceda de 200 vehículos y que las posibilidades de inundación sean muy bajas. Cumplidas estas condiciones, se debe verificar la existencia real de fondos para realizar los

trabajos de mantenimiento rutinario y periódico necesarios y disponer de la garantía de que se adelantará un control de calidad adecuado a estos trabajos.

La insatisfacción de alguno de los requisitos recién mencionados no implica necesariamente que la opción del afirmado se deba descartar de plano (salvo que se den determinadas combinaciones muy adversas de los factores objeto de análisis), pero sí obliga al ingeniero a estudiar otras alternativas que puedan presentar mayor viabilidad desde los puntos de vista técnico, social y ambiental, y den lugar a menores costos durante el ciclo de vida del proyecto. Entre estas alternativas se puede considerar la adición periódica de algún producto estabilizador (contemplada en la Actividad 1323 de las especificaciones que forman parte de este manual) y la aplicación de una capa asfáltica de protección de bajo costo.

7.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1 Ministerio de Fomento, *“Rehabilitación de firmes. Instrucción de carreteras 6.3 IC”*, Madrid, 2003

7.2 Dale S. Decker, *“Best practices for crack treatments for asphalt pavements”*, NCHRP Report 784, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2014

7.3 J. Filice, *“Study of crack sealant products (routing and sealing)”*, ABRT/RD/TM-05/02, Alberta Transportation, Edmonton, Alberta, Canada, 2003

7.4 Instituto Nacional de Vías, *“Especificaciones generales de construcción de carreteras”*, www.invias.gov.co, Bogotá D. C., 2013

7.5 Y. Yildirim, A. Qatan, J. Prozzi, *“Field manual for crack sealing in asphalt pavements”*, Research Project 0-4061-P3, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, 2006

7.6 Caltrans, *“Crack treatment. Chapter 4”*, Maintenance Technical Advisory Guide, California Department of Transportation, Sacramento, California, 2009

7.7 Caltrans, *“Maintenance technical advisory guide. Volume I. Flexible pavement preservation”*, Second Edition, Sacramento, California. March 7, 2008

7.8 T.P. Wilson, A.R. Romine, *“Materials and procedures for repair of potholes in asphalt surfaced pavements - Manual of practice”*, Report No. FHWA-RD-99-168, ERES Consultants, A Division of Applied Research Associates, Inc., 505 W. University Avenue Champaign, IL, June 1999

7.9 Instituto Nacional de Vías, *“Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras”*, www.invias.gov.co, Bogotá D. C., 2008

7.10 CIESM, *“Técnicas especiales y nuevas tendencias en la tecnología en frío”*, Madrid, España, s/f

7.11 Bruce Uhlman, Jim Andrews, Arliskadmas, Luke Egan, Tim Harrawood, *“Micro surfacing eco-efficiency analysis. Final report”*, NSF, BASF Corporation, 2010

7.12 David E. Newcomb, *“Thin asphalt overlays for pavement preservation”*, National Asphalt Pavement Association, Information Series 135, Lanham MD, 2009

7.13 Bryan Wilson, Tom Scullion, Cindy Estakhri, *“Design and construction recommendations for thin overlays in Texas”*, Report No. FHWA/TX-13/0-6615-1, Texas A&M Transportation Institute College Station, Texas 77843-3135, September 2013

7.14 Asphalt Recycling And Reclaiming Association – ARRA, *“Basic asphalt recycling manual”*, 2001

7.15 Instituto del Cemento Portland Argentino, *“Manual de diseño y construcción de pavimentos de hormigón”*, Buenos Aires, 2014

7.16 Caltrans, *“Maintenance technical advisory guide. Volume II. Rigid pavement preservation”*, Second edition, Sacramento, California. March 7, 2008

7.17 Minnesota Department of Transportation (MnDOT), *“State aid. Concrete pavement rehabilitation best practices manual”*, Manual Number 2006-31. Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, 2006

7.18 American Concrete Pavement Association, *“Guidelines for full-depth repair”*, TB002P, Skokie, IL, 1995

7.19 American Concrete Pavement Association (ACPA), *Concrete pavement field reference—Preservation and repair*, EB239P, American Concrete Pavement Association, Skokie, IL, 2006

7.20 Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Ingeroute, *“Carreteras destapadas”*, Bogotá, 1982

7.21 Alan L. Gesford, John A. Anderson, *“Environmentally sensitive maintenance for dirt and gravel roads”*, Report No. USEPA-PA-2005, Pennsylvania Department of Transportation, Harrisburg, PA, February 2006

7.22 Banco Mundial, *“El deterioro de los caminos en países en desarrollo”*, Washington D. C., 1988

7.23 Transport and Road Research Laboratory, *“Técnicas de mantenimiento para ingenieros de distrito”*, Nota para carreteras en ultramar 2, Crowthorne, Berkshire, United Kingdom, 1981

7.24 D. Jones, P. Paige-Green, *“The development of performance related material specifications and the role of dust palliative in the upgrading of unpaved roads”*, Proceedings of the Roads 96 Conference, ARRB Transport Research, Christchurch, 1996

7.25 AASHTO, *“AASHTO guide for design of pavement structures”*, Washington D. C., 1993

7.26 Ethiopian Roads Authority, *“Design manual for low volume roads”*, Part B, Design standards for low volume roads, Final draft, April 2011

7.27 Paul Autret, Jean-Louis Brousse, *“VIZIRET. Qualification et quantification des dégradations d’une roue non revêtue pour la programmation et le suivi des travaux d’entretien”*, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées No. 213, Paris, Janvier-Février 1998

7.28 Fernando Sánchez Sabogal, *“Diseño de soluciones para el mantenimiento de carreteras en afirmado”*, XII Congreso argentino de vialidad y tránsito, Tomo II, Buenos Aires, 29 de septiembre al 3 de octubre de 1997

7.29 Service d’Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, SETRA, *“Road drainage. Technical guide”*, March 2006, Translate August 2007

APÉNDICE A. INCIDENCIA DE LA CONDICIONES GENERALES DEL DRENAJE SOBRE EL COMPORTAMIENTO Y LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS (7.29)

Para que un juicio sobre la condición de un pavimento tenga el mayor grado de objetividad, el ingeniero debe identificar si existe alguna relación entre las deficiencias que presenten los sistemas de drenaje y los deterioros que presenta el pavimento. Este análisis es particularmente importante cuando estos últimos le dan al pavimento un índice de deterioro superficial alto ($I_s = 5, 6$ o 7 en el caso de los pavimentos asfálticos o un PCI inferior a 40 en los pavimentos rígidos).

La corrección de las debilidades del drenaje será siempre prioritaria en cualquier programa de mantenimiento. El ingeniero deberá tener en cuenta que las mejoras que se realicen en este sentido, en especial las referentes al drenaje interno, se traducen en disminuciones de humedad en las capas inferiores del pavimento y la subrasante y, consecuentemente, en aumentos de la capacidad portante de ellas, los cuales deberán ser tenidos en cuenta en el instante de elegir la estrategia de mantenimiento.

La habilidad para detectar dónde existen o se pueden presentar problemas por humedad excesiva y cuáles son los materiales del pavimento susceptibles de mayor afectación por el agua, ayudará al ingeniero en la evaluación global del drenaje del pavimento y en el posterior proceso de selección de las técnicas de mantenimiento más adecuadas.

Un procedimiento idóneo para la inspección y el análisis de la condición general del drenaje en una carretera es el recomendado por el SETRA (7.29), de acuerdo con el cual se deben considerar seis (6) parámetros para valorar el peligro de que los deterioros causados en el pavimento a causa del agua evolucionen con rapidez. Cada uno de ellos se debe calificar con uno de tres (3) posibles niveles de riesgo (0, 1 y 2), de acuerdo con la propensión al daño por efecto del agua en cada sección de 100 metros que se evalúe, según la descripción que se presenta en seguida.

Parámetro 1 - Impermeabilidad del revestimiento (R):

R=0, pavimentos con rodadura en mezcla asfáltica densa en buenas condiciones o de concreto sin grietas y con las juntas debidamente selladas.

R=1, pavimentos con rodadura en mezcla asfáltica algo porosa o segregada, o constituida por un tratamiento superficial o lechada asfáltica en buenas condiciones. Pavimento rígido con grietas de severidad media y deficiencia en el sello de las juntas.

R= 2, pavimento con superficie porosa ($k > 10^{-5}$ cm/s) o con fisuras sin sellar. Pavimento rígido muy agrietado, con síntomas de bombeo y/o desportilladuras severas.

Figura C7A-1 Pavimento asfáltico con superficie en buenas condiciones (R = 0)



Figura C7A-2 Pavimento rígido con superficie en buenas condiciones (R = 0)



Parámetro 2 - Drenaje superficial (A):

A=0, drenaje superficial eficiente y bien mantenido (zanjas, cunetas y canales laterales en buenas condiciones, bermas impermeabilizadas en buen estado); contexto topográfico propicio (por ejemplo, rasante más de un metro (1.0 m) por encima del terreno natural en trayectos en terraplén); los perfiles longitudinal y transversal facilitan la adecuada evacuación del agua proveniente de la calzada.

A=1, drenaje superficial falto de efectividad; vegetación en las cunetas; bermas permeables con vegetación; retenciones de agua en el borde del pavimento; carretera a media ladera o con sucesión de cortes y rellenos.

A=2, drenaje superficial totalmente ineficiente; cunetas en mala condición o inexistentes; bermas deterioradas que retienen el agua de escorrentía; carretera al nivel del terreno en zonas planas; el flujo del agua en las cunetas y otras estructuras de drenaje superficial es mediocre.

Figura C7A-3 Drenaje superficial ineficiente (A = 2)



Parámetro 3 - Ambiente hidrogeológico del pavimento (H)

H=0, el nivel freático se encuentra a más de 5 metros de profundidad; el pavimento no intercepta corrientes de agua de resurgencia temporal o permanente.

H=1, suministro potencial de agua subterránea proveniente de captaciones laterales.

H=2, zonas de perfil transversal mixto con corrientes provenientes de aguas arriba; zonas de transición corte-relleno; infiltraciones potentes, provenientes de captaciones laterales; variaciones en el nivel freático que afectan la subrasante.

Figura C7A-4 Afloramiento excesivo de agua (H = 2)



Parámetro 4 – Drenaje subsuperficial (D):

D=0, existen subdrenes longitudinales en buenas condiciones en los lugares en los cuales son necesarios y evacúan adecuadamente el agua interna proveniente de las zonas laterales y del pavimento.

D=1, existe el sistema de subdrenaje y está adecuadamente instalado, pero no es suficientemente efectivo por falta de mantenimiento.

D=2, aunque se requiere, no hay sistema de subdrenaje, o, si existe, se encuentra mal ubicado o no funciona.

Figura C7A-5 Depresiones y deformaciones del pavimento por ausencia de dispositivos de drenaje interno (D =2)



Parámetro 5 - Sensibilidad de la subrasante al agua (S):

S=0, suelo insensible al agua o subrasante tratada

S=1, suelo que puede ser sensible al agua, pero que no presenta evidencias de ello

S=2, suelos evidentemente sensibles a la humedad

Figura C7A-6 Pavimento sobre un suelo de subrasante expansivo (S = 2)



Parámetro 6 - Sensibilidad al agua de las capas inferiores del pavimento (M):

M=0, capas de base de concreto asfáltico o estabilizadas con productos bituminosos

M=1, capas de base estabilizadas con productos hidráulicos

M=2, bases granulares

Calificación de la información sobre el drenaje

Para los fines del mantenimiento de los pavimentos de la red vial nacional, la evaluación global del drenaje tiene como finalidad valorar el peligro de que los deterioros causados por el agua puedan evolucionar con rapidez.

La calificación del riesgo hídrico de cada sección de 100 metros se obtiene mediante la suma de las calificaciones de los seis (6) parámetros, R+A+H+D+S+M, obtenidas según el procedimiento recién descrito. Secciones consecutivas con la misma calificación se pueden combinar. Esta calificación total indica el riesgo de la existencia de una combinación de factores desfavorables y tiene por objeto brindar una evaluación del tramo de carretera en relación con el drenaje, independientemente del estado global

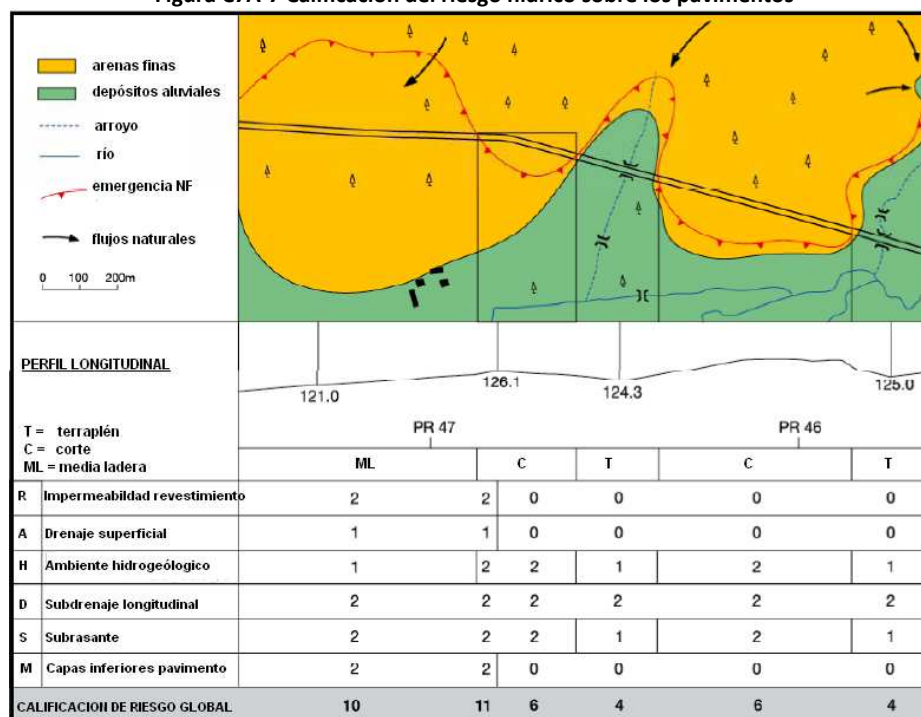
del pavimento (figura C7A-7). La calificación global varía entre 0 y 12, de acuerdo con la siguiente escala de riesgo que muestra la tabla C7A-1.

Tabla C7A-1 Riesgo asociado con la calificación global del drenaje

| Calificación global | Riesgo |
|---------------------|--|
| 0 – 3 | No hay riesgo. Las condiciones no son propicias para que se presente daño en la estructura del pavimento por causa del agua |
| 4 – 7 | Riesgo bajo. Existen condiciones que pueden generar daño en la estructura por efectos del agua |
| 8 – 12 | Riesgo alto. Las condiciones prevalecientes son determinantes para causar la rápida degradación de la estructura por presencia de agua |

Bajo este criterio, se estima que requieren intervenciones para mejorar el drenaje las zonas donde una calificación de alto riesgo (entre 8 y 12) coincida con evidencias de debilidad estructural según el inventario de deterioros y la evaluación estructural (por ejemplo: ahuellamientos por causas estructurales, agrietamientos del tipo piel de cocodrilo, deflexiones elevadas, etc.). Siempre que se produzca esta convergencia significa que los deterioros se deben al agua o que son agravados por ella y, en consecuencia, se justifica plenamente darle prelación a las intervenciones sobre el drenaje. Si la convergencia no se produce, se considera que los deterioros obedecen a otra causa (estructura subdiseñada para el tránsito circulante, cumplimiento de la vida útil, deficiencias en los materiales o en los procesos constructivos, etc.).

Figura C7A-7 Calificación del riesgo hídrico sobre los pavimentos



GLOSARIO

El propósito del glosario es definir algunos de los términos empleados en el manual. Ante la imposibilidad de incluirlos todos, y teniendo en cuenta que muchos de ellos se encuentran definidos dentro del texto y, además, que los usuarios del documento son profesionales de la ingeniería vial que están al tanto de la terminología empleada en los demás manuales técnicos y en las especificaciones de construcción y normas de ensayo de materiales para carreteras del Instituto, se han incorporado solamente aquellos que se consideran de mayor relevancia en relación con la finalidad del manual. Las definiciones de los deterioros que se presentan en los pavimentos asfálticos, rígidos, de adoquines de concreto y en los afirmados, se encuentran en los Anexos 1 a 4, acompañadas de fotografías ilustrativas.

Actividades de mantenimiento periódico: Acciones que se requieren ocasionalmente o con una periodicidad superior a un año en una carretera y sus elementos conexos y que, en cierta medida, se pueden programar con antelación, debido a que son determinadas principalmente por el tránsito y las condiciones meteorológicas.

Actividades de mantenimiento rutinario: Actividades destinadas a reparar o reponer situaciones de deterioro que se producen en la carretera y en sus elementos conexos a lo largo del año que, en cierta medida, son independientes de la intensidad del tránsito y de las condiciones meteorológicas.

Administración del mantenimiento: Coordinación, dirección y control de una serie de actividades destinadas a mantener las carreteras, asegurando la mejor utilización de los recursos disponibles.

Adoquines de concreto: Elementos prefabricados, de forma prismática, de tamaño reducido, que se utiliza como material para construcción de capas de rodadura de pavimentos. Generalmente el área superficial de cada unidad es menor de 650 cm² y su relación longitud/espesor es menor de 4.

Afirmado: Capa de rodadura de grava, con una cantidad apropiada de material fino cohesivo que permite mantener aglutinadas las partículas gruesas.

Agencia vial: Organismo público encargado de la ejecución de la política del gobierno en materia de infraestructura de transporte terrestre automotor. Según el nivel de gobierno que representa, puede ser de competencia nacional, regional o local.

Alcantarilla: Ducto de sección generalmente circular, rectangular o abovedada, que forma parte del sistema de drenaje superficial de una carretera y que permite el paso de una corriente de agua superficial de un lado al otro de ella.

Aletas: Estructuras en concreto, adjuntas a los estribos, que deben conformar y soportar el terraplén de acceso en el puente.

Aserrado: Operación de corte de juntas de un pavimento rígido mediante el empleo de máquinas con discos cortadores.

Asfalto: Material ligante, de color oscuro, cuya consistencia decrece notablemente al ser calentado, constituido predominantemente por betunes, que aparece en la naturaleza o se obtiene por la destilación de crudos de petróleo.

Asfalto caucho: Ligante elaborado mediante la mezcla de un cemento asfáltico convencional con polvo de neumáticos reciclados

Asfalto modificado: Asfalto cuyas propiedades reológicas han sido modificadas por la adición de un agente como caucho natural, polímeros sintéticos y determinados compuestos órgano-metálicos.

Bacheo: Reparación localizada de un pavimento asfáltico, consistente en la excavación y remoción de los materiales inadecuados, incluidos los de capas inferiores del pavimento, y su reemplazo por otros de calidad satisfactoria, debidamente compactados.

Bajante. Elemento de drenaje superficial que capta el agua encauzada por un bordillo o por una cuneta y la conduce a un lugar donde no afecte la carretera.

Banca: Distancia horizontal, medida normalmente al eje, entre los extremos exteriores de las cunetas o los bordes laterales.

Bandas alertadoras longitudinales: Patrones de discontinuidades, generalmente elaboradas mediante fresado en las bermas pavimentadas, cuya finalidad es alertar al conductor cuando el vehículo se sale de la calzada.

Banderero: Trabajador que otorga el derecho de paso alternado en una carretera utilizando la paleta portátil PARE / SIGA. En el más reciente manual de señalización vial del Ministerio de Transporte se denomina auxiliar de tránsito.

Baranda: Elemento de seguridad vial que protege el paso de peatones y vehículos.

Barra de unión o de amarre: Barra de hierro, generalmente corrugada, que se coloca en las juntas longitudinales de pavimentos rígidos para mantener unidas las losas de carriles contiguos.

Berma: Franja longitudinal, paralela y adyacente a la calzada, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para maniobras de emergencia y para la detención de vehículos con averías.

Bordillo. Elemento de concreto, mezcla asfáltica, piedra u otro material, 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. También se utiliza en puentes para advertir al usuario y como defensa de la estructura contra los impactos que puede originar un vehículo.

Bóveda: Techo de un túnel.

Caja: 1. Excavación de bordes rectos que se realiza en áreas deterioradas de un pavimento para su posterior reparación. **2.** Ranura que se hace mediante aserrado secundario en la parte superior de la junta de un pavimento rígido, para alojar en ella el cordón de respaldo y el material sellante.

Calzada: Superficie acondicionada de la carretera para la circulación vehicular. En vías de dos carriles de circulación para ambos sentidos, la calzada está constituida por el ancho de los dos carriles, mientras que en vías de carriles múltiples con separador central, cada calzada está determinada por el número de carriles de tránsito en cada sentido.

Canal: Zanja construida para recibir y encauzar cantidades medianas o pequeñas de agua provenientes del terreno natural o de otras obras de drenaje.

Capa de nivelación: Capa de espesor variable que se coloca sobre la superficie existente de un pavimento asfáltico para asegurar un perfil uniforme que permita la colocación de una nueva capa de espesor constante.

Cárcava: Zanja producida por la erosión del suelo, que sigue generalmente la pendiente máxima del terreno y que constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias.

Carretera: Infraestructura suburbana o rural de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos terrestres automotores en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación y uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

Carril: Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos de cuatro o más ruedas.

Cemento asfáltico: Asfalto refinado, de consistencia semisólida a temperatura ambiente, con una penetración a 25 °C entre 10 y 300 décimas de milímetro, elaborado para satisfacer las especificaciones establecidas para utilizarlo como material de pavimentación.

Cepillado. Raspado superficial de un pavimento para producir macrotextura y reducir sus irregularidades. Esta técnica se conoce también como microfresado.

Concreteira: Máquina portátil, provista de un tambor giratorio, adecuada para la elaboración de mezclas de concreto en volumen reducido.

Concreto: Mezcla íntima de agregado grueso, agregado fino y cemento hidráulico, que forman con el agua una estructura monolítica, después de ser sometida a un proceso adecuado de elaboración, colocación y curado.

Cordón de respaldo: Cordón espumoso que se inserta en la caja de una junta de un pavimento rígido, el cual se usa para dar forma al sellante líquido y prevenir que éste fluya hacia el fondo de la junta.

Corona: Es la superficie visible de una carretera, formada por su(s) calzada(s), bermas y sobre anchos, así como el separador central o mediana, en caso de que este último forme parte de la sección transversal típica.

Cosido cruzado: Técnica empleada para mantener la transferencia de carga por trabazón de agregados entre dos piezas separadas de una losa de concreto. Consiste en la inserción de varillas corrugadas en perforaciones que se realizan en el concreto existente con una inclinación aproximada de 35° respecto de la horizontal, de manera de cruzar la grieta en la mitad del espesor de la losa, y el posterior relleno de la perforación con un material de rápida ganancia de resistencia, de forma que se produzca el anclaje de las dos piezas vecinas.

Cunetas: Canales abiertos, revestidos o no, y de dimensiones reducidas, construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes, a fin de proteger la estructura del pavimento. Su geometría varía según las condiciones de la vía y del área que drenan.

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

Delineadores: Dispositivos utilizados para entregar a los conductores información adicional sobre el alineamiento de la vía, especialmente en zona de curvas y en carreteras de alta velocidad de operación.

Demarcación: Conjunto de líneas, flechas, símbolos y letras que se aplican o adhieren sobre el pavimento, bordillos y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, con el fin de regular, advertir e informar a los usuarios y canalizar el tránsito.

Derecho de vía: Faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva. A esta zona no se le puede dar uso privado.

Derrumbe: Desprendimiento y precipitación de masas de tierra, piedras y fragmentos de roca, que obstaculiza el libre tránsito de vehículos por la carretera y afecta la seguridad de los usuarios.

Despedrado: Acción de eliminar toda piedra, roca o material suelto ubicado en un talud de corte que presente signos de inestabilidad, con el fin de prevenir la caída de dichos elementos sobre las cunetas, las bermas o la superficie de rodadura.

Desvío: Vía provisional que se aparta del trazado normal o permanente, que generalmente retorna a este último por un recorrido más largo.

Dispositivos de control de tránsito: Señales, marcas, semáforos y dispositivos auxiliares que tienen la función de facilitar al conductor la observancia de las reglas que gobiernan la circulación vehicular, tanto en carreteras como en las calles de una ciudad.

Dren: Orificio en el tablero de un puente, con o sin tubo de extensión, que sirve para evacuar el agua de escorrentía.

Efecto ambiental: Alteración que produce el proyecto de mantenimiento en el ambiente.

Elevación de losa (gateo): Inyección de una lechada consistente de cemento o alguna formulación patentada de poliuretano, tanto para rellenar vacíos localizados bajo una losa de un pavimento rígido, como para levantarla hasta recuperar su perfil original.

Emergencia: Daño imprevisto que experimenta la carretera por causa de las fuerzas de la naturaleza o de la intervención humana, y que obstaculiza o impide la circulación de los usuarios de la vía.

Emulsión asfáltica: Dispersión de pequeños glóbulos de cemento asfáltico en agua, en presencia de un producto reductor de la tensión interfacial llamado emulsificante, cuya carga eléctrica define el tipo y nombre de la emulsión. Si es positiva, la emulsión se llama catiónica, y si es negativa se llama aniónica.

Estabilización de losa: Inyección de una lechada consistente de cemento o alguna formulación patentada de poliuretano para rellenar vacíos localizados bajo las esquinas de una losa de un pavimento rígido, con el fin de reducir las deflexiones en ella reduciendo los esfuerzos y previniendo de esta manera la generación de escalonamientos y roturas de esquina.

Estribos: Apoyos que soportan la superestructura del puente en los extremos que, además, tienen las funciones de conformar, conjuntamente con las aletas, el terraplén de acceso y de soportar los empujes horizontales producidos por el suelo de relleno

Explanación: Conjunto de las excavaciones y rellenos que requiere la construcción de una carretera hasta alcanzar el nivel final de la subrasante. También se conoce como obra básica.

Explanada: Superficie de la capa subrasante conformada y compactada, que se extiende hasta los pies de los taludes de excavación, si los hubiere.

Factor de forma: Relación entre la profundidad y el ancho de un sellante líquido vertido en la caja de una junta de un pavimento rígido.

Fresado: Molienda parcial o total de la capa superior de un pavimento que permite recuperar el material molido y, además, reconfigurar la superficie con las rasantes y pendientes transversales deseadas, removiendo ondulaciones, baches y otras imperfecciones de la capa de rodadura y dejando una superficie de textura resistente al deslizamiento.

Gálibo: Altura libre que permite un puente, la parte superior de un túnel, o una estructura cualquiera que cruza encima de la plataforma vial, para el paso del tránsito.

Hastiales: Paredes de los túneles.

HDM: Modelo de normas de administración, diseño y mantenimiento de carreteras, elaborado por el Banco Mundial para ayudar al desarrollo de estrategias y a la optimización de presupuestos para el mantenimiento vial a nivel de proyecto o de red. La sigla suele ir acompañada de un número que identifica la versión del modelo.

Hidroplaneo: Pérdida de contacto con el pavimento de uno o más neumáticos de un vehículo en movimiento, por la presencia de una lámina de agua sobre la superficie de aquél.

Imprimación: Aplicación de un material asfáltico de baja viscosidad sobre una base granular, con el fin de saturar de asfalto la superficie de la capa llenando sus vacíos superiores y aglutinando las partículas minerales, a la vez que favoreciendo la adherencia entre ella y el tratamiento o capa asfáltica que se coloque posteriormente.

Índice de condición del pavimento. Valor numérico que refleja el efecto combinado de diversos tipos de deterioros, su gravedad y su extensión, sobre la condición general del pavimento. Varía entre 0 y 100, siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor.

Inserto compresible. Material compresible usado para separar el concreto recién colocado del concreto existente endurecido en las reparaciones localizadas de losas de pavimentos rígidos.

Junta: Discontinuidad que se dispone intencionalmente en estructuras rígidas con el fin de evitar el agrietamiento espontáneo de éstas.

Junta de contracción: Junta que se dispone para limitar las dimensiones de las losas con objeto de disminuir, hasta valores admisibles, las tensiones producidas tanto por los fenómenos de retracción como por los gradientes térmicos, de forma que no se produzcan fisuras por ello.

Junta de dilatación: 1. Junta que se prevé para absorber las expansiones provocadas por los aumentos de temperatura, evitando empujes indeseables que podrían producir la rotura de un pavimento rígido. 2. Discontinuidad que se crea para permitir los movimientos relativos (desplazamientos y rotaciones) entre dos de las partes de un puente.

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.

Macrotextura: Irregularidades de la superficie de un pavimento con dimensiones horizontales comprendidas entre 0.5 mm y 50 mm y verticales entre 0.2 mm y 10 mm. La macrotextura está ligada al tamaño de las partículas de los agregados y a la formulación y puesta en obra de la mezcla asfáltica o tratamiento superficial, o del texturizado de la superficie en el caso de un pavimento rígido. Sus longitudes de onda tienen el mismo orden de magnitud de los labrados del neumático en la interfaz neumático-pavimento. La macrotextura es necesaria para que el pavimento brinde una adecuada resistencia al deslizamiento a alta velocidad.

Mantenimiento: Conjunto de actividades destinadas a preservar la condición de una carretera y de sus componentes, tales como el derecho de vía, calzadas, bermas, elementos de drenaje, estructuras, túneles, dispositivos de seguridad y control de tránsito, etc., con el fin de que sigan prestando de manera efectiva el servicio para el cual fueron construidos o dispuestos.

Marcas viales: Elementos señalizadores colocados o pintados sobre el pavimento o en elementos adyacentes al mismo, consistentes en líneas, dibujos, colores, palabras o símbolos para indicar, advertir o guiar el tránsito.

Mezcla asfáltica: Material formado por una combinación de agregados pétreos y un producto asfáltico, de manera 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.

Mezcla asfáltica drenante: Mezcla asfáltica de granulometría abierta que se emplea como capa de rodadura, con el fin de que el agua lluvia que caiga sobre la calzada se evacúe rápidamente por infiltración.

Microaglomerado en caliente: Capa de rodadura de poco espesor, elaborada en caliente con un agregado cuya granulometría presenta una marcada discontinuidad entre los tamices de 2.00 mm y 4.75 mm de abertura, mezclado con un cemento asfáltico modificado con polímeros o con asfalto-caucho y, eventualmente, con la incorporación de fibras naturales o artificiales.

Microaglomerado en frío: Lechada asfáltica elaborada con una emulsión de asfalto modificado con polímeros y un agregado pétreo de tamaño máximo ligeramente mayor al empleado usualmente para la fabricación de la lechada convencional.

Microtextura: Irregularidades superficiales de un pavimento con dimensiones horizontales comprendidas entre 0 mm y 0.5 mm y verticales entre 0 mm y 0.2 mm. Es función de las características superficiales de las partículas del agregado que sobresalen del pavimento y su existencia es necesaria para asegurar una buena resistencia al deslizamiento a velocidades de circulación vehicular medias y bajas.

Neumático: Pieza fabricada con un compuesto basado en el caucho, que se coloca en la rueda de un vehículo para conferirle adherencia, estabilidad y confort. Constituye el único punto de contacto del vehículo con el pavimento.

Nivel de gravedad: Nivel en que se encuentra el proceso de falla de un elemento que forma parte de la carretera y que guarda relación con la urgencia con que se debe intervenir para subsanarlo.

Nivel freático: Profundidad dentro del suelo a la cual el agua intersticial se encuentra a la presión atmosférica.

Obras de drenaje: Conjunto de elementos cuya finalidad es controlar y/o reducir el efecto nocivo de las aguas superficiales y subterráneas sobre la vía. Entre ellas se pueden mencionar: alcantarillas, cunetas, subdrenes, zanjas de coronación y otras obras de encauzamiento de agua.

Parcheo: Reparación localizada de la capa superior de un pavimento asfáltico.

Pasador: Barra de hierro liso que se coloca en una junta transversal de un pavimento rígido para transferir carga de una losa a la siguiente.

Patrimonio vial: Conjunto de carreteras, incluidas sus obras complementarias, que con su respectivo derecho de vía conforman la red de uso y dominio público a cargo de una agencia vial.

Pavimento: Estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante con el objeto de soportar las cargas del tránsito durante un período de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura.

Pavimento asfáltico: Tipo de pavimento constituido por una o varias capas asfálticas apoyadas sobre capas de material no ligado o ligado.

Pavimento de adoquines de concreto: Pavimento cuya capa de rodadura está constituida por adoquines prefabricados de concreto hidráulico, dispuestos en un patrón entrelazado, cuyas juntas se llenan con arena. Los adoquines se colocan sobre una capa de arena que, a su vez, se encuentra sobre una capa de agregado natural o ligado con algún producto estabilizante.

Pavimento rígido: Pavimento que está constituido fundamentalmente por losas de concreto hidráulico, apoyadas sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado llamada subbase.

Planos: Dibujos esenciales para la ejecución de una obra, en los cuales se presentan gráficamente la ubicación, la forma, las dimensiones y los detalles de la misma.

Puente: Estructura de drenaje de una o varias luces, incluyendo sus apoyos, erigida sobre una obstrucción (agua principalmente) en una vía apta para el tránsito de vehículos y/o peatones u otras cargas móviles y cuya luz principal, medida paralelamente al eje de la vía, es mayor de diez metros (10 m).

Puente de adherencia: compuesto epóxico que brindan una adhesión superior a la resistencia propia del concreto, asegurando la continuidad entre el concreto existente y el nuevo que se coloca para la reparación de una estructura.

Ranurado: Operación que consiste en la ejecución de ranuras en la superficie de un pavimento rígido mediante el empleo de una máquina provista de discos diamantados que giran a gran velocidad rebajando sucesivamente pequeños espesores, hasta obtener la profundidad deseada.

Rasante: Línea longitudinal que representa los niveles del centro de la superficie de rodadura a lo largo de la calzada.

Recarga de grava: Colocación de una capa de grava sobre una carretera no revestida, para reemplazar la que ha perdido por la acción del tránsito y del agua lluvia.

Reciclado: Procedimiento que consiste en la reutilización de materiales que forman parte de las obras viales, generalmente con la adición de materiales nuevos.

Reparación en espesor parcial: Reparación localizada de deterioros confinados al tercio superior de las losas de pavimentos rígidos.

Reparación en espesor total: Reparación de un pavimento rígido, que comprende la remoción y el reemplazo de una porción de losa en su espesor completo y en el ancho total de un carril.

Resistencia al deslizamiento: Capacidad de la superficie de un pavimento para resistir el deslizamiento o resbalamiento de los neumáticos de los vehículos, particularmente cuando está húmeda.

Restauración de la transferencia de carga: Colocación de pasadores a través de juntas y/o grietas transversales de un pavimento rígido, en cada huella de circulación vehicular.

Riego de rejuvenecimiento: Aplicación de una combinación de aceites rejuvenecedores o una mezcla de emulsión asfáltica con aceites de reciclado sobre la superficie de un pavimento asfáltico, con los que se busca ablandar el asfalto oxidado de la capa de rodadura, reduciendo así la velocidad de su envejecimiento y su oxidación.

Riego en negro: Aplicación ligera de una emulsión asfáltica diluida sobre la superficie de un pavimento asfáltico para restaurar su impermeabilidad.

Sello del Cabo: Aplicación de un tratamiento superficial simple sobre un pavimento existente, seguido por la aplicación de una lechada asfáltica.

Sello tipo niebla: Riego de un producto sobre la superficie de un pavimento asfáltico para mejorar la impermeabilidad de su superficie o para rejuvenecer una capa de rodadura envejecida debido a la oxidación del ligante.

Riego de liga: Aplicación delgada y uniforme de material asfáltico sobre un pavimento existente o una estructura de concreto, para asegurar la adherencia de una capa asfáltica que se colocará posteriormente.

Rocería: Actividad de mantenimiento rutinario encaminada a mantener baja la altura de la vegetación de las zonas laterales de la vía.

Rutear: Crear mecánicamente espacios uniformes en las grietas de un pavimento para facilitar la colocación de un material de sello.

Sección transversal: Sección obtenida al cortar la carretera por un plano vertical y normal a la proyección horizontal del eje longitudinal, en un punto cualquiera del mismo.

Sellante de juntas. Material termoplástico, termoendurecible o premoldeado, que se coloca en la parte superior de las juntas y grietas de un pavimento rígido u otras estructuras para asegurar la estanqueidad de ellas, evitando la entrada de agua y la penetración de materiales extraños dentro de las juntas o grietas.

Señal de tránsito: Dispositivo físico o marca vial que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías; se instala a nivel de la vía para transmitir órdenes o instrucciones mediante palabras o símbolos.

Señalización: Conjunto de señales destinado a regular el tránsito.

Señalización vertical: Conjunto de placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la carretera o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios.

Separador: Franja longitudinal no destinada a la circulación, distinta de una franja o línea pintada, colocada paralelamente al eje de la carretera para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales).

Silicona: Resina caracterizada por sus propiedades hidrófobas, en la cual la principal cadena polimérica está constituida por átomos alternados de sílice y oxígeno, con carbono en los grupos laterales. Se emplea, principalmente, en el sellado de juntas de pavimentos rígidos.

Sipucol: Sistema de administración de puentes de Colombia.

Sobrecapa asfáltica. Capa ligada con asfalto que se construye sobre un pavimento existente.

Sobrecapa asfáltica delgada. Sobrecapa asfáltica cuyo espesor no excede de 40 milímetros.

Socavación: Descenso que experimenta un lecho móvil respecto de su nivel natural, debido a un desbalance entre la capacidad erosiva de una corriente y el suministro de sedimentos.

Subdrén: Excavación en forma de zanja, rellena con materiales permeables, que aleja las aguas freáticas o de infiltración, impidiendo que ellas causen perjuicios en el soporte o en la estructura del pavimento.

Subrasante: Capa de suelo preparada para soportar la estructura del pavimento.

Superficie deslizante: Superficie de rodadura propensa al deslizamiento incontrolado de los neumáticos de los vehículos, en particular cuando se encuentra húmeda. Se conoce también como superficie resbalosa o resbaladiza.

Tablero: Piso de un puente. Soporta directamente las cargas dinámicas (tránsito) y transmite por medio de las vigas sus tensiones a estribos y pilas, que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en el suelo o roca de fundación.

Talud: Paramento o superficie inclinada que limita lateralmente un corte o un terraplén.

Terraceo: Escalonamiento de un talud.

Textura. Conjunto de características de la superficie de un pavimento que contribuyen a la fricción superficial y al ruido.

Tránsito: Volumen de vehículos que pasa por un punto específico de la carretera durante un periodo determinado.

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

Túnel. Cavity subterránea o subacuática que, como solución vial, implica una operación vehicular a cielo cerrado.

Usuario: Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza la infraestructura vial pública.

Vertedero: Instalación para la eliminación de residuos sólidos, basuras, escombros, etc., mediante su depósito subterráneo o en superficie. Cada vez que se mencione el término en el manual o en las especificaciones de mantenimiento, se debe entender que se trata de un vertedero controlado, es decir, aquel donde se depositan ordenadamente los residuos sólidos, basuras, escombros, etc., cumpliendo las disposiciones legales vigentes en cuanto a funcionamiento, operación y control, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

Viaducto: Puente que salva desniveles amplios o profundos, para una vía férrea o carretera.

Zanja de coronación. Canal construido en la parte alta de una excavación, paralelo al borde superior de la misma, para recibir y encauzar el agua que escurra por la ladera, evitando que llegue al talud.

ANEXO 1

Determinación del Índice de Deterioro Superficial de un Pavimento Asfáltico Mediante el Método Vizir

3+720

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------------|
| A1 ANEXO 1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR | V1-A1 7 |
| A1.1 OBJETO | V1-A1 7 |
| A1.2 RESUMEN DEL MÉTODO | V1-A1 7 |
| A1.3 IMPORTANCIA Y USO | V1-A1 9 |
| A1.4 EQUIPO | V1-A1 11 |
| A1.5 PROCEDIMIENTO | V1-A1 11 |
| A1.5.1 CONVENCIÓN PARA LA NUMERACIÓN DE CARRILES: | V1-A1 11 |
| A1.5.2 CRITERIOS PARA EL LEVANTAMIENTO Y LA MEDICIÓN DE LOS DETERIOROS: | V1-A1 12 |
| A1.5.3 ALGUNOS DETERIOROS NO CONTEMPLADOS POR EL SISTEMA: | V1-A1 14 |
| A1.5.4 CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN: | V1-A1 15 |
| A1.5.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FISURACIÓN (If): | V1-A1 15 |
| A1.5.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DEFORMACIÓN (Id): | V1-A1 16 |
| A1.5.6.1 Determinación del Índice de deterioro superficial (Is) | V1-A1 16 |
| A1.6 INFORME | V1-A1 17 |
| A1.7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA | V1-A1 17 |
| A1A ANEXO 1A (INFORMATIVO) TIPOS DE DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS | V1-A1 19 |
| A1A.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DEL TIPO A | V1-A1 19 |
| A1A.1.1 AHUELLAMIENTO (AH) | V1-A1 19 |
| A1A.1.2 DEPRESIONES O HUNDIMIENTOS LONGITUDINALES (DL) Y TRANSVERSALES (DT) | V1-A1 20 |
| A1A.1.3 GRIETAS LONGITUDINALES POR FATIGA (FLF) | V1-A1 21 |
| A1A.1.4 GRIETAS DEL TIPO PIEL DE COCODRILO (FPC) | V1-A1 22 |
| A1A.1.5 BACHEOS Y PARCHEOS (REPARACIONES) (B) | V1-A1 23 |
| A1A.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DEL TIPO B | V1-A1 24 |
| A1A.2.1 GRIETA LONGITUDINAL DE JUNTA DE CONSTRUCCIÓN (FLJ) Y TRANSVERSAL DE JUNTA DE CONSTRUCCIÓN (FTJ) | V1-A1 24 |
| A1A.2.2 GRIETAS DE CONTRACCIÓN TÉRMICA (FCT) | V1-A1 25 |
| A1A.2.3 GRIETAS PARABÓLICAS (FP) | V1-A1 26 |
| A1A.2.4 GRIETAS DE BORDE (FB) | V1-A1 27 |
| A1A.2.5 OJOS DE PESCADO (O) | V1-A1 28 |
| A1A.2.6 DESPLAZAMIENTO, ABULTAMIENTO O AHUELLAMIENTO DE LA RODADURA (DM) | V1-A1 29 |
| A1A.2.7 PÉRDIDA DE LA PELÍCULA DE LIGANTE (PL) | V1-A1 30 |
| A1A.2.8 PÉRDIDA DE AGREGADOS (PA) | V1-A1 31 |
| A1A.2.9 DESCASCARAMIENTO (D) | V1-A1 32 |
| A1A.2.10 PULIMENTO DE AGREGADOS (PU) | V1-A1 33 |
| A1A.2.11 EXUDACIÓN (EX) | V1-A1 34 |
| A1A.2.12 AFLORAMIENTO DE MORTERO (AM) | V1-A1 35 |
| A1A.2.13 AFLORAMIENTO DE AGUA (AA) | V1-A1 36 |
| A1A.2.14 DESINTEGRACIÓN DE LOS BORDES DEL PAVIMENTO (DB) | V1-A1 37 |
| A1A.2.15 ESCALONAMIENTO ENTRE CALZADA Y BERMA (ECB) | V1-A1 38 |
| A1A.2.16 EROSIÓN DE LAS BERMAS (EB) | V1-A1 39 |
| A1A.2.17 SEGREGACIÓN (S) | V1-A1 40 |

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

A1B ANEXO 1B(INFORMATIVO) PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS EN EL TERRENO **V1-A1 41**

| | |
|-----------------|-----------------|
| A1B.1 | V1-A1 41 |
| A1B.2 | V1-A1 41 |
| A1B.2.1 PARTE 1 | V1-A1 41 |
| A1B.2.2 PARTE 2 | V1-A1 41 |
| A1B.2.3 PARTE 3 | V1-A1 42 |
| A1B.2.4 PARTE 4 | V1-A1 42 |

LISTA DE FIGURAS

ANEXO 1

| | | |
|--|-------|----|
| <i>Figura A 1-1 Convención numérica de carriles</i> _____ | V1-A1 | 12 |
| <i>Figura A 1-2 Incidencia de los rayos solares en la observación visual de las grietas en un pavimento flexible</i> _____ | V1-A1 | 14 |
| <i>Figura A 1-3 Falla de un terraplén bajo un pavimento</i> _____ | V1-A1 | 14 |
| <i>Figura A 1-4 Determinación del índice de deterioro superficial (I_s)</i> _____ | V1-A1 | 16 |

ANEXO 1B

| | | |
|--|-------|----|
| <i>Figura A1B-1 Formato para el registro de deterioros en pavimentos flexibles</i> _____ | V1-A1 | 43 |
| <i>Figura A1B-3 Símbolos para el registro de los deterioros en pavimentos asfálticos para carreteras</i> _____ | V1-A1 | 44 |
| <i>Figura A1B-4 Ejemplo de registro de deterioros</i> _____ | V1-A1 | 45 |

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

ANEXO 1

| | | |
|--|-------|----|
| Tabla A 1—1 Deterioros del tipo A | V1-A1 | 7 |
| Tabla A 1—2 Deterioros del tipo B | V1-A1 | 8 |
| Tabla A 1—3 Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo A | V1-A1 | 8 |
| Tabla A 1—4 Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo B | V1-A1 | 10 |
| Tabla A 1—5 Determinación del índice de fisuración | V1-A1 | 15 |
| Tabla A 1—6 Determinación del índice de deformación | V1-A1 | 16 |

Página en blanco

ANEXO 1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL MÉTODO VIZIR

TOMADO DE LA NORMA DE ENSAYO INV E – 813

A1.1 OBJETO

A1.1.1 Esta norma se refiere a la determinación de la condición de un pavimento asfáltico, a partir de la inspección visual de su superficie, empleando el método VIZIR.

A1.2 RESUMEN DEL MÉTODO

A1.2.1 La metodología planteada en esta norma para la clasificación y la cuantificación de los deterioros de los pavimentos flexibles de carreteras considera dos categorías de deterioros: los deterioros del Tipo “A”, que caracterizan la condición estructural del pavimento y los deterioros del Tipo “B”, en su mayoría de tipo funcional, originados en deficiencias constructivas y en condiciones locales que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Las Tablas A 1—1 y A 1—2 presentan un listado de los deterioros relevantes de cada tipo, cada uno de ellos con un código de identificación y con la unidad de medida a considerar durante el inventario.

Tabla A 1—1 Deterioros del tipo A

| Nombre del deterioro | Código | Unidad de medida |
|---|--------|------------------|
| Ahuellamiento | AH | m |
| Depresiones o hundimientos longitudinales | DL | m |
| Depresiones o hundimientos transversales | DT | m |
| Grietas longitudinales por fatiga | FLF | m |
| Grietas piel de cocodrilo | FPC | m |
| Bacheos y parcheos | B | m |

Tabla A 1—2 Deterioros del tipo B

| Nombre del deterioro | Código | Unidad de Medida |
|---|--------|------------------|
| Grieta longitudinal de junta de construcción | FLJ | m |
| Grieta transversal de junta de construcción | FTJ | m |
| Grietas de contracción térmica | FCT | m |
| Grietas parabólicas | FP | m |
| Grieta de borde | FB | m |
| Ojos de pescado | O | unidad |
| Desplazamiento, abultamiento o ahuellamiento de la mezcla | DM | m |
| Pérdida de la película de ligante | PL | m |
| Pérdida de agregados | PA | m |
| Descascaramiento | D | m ² |
| Pulimento de agregados | PU | m |
| Exudación | EX | m |
| Afloramiento de mortero | AM | m |
| Afloramiento de agua | AA | m |
| Desintegración de los bordes del pavimento | DB | m |
| Escalonamiento entre calzada y berma | ECB | m |
| Erosión de las bermas | EB | m |
| Segregación | S | m |

A1.2.2 Se debe establecer el nivel de gravedad de cada deterioro, según las guías que se presentan en las Tablas A 1—3 y A 1—4.

Tabla A 1—3 Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo A

| DETERIORO | NIVEL DE GRAVEDAD | | |
|---|---|---|--|
| | 1 | 2 | 3 |
| Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales | Sensible al usuario, pero poco importante Prof. < 20 mm | Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o ahuellamientos. 20 mm ≤ Prof. ≤ 40 ≤ mm | Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios. Prof. > 40 mm |
| Grietas longitudinales por fatiga | Grietas finas en la huella de rodamiento (< 6 mm) | Grietas abiertas y a menudo ramificadas. | Grietas muy ramificadas, y/o muy abiertas. Bordes de grietas ocasionalmente degradados. |
| Piel de cocodrilo | Piel de cocodrilo formada por mallas (> 500 mm) con grietas finas, sin pérdida de materiales. | Mallas más densas (< 500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación. | Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (<200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales. |
| Bacheos y parcheos | Intervención de superficie ligada a deterioros tipo B. | Intervenciones ligadas a deterioros tipo A | |
| | | Comportamiento satisfactorio de la reparación. | Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas. |

A1.2.3 El tramo de pavimento por evaluar se divide en secciones de 100 m. Se determinan el tipo, la gravedad y la extensión de los deterioros existentes en la sección, mediante inspección visual. Los datos obtenidos en relación con los deterioros del tipo A se emplean para calcular un índice de fisuración, If, y un índice de deformación, Id, a partir de los cuales se determina un índice global, denominado Índice de deterioro superficial, Is, representativo de cada sección de pavimento.

A1.3 IMPORTANCIA Y USO

A1.3.1 La aplicación de procedimientos para el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de pavimentos asfálticos involucra una serie de actividades, dentro de las cuales juegan un papel importante la clasificación, la cuantificación y la evaluación de los diferentes deterioros.

A1.3.2 El índice de deterioro superficial, I_s , es un indicador numérico que valora la condición superficial del pavimento, a partir del tipo, la gravedad y la intensidad de los deterioros que presenta su superficie.

A1.3.3 El I_s no mide la capacidad estructural ni suministra información directa sobre la resistencia al deslizamiento o la rugosidad de la calzada. Tampoco considera algunos deterioros de un pavimento asfáltico que no están ligados directamente al comportamiento del mismo y de la subrasante. Simplemente, proporciona una base racional para determinar las necesidades y las prioridades generales de mantenimiento y de reparación. De todas maneras, entre mayor sea el valor de I_s , mayores deterioros presentará el pavimento, menor será su vida residual y mayores serán las necesidades de rehabilitación.

A1.3.4 Los deterioros del tipo B no conducen a ningún índice de calificación. Se considera que, cuando ellos se presentan, la solución de mantenimiento se deriva del simple reconocimiento de su existencia, no siendo necesario apelar a otros parámetros para realizar un diagnóstico.

Tabla A 1—4 Niveles de gravedad de los deterioros del Tipo B

| DETERIORO | | NIVEL DE GRAVEDAD | | | | |
|---|---------------|---|--|--------|---|--------|
| | | ① | ② | | ③ | |
| | | | | | | |
| Grietas longitudinales de junta de construcción | | Fina y única (< 10 mm) | • Ancha (≥ 10 mm) sin desprendimiento o • Fina ramificada | | Ancha con desprendimientos o ramificada | |
| Grietas de contracción térmica. | | Grietas finas | Anchas sin desprendimiento, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas | | Anchas con desprendimientos | |
| Grietas parabólicas. | | Grietas finas | Anchas sin desprendimientos | | Anchas con desprendimientos | |
| Grietas de borde | | Grietas finas | Anchas sin desprendimientos | | Anchas con desprendimientos | |
| Abultamientos | | h< 20 mm | 20 mm ≤ h≤ 40 mm | | h > 40 mm. | |
| Ojos de pescado* (por cada 100 m) | Cantidad. | < 5 | 5 a 10 | < 5 | > 10 | 5 a 10 |
| | Diámetro (mm) | ≤ 300 | ≤ 300 | ≤ 1000 | ≤ 300 | ≤ 1000 |
| Desprendimientos: <ul style="list-style-type: none">• Pérdida de película de ligante.• Pérdida de agregado | | Pérdidas aisladas | Pérdidas continuas | | Pérdidas generalizadas y muy marcadas | |
| Descascaramiento | Prof.(mm) | ≤ 25 | ≤ 25 | > 25 | > 25 | |
| | Área(m²) | ≤ 0.8 | > 0.8 | ≤ 0.8 | > 0.8 | |
| Pulimento agregados | | No se definen niveles de gravedad | | | | |
| Exudación | | Puntual, área específica | Continúa sobre las trayectorias por donde circulan las ruedas del vehículo. | | Continua y muy marcada, en diversas aéreas. | |
| Afloramientos: <ul style="list-style-type: none">• De mortero• De agua | | Localizados y apenas perceptibles | Intensos | | Muy intensos | |
| Desintegración de los bordes del pavimento | | Inicio de la desintegración, sectores localizados | La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más. | | Erosión extrema que conduce a la desintegración del revestimiento asfáltico | |
| Escalonamiento entre calzada y berma | | Desnivel entre 10 y 50 mm | Desnivel entre 50 y 100 mm | | Desnivel superior a 100 mm | |
| Erosión de las bermas | | Erosión incipiente | Erosión pronunciada | | La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios. | |
| Segregación** | | No se definen niveles de gravedad | | | | |

* Cuando el número de ojos de pescado supere el número y el tamaño descritos en la tabla, se deberán enfrentar como deterioros tipo A

** La segregación no está incluida como deterioro por el método VIZIR. Sin embargo, para los efectos de la aplicación de la presente norma, se sugiere considerarla

A1.4 EQUIPO

A1.4.1 *Planilla* – Para registrar la información obtenida en el terreno.

A1.4.2 *Rueda odométrica manual* – Que lea con aproximación a 10 mm ($\frac{1}{4}$ ").

A1.4.3 *Cinta métrica* – O flexómetro, con marcas a separaciones de 1.0 mm ($\frac{1}{32}$ ").

A1.4.4 *Regla de 3 metros (3 pies)*.

A1.4.5 *Cuña o regla* – Plástica o de madera, para medir la profundidad de los ahuellamientos.

A1.4.6 *Máquina fotográfica o video grabadora*

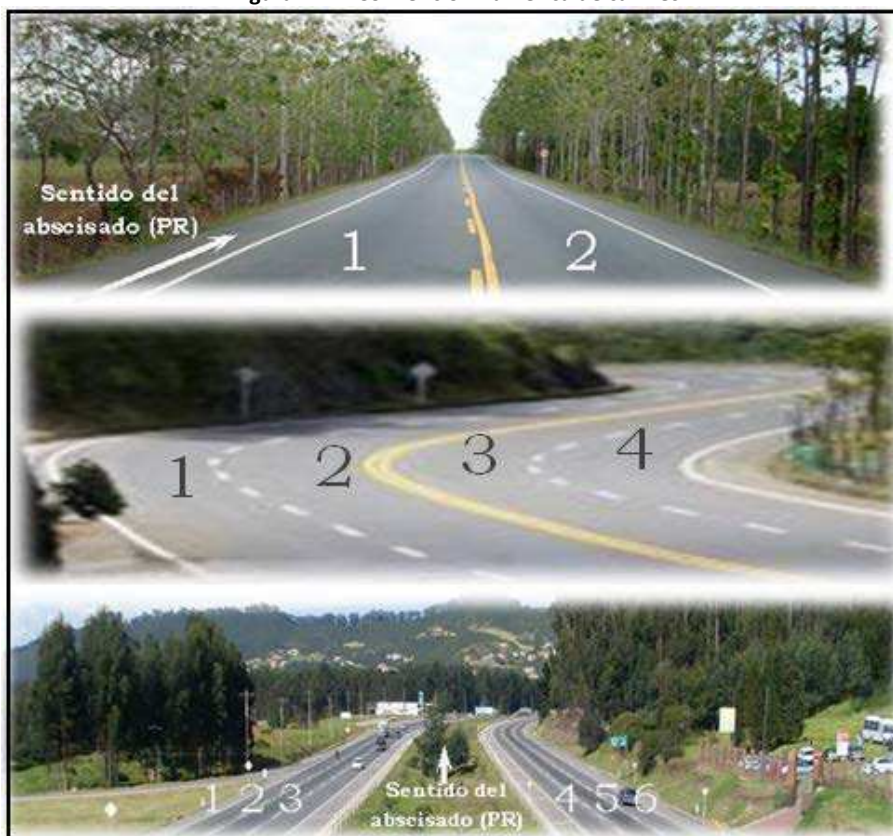
A1.4.7 *Elementos varios de seguridad* – Para proteger al personal durante los trabajos de inspección en la carretera, incluyendo cascos, chalecos y conos reflectivos, así como señales informativas del trabajo que se está realizando.

A1.5 PROCEDIMIENTO

A1.5.1 Convención para la numeración de carriles:

A1.5.1.1 Para efectos del registro de la información, los carriles se deben numerar de la siguiente manera: (1) para las vías de dos carriles se asignarán los códigos 1 y 2, considerando la numeración de izquierda a derecha en el sentido en que aumenta el abscisado (PR), y (2) para las vías con 2 o más carriles por calzada se asignarán los códigos 1, 2, 3, 4, y así sucesivamente, considerando la numeración de izquierda a derecha en el sentido en que aumenta el abscisado (PR), como se muestra en la Figura A 1—1.

Figura A 1-1 Convención numérica de carriles



A1.5.2 Criterios para el levantamiento y la medición de los deterioros:

A1.5.2.1 Se debe realizar el inventario de los deterioros de manera continua, para cada 100 metros de longitud de calzada, los cuales definen la sección de medición. Donde la carretera sea de doble calzada, el inventario se deberá hacer de manera independiente por calzada, manteniendo como unidad de inventario los mismos 100 metros.

A1.5.2.2 El inventario de los deterioros se debe referenciar a partir del punto inicial de referencia escogido, garantizando siempre que la sección inventariada (100 m) coincida con un PR múltiplo de 100. En los casos donde esta condición no se cumpla, por ejemplo, que el PR de inicio sea PR 2+025, la primera longitud por inventariar será de 75 metros (PR 2+025 al PR 2+100). A partir de este punto, se continuará con el inventario de los deterioros cada 100 metros en el sentido de avance del abscisado.

A1.5.2.3 El levantamiento de los deterioros involucra su calificación, a partir de su identificación, su extensión y su gravedad.

A1.5.2.3.1 Para la identificación del deterioro se deberán seguir las indicaciones que al respecto se presentan en el Anexo A de esta norma, donde se describen los deterioros típicos de los pavimentos asfálticos de las carreteras nacionales.

A1.5.2.3.2 La medición de los deterioros, que corresponde básicamente a la extensión para los deterioros del tipo A y para la mayoría de los casos de deterioros del tipo B, está dada por el porcentaje de la longitud de la sección (100 metros) que se encuentra afectada por el deterioro respectivo, salvo en los casos en los cuales se indica una unidad de medida diferente.

A1.5.2.3.3 La gravedad indica el grado de severidad del deterioro. Su valoración está dada en una escala de uno (1) a tres (3), donde 3 indica la mayor severidad, 2 una severidad moderada y 1 la menor severidad, con los criterios presentados en las Tablas A 1—3 y A 1—4.

A1.5.2.3.4 Para adelantar esta actividad se deberá diligenciar el Formato B.1 (Ver Anexo B), el cual contiene la información básica necesaria para registrar los deterioros presentes en el pavimento asfáltico, así como el esquema gráfico de la disposición y los tipos de deterioros en una sección.

A1.5.2.4 El ahuellamiento se debe medir en los carriles izquierdo y derecho, cada 5 metros. Para las carreteras de doble calzada o con más de dos carriles, se deberá medir en cada carril. Se asignará el mayor valor de ahuellamiento obtenido cada 10 metros, así como el mayor valor obtenido en la sección evaluada (100 m), como valor representativo de ésta.

A1.5.2.5 El ángulo relativo de los rayos del sol que se proyectan sobre la superficie de la carretera puede tener un impacto significativo en la observación visual de algunos de los deterioros del pavimento. Teniendo en cuenta lo anterior, el evaluador se debe asegurar de observar la superficie del pavimento en más de una dirección. Como norma general, los agrietamientos son visibles con mayor facilidad cuando el evaluador realiza la inspección con el sol enfrente de él. En la figura 2 se muestra un ejemplo de la incidencia que tienen los rayos del sol sobre la observación de las fisuras y grietas en los pavimentos asfálticos. En la fotografía de la izquierda se aprecia una grieta longitudinal, mientras que ella no se advierte en la fotografía derecha, tomada en el mismo sitio, en sentido opuesto.

Figura A 1-2 Incidencia de los rayos solares en la observación visual de las grietas en un pavimento flexible



A1.5.3 Algunos deterioros no contemplados por el sistema:

A1.5.3.1 La calificación por el sistema VIZIR no considera algunos deterioros de un pavimento asfáltico que no están ligados directamente al comportamiento del mismo y de la subrasante. Es el caso, por ejemplo, de los agrietamientos longitudinales o en forma de media luna que se presentan en los taludes exteriores de secciones de pavimento a media ladera, causados por la inestabilidad de éstos; los agrietamientos, acompañados o no de levantamientos de la calzada, cuando ésta alcanza a ser afectada por un movimiento rotacional de un talud de corte; las deformaciones y agrietamientos excesivos de terraplenes construidos sobre suelos de muy limitada capacidad portante o de exageradas características expansivas y contráctiles; las deformaciones y los agrietamientos generados por inestabilidades locales y regionales, etc. (Figura A 1—3).

Figura A 1-3 Falla de un terraplén bajo un pavimento



A1.5.4 Consolidación de la información:

A1.5.4.1 La información obtenida en cada sección debe ser consolidada, en función de la extensión y gravedad de los deterioros relevantes. Para el cálculo del Índice de Deterioro Superficial “Is”, sólo se tienen en cuenta los deterioros del tipo A.

A1.5.4.2 Como es posible que uno o más deterioros se presenten en una sección de 100 metros con distintos niveles de gravedad, el nivel representativo se debe establecer cómo un promedio ponderado, mediante la expresión

$$G = \frac{l_1 + 2l_2 + 3l_3}{l_1 + l_2 + l_3}$$

Donde

l_i = longitud ocupada por el deterioro con gravedad “i” dentro de la sección (100m)

Como la gravedad es un número entero (1, 2 o 3), el valor obtenido al realizar la ponderación se deberá redondear de acuerdo con el siguiente criterio:

| | |
|-----------------------|-----------|
| Si $G < 1.5$ | se toma 1 |
| Si $1.5 \leq G < 2.5$ | se toma 2 |
| Si $G \geq 2.5$ | se toma 3 |

A1.5.5 Determinación del índice de fisuración (If):

A1.5.5.1 El If es un valor numérico entero, entre 1 y 5, que depende de la extensión y de la gravedad de las grietas de origen estructural presentes en la sección, el cual se determina con ayuda de la Tabla A 1—5. Se deberán efectuar cálculos separados para las grietas longitudinales de fatiga y para las de piel de cocodrilo, adoptándose el mayor de los dos valores obtenido.

Tabla A 1—5 Determinación del índice de fisuración

| Índice de Fisuración If | Extensión Gravedad | 0 a 10 % | 10 a 50 % | > 50 % |
|----------------------------|-----------------------|-------------|--------------|-----------|
| | | | | |
| | 1 | 1 | 2 | 3 |
| | 2 | 2 | 3 | 4 |
| | 3 | 3 | 4 | 5 |

A1.5.6 Determinación del índice de deformación (Id):

A1.5.6.1 El Id es un valor numérico entero, entre 1 y 5, que depende de la extensión y de la gravedad de las deformaciones de origen estructural presentes en la sección, el cual se determina con ayuda de la Tabla A 1—6.

Tabla A 1—6 Determinación del índice de deformación

| Índice de Deformación Id | Extensión | | 0 a 10 | 10 a 50 | > 50 |
|-----------------------------|-----------|--|--------|---------|------|
| | Gravedad | | % | % | % |
| 1 | | | 1 | 2 | 3 |
| 2 | | | 2 | 3 | 4 |
| 3 | | | 3 | 4 | 5 |

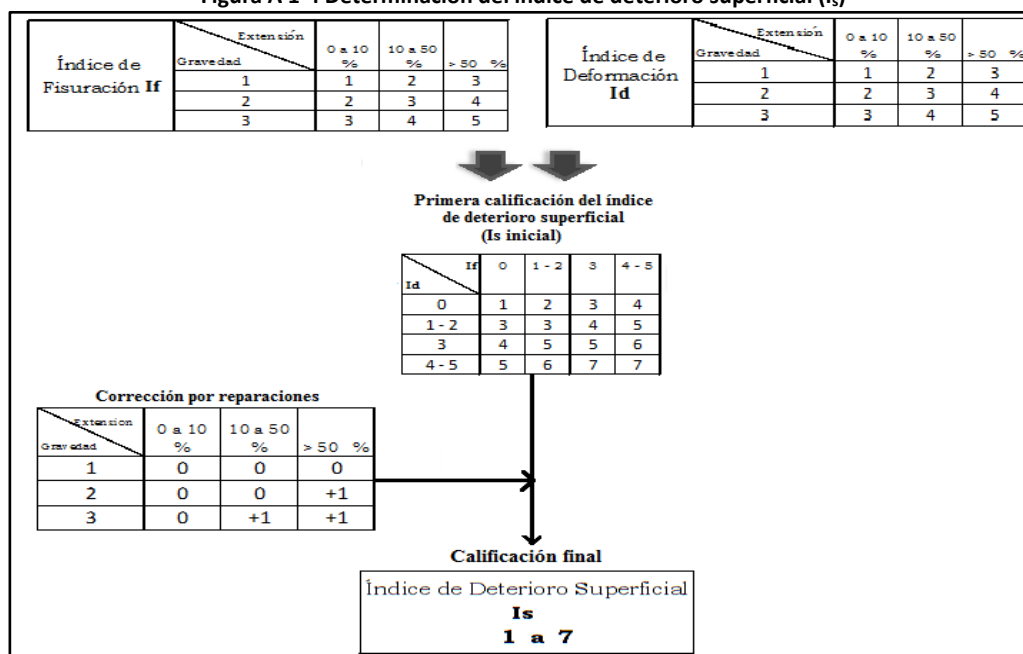
A1.5.6.1 Determinación del Índice de deterioro superficial (Is)

A1.5.7.1 La combinación de los índices de fisuración y de deformación da lugar a un índice de deterioro superficial preliminar, que es un número entero entre 1 y 7, el cual debe ser corregido en función de la extensión y de la calidad de los trabajos de parcheo y bacheo que haya en la sección. Efectuada esta corrección, cuando corresponda, se obtiene el índice de Deterioro Superficial, Is, de la sección evaluada, como lo muestra la Figura A 1—4.

Nota 1: Un valor de Is igual a 1 es indicativo de un pavimento en buena condición, mientras que un valor igual a 7 representa un pavimento fallado.

Nota 2: Cuando el índice de deterioro superficial preliminar es igual a 7, se omite la corrección por reparaciones.

Figura A 1-4 Determinación del índice de deterioro superficial (Is)



A1.6 INFORME

A1.6.1 Se debe informar lo siguiente para cada sección de pavimento, discriminando por calzada si la vía es de doble calzada

A1.6.1.1 Índice de fisuración, If

A1.6.1.2 Índice de deformación, Id

A1.6.1.3 Índice de deterioro superficial, Is

A1.7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

A1.7.1 LCPC, "*VIZIR, Méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins de entretien d'un réseau routier*", Paris, Décembre, 1991

A1.7.2 CALTRANS, "*Common distresses on flexible pavements*"

Página en blanco

**A1A ANEXO 1A (Informativo) TIPOS DE DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS
ASFALTICOS DE CARRETERAS**

A1A.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DEL TIPO A

A1A.1.1 Ahuellamiento (AH)




Depresión longitudinal continua en zonas localizadas, generalmente en la trayectoria de circulación de las llantas del vehículo, la cual puede generar levantamientos en las zonas adyacentes a lo largo de la depresión.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="483 772 638 821" data-label="Image"> </div> <p>Profundidad < 20 mm</p> | |
| <div data-bbox="483 1094 638 1142" data-label="Image"> </div> <p>Profundidad entre 20mm y 40 mm</p> | |
| <div data-bbox="483 1417 638 1465" data-label="Image"> </div> <p>Profundidad > a 40 mm</p> | |

Las causas más probables de este tipo de deterioro son: cargas de tránsito superiores en magnitud y frecuencia a las utilizadas para el diseño de la estructura de pavimento; espesor de pavimento insuficiente; compactación o calidad deficiente de la capa de base.

A1A.1.2 Depresiones o hundimientos longitudinales (DL) y transversales (DT)




Depresiones localizadas de la superficie del pavimento. Este tipo de deterioro puede estar orientado longitudinal o transversalmente.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="332 506 521 558" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <div data-bbox="345 583 508 646" data-label="Text"> <p>Profundidad < 20 mm</p> </div> |  |
| <div data-bbox="332 877 521 930" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <div data-bbox="277 955 573 1024" data-label="Text"> <p>Profundidad entre 20mm y 40 mm</p> </div> |  |
| <div data-bbox="332 1255 521 1308" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <div data-bbox="345 1333 508 1396" data-label="Text"> <p>Profundidad > a 40 mm</p> </div> |  |

Este tipo de deterioro está asociado a diferentes causas, dentro de las cuales se encuentran: asentamiento localizado de la subrasante; deficiencias en el proceso constructivo como, por ejemplo, mala compactación; deficiente compactación en rellenos para estructuras hidráulicas y de servicios; deficiencia del drenaje subsuperficial.

A1A.1.3 Grietas longitudinales por fatiga (FLF)




Corresponden a fisuras predominantemente paralelas al eje de la vía y localizadas en áreas sujetas al tránsito vehicular (huellas del tránsito). El agrietamiento se inicia en la superficie de las capas asfálticas y evoluciona en sentido descendente.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="422 541 602 592" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <p>Grietas finas en la huella de rodamiento < 10 mm</p> |  |
| <div data-bbox="422 930 602 980" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <p>Grietas abiertas y, con cierta frecuencia, ramificadas.</p> |  |
| <div data-bbox="422 1323 602 1373" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <p>Grietas muy ramificadas y/o muy abiertas. Ocasionalmente sus bordes se encuentran degradados</p> |  |

Las causas más comunes de este tipo de deterioro son los altos esfuerzos horizontales de tensión producidos por las llantas de los vehículos pesados, así como una baja rigidez de la capa asfáltica superior, a causa de las altas temperaturas superficiales

A1A.1.4 Grietas del tipo piel de cocodrilo (FPC)

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas que forman polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente localizadas en las áreas sujetas al tránsito vehicular. El agrietamiento se inicia en la parte inferior de las capas asfálticas donde los esfuerzos y las deformaciones de tensión producidas por las cargas repetidas de tránsito, alcanzan su mayor magnitud.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="329 575 516 625" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <p>Formación de mallas grandes (> 500 mm), con fisuras finas, sin pérdida de material</p> |  |
| <div data-bbox="329 942 516 993" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <p>Presencia de mallas más densas (< 500 mm), con pérdida ocasional de material, desprendimiento y ojos de pescado en formación</p> |  |
| <div data-bbox="329 1310 516 1360" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <p>Presencia de mallas densas con fisuras muy abiertas y fragmentos separados (< 200 mm), con pérdida ocasional y/o generalizada de material.</p> |  |

La causa principal de estas fisuras es el agotamiento de las capas asfálticas sometidas a repeticiones de cargas en un número superior al admisible. Otra causa, puede ser la insuficiencia estructural del pavimento.

A1A.1.5 Bacheos y parcheos (Reparaciones) (B)

Son áreas donde se ha realizado la remoción y el reemplazo del pavimento, por materiales generalmente similares a los del pavimento original. La intervención puede ser sólo al nivel de la capa asfáltica mediante parcheo, o involucrando capas subyacentes (bacheo).




| | |
|---|--|
| <div data-bbox="386 552 586 600" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <p>Intervención superficial ligada a deterioro Tipo B</p> |  |
| <div data-bbox="386 905 586 953" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <p>Intervenciones ligadas a deterioros Tipo A. Comportamiento satisfactorio de la reparación.</p> |  |
| <div data-bbox="386 1310 586 1358" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <p>Intervenciones ligadas a deterioros Tipo A. Ocurrencia de fallas en la zona reparada.</p> |  |

Las causas pueden estar asociadas a deficiencias en el drenaje subterráneo produciendo retención de agua en estas áreas; deficiencias en el proceso constructivo (contaminación de materiales; mala compactación); así como deterioro progresivo y permanente, producto de una inadecuada intervención en parcheos y bacheos anteriores.

A1A.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS DEL TIPO B

A1A.2.1 Grieta longitudinal de junta de construcción (FLJ) y transversal de junta de construcción (FTJ)

Corresponde a grietas en sentido longitudinal y transversal, coincidentes con juntas de construcción.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="391 625 550 667">①</div> <p>Fina y única < 10 mm</p> |  |
| <div data-bbox="391 940 553 982">②</div> <ul style="list-style-type: none"> • Ancha sin desprendimiento • Fina y ramificada |  |
| <div data-bbox="391 1287 553 1329">③</div> <p>Ancha con desprendimientos o ramificada</p> |  |

La causa principal de este deterioro es un proceso constructivo deficiente de la junta longitudinal y/o transversal, el cual puede involucrar falta de ligante en las paredes de la junta, o deficiencia en la compactación de la mezcla asfáltica. También, puede obedecer al reflejo de las juntas de un pavimento de concreto hidráulico subyacente.

A1A.2.2 Grietas de contracción térmica (FCT)


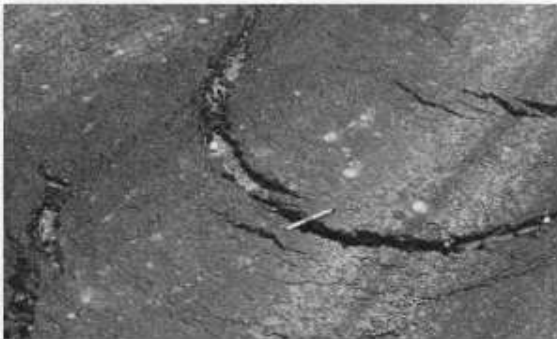

Esta forma de deterioro involucra diversos tipos de grietas, principalmente de tipo transversal y en bloque, que aparecen en diversas áreas de la superficie del pavimento. Se diferencian de otros deterioros, como FLF y FPC, porque se presentan en zonas donde no hay repeticiones permanentes de carga, aun cuando es evidente que éstas pueden aumentar su nivel de deterioro.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="443 611 613 653" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">①</div> <p>Grietas finas < 10 mm</p> |  |
| <div data-bbox="443 936 613 978" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">②</div> <p>Grietas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anchas ≥ 10 mm sin desprendimientos, o • Finas con desprendimientos, o • Ramificadas |  |
| <div data-bbox="443 1274 613 1316" style="background-color: black; color: white; padding: 2px; text-align: center;">③</div> <p>Grietas anchas, ≥ 10 mm con desprendimientos o ramificada</p> |  |

Este deterioro se presenta principalmente por la contracción térmica de las capas asfálticas, debido a los ciclos diarios de temperatura. También, por el uso de un tipo de asfalto inadecuado para las características climáticas de la zona.

A1A.2.3 Grietas parabólicas (FP)




Fisuras en forma de parábola, que se presentan por el frenado, giro o circulación a baja velocidad de cargas pesadas que hacen deslizar y deformar la capa superior del pavimento.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="331 501 516 548">①</div> <p>Grietas finas < 10 mm</p> |  |
| <div data-bbox="331 861 516 907">②</div> <p>Grietas anchas ≥ 10 mm sin desprendimientos</p> |  |
| <div data-bbox="331 1226 516 1272">③</div> <p>Grietas anchas ≥ 10 mm con desprendimientos</p> |  |

Este deterioro se presenta generalmente en mezclas asfálticas de baja estabilidad y, en algunos casos, en sectores donde no hay adecuada liga (adherencia) entre las capas asfálticas y las capas subyacentes. Este deterioro se evidencia más en zonas donde el pavimento experimenta elevados esfuerzos tangenciales (curvas) y en tramos de alta pendiente longitudinal, así como en zonas de frenado y aceleración de los vehículos.

A1A.2.4 Grietas de borde (FB)




Este tipo de grietas generalmente son continuas y con tendencia longitudinal, que se localizan paralelas y cerca al borde externo del pavimento.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="430 514 607 562" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <div data-bbox="444 611 586 667" data-label="Text"> <p>Grietas finas < 10 mm</p> </div> |  |
| <div data-bbox="430 957 607 1005" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <div data-bbox="375 1060 639 1119" data-label="Text"> <p>Grietas anchas ≥ 10 mm con desprendimientos</p> </div> |  |
| <div data-bbox="430 1293 607 1341" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <div data-bbox="394 1379 659 1438" data-label="Text"> <p>Grietas anchas ≥ 10 mm con desprendimientos</p> </div> |  |

Sus causas son variadas. Una de las principales es la ausencia de berma, lo que se traduce en falta de confinamiento lateral de la estructura. Otras causas son: deficiencias en la compactación en el borde del pavimento; aplicación de cargas muy cerca del borde de la calzada; abertura de una junta de ampliación de calzada y cambios volumétricos de los suelos de subrasante por modificación estacional de la humedad.

A1A.2.5 Ojos de pescado (O)




Cavidades de forma aproximadamente redondeada, las cuales resultan del desprendimiento, ocasionado por el tránsito, de trozos de carpeta afectados por el agrietamiento del tipo “piel de cocodrilo”, por depresiones o por desintegraciones localizadas de la mezcla asfáltica.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="355 573 532 621" data-label="Image"> </div> <p>Cantidad: < 5 Diámetro: ≤ 300mm</p> |  |
| <div data-bbox="358 919 535 968" data-label="Image"> </div> <p>Cantidad: 5 a 10 Diámetro: ≤ 300mm</p> <p>Cantidad: < 5 Diámetro: ≤ 1000mm</p> |  |
| <div data-bbox="355 1278 532 1327" data-label="Image"> </div> <p>Cantidad: > 10 Diámetro: ≤ 300mm</p> <p>Cantidad: 5 a 10 Diámetro: ≤ 1000mm</p> |  |

Su origen puede estar asociado al avance de otro tipo de deterioros, como las fisuras tipo piel de cocodrilo. También, se pueden producir por espesores insuficientes de las capas asfálticas, así como por retención de agua en áreas fisuradas y/o deformadas.

A1A.2.6 Desplazamiento, abultamiento o ahuellamiento de la rodadura (DM)




Deformaciones que se producen exclusivamente en las capas asfálticas.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="393 510 584 562" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <div data-bbox="407 627 565 697" data-label="Text"> <p>Profundidad < 20 mm</p> </div> |  |
| <div data-bbox="393 903 584 955" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <div data-bbox="329 997 626 1064" data-label="Text"> <p>Profundidad $20 \text{ mm} \leq F \leq 40 \text{ mm}$</p> </div> |  |
| <div data-bbox="393 1312 584 1365" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <div data-bbox="384 1432 565 1501" data-label="Text"> <p>Profundidad $F > 40 \text{ mm}$</p> </div> |  |

Este tipo de deterioro se origina por la deficiencia de estabilidad de la mezcla asfáltica, por el uso de agregados redondeados, por una dosificación de asfalto en exceso o por el empleo de asfaltos blandos.

A1A.2.7 Pérdida de la película de ligante (PL)




Este deterioro corresponde al desprendimiento progresivo de la película de ligante bituminoso que envuelve los agregados pétreos, el cual evoluciona con la acción del tránsito y de los agentes climáticos.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="342 541 526 594" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <div data-bbox="329 653 531 684" data-label="Text"> <p>Pérdidas aisladas</p> </div> |  |
| <div data-bbox="342 909 526 961" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <div data-bbox="319 1031 540 1062" data-label="Text"> <p>Pérdidas continuas</p> </div> |  |
| <div data-bbox="342 1297 526 1350" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <div data-bbox="285 1409 573 1472" data-label="Text"> <p>Pérdidas generalizadas y muy marcadas</p> </div> |  |

La causa principal de este deterioro es la hidrofilia de los agregados. Otras causas pueden estar asociadas con la calidad del asfalto, así como con la contaminación de los agregados (sucios) y los efectos de agentes agresivos (agua y solventes, entre otros).

A1A.2.8 Pérdida de agregados (PA)

Este deterioro corresponde al desprendimiento progresivo de los agregados pétreos, desintegrando la capa de rodadura.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="428 512 607 562" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <div data-bbox="418 625 607 655" data-label="Text"> <p>Pérdidas aisladas</p> </div> |  |
| <div data-bbox="428 877 607 928" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <div data-bbox="410 997 617 1026" data-label="Text"> <p>Pérdidas continuas</p> </div> |  |
| <div data-bbox="428 1287 607 1337" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <div data-bbox="378 1402 647 1465" data-label="Text"> <p>Pérdidas generalizadas y muy marcadas</p> </div> |  |

Este tipo de deterioro es común y casi exclusivo de los tratamientos superficiales, debido a deficiencias en el proceso de constructivo.

A1A.2.9 Descascaramiento (D)

Corresponde a la pérdida de fragmentos de la capa asfáltica superior, sin llegar a afectar las capas subyacentes.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="326 510 516 562" data-label="Image"> </div> <p>Profundidad : ≤ 25 mm</p> <p>Área: ≤ 0.8 m²</p> | |
| <div data-bbox="329 896 519 949" data-label="Image"> </div> <p>Profundidad: ≤ 25 mm</p> <p>Área: > 0.8 m²</p> <p>Profundidad: > 25 mm</p> <p>Área: ≤ 0.8 m²</p> | |
| <div data-bbox="326 1297 516 1350" data-label="Image"> </div> <p>Profundidad: > 25 mm</p> <p>Área: > 0.8 m²</p> | |

Este deterioro suele ocurrir por una deficiente adherencia entre la capa asfáltica y la capa subyacente, así como por un espesor insuficiente de la capa de rodadura.

A1A.2.10 Pulimento de agregados (PU)

Este deterioro se evidencia por la presencia de agregados expuestos con caras pulimentadas en la superficie del pavimento, generando superficies lisas que pueden afectar la resistencia al deslizamiento. Este deterioro está relacionado íntimamente con la seguridad vial frente a accidentes de tránsito, por la deficiencia de fricción en el contacto entre el neumático y el pavimento.

En el método VIZIR no se definen niveles de gravedad para el pulimento de agregados. Sin embargo, para los efectos de la aplicación de esta norma se sugieren los siguientes niveles de gravedad:

Nivel de gravedad 1: longitud comprometida < 10% de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas muy locales. Se debe mantener en continua observación.

Nivel de gravedad 2: Longitud comprometida $\geq 10\%$ a < 50% de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas y continuas.

Nivel de gravedad 3: Longitud comprometida $\geq 50\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas continuas.



La causa de este deterioro es la utilización de agregados pétreos de alta susceptibilidad al pulimento en condiciones de servicio, tal el caso de los agregados calizos.

A1A.2.11 Exudación (EX)

Corresponde a la presencia de una película de asfalto libre en la superficie del pavimento, la cual presenta un aspecto brillante y pegajoso que, bajo condición de superficie húmeda, produce importantes pérdidas de fricción.

| | |
|---|--|
| <div>①</div> <p>Se presenta de forma puntual en un área específica.</p> |  |
| <div>②</div> <p>Se presenta continua sobre el área o trayectoria por donde circula la rueda del vehículo.</p> |  |
| <div>③</div> <p>Se presenta continua y muy marcada en diversas áreas de la superficie del pavimento.</p> |  |

La exudación se debe, principalmente, a defectos en la manufactura de la mezcla, asociados con una cantidad excesiva de asfalto o un contenido muy bajo de vacíos con aire.

A1A.2.12 Afloramiento de mortero (AM)



Corresponde al afloramiento de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie del borde de las grietas indica la existencia de este fenómeno.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="485 541 643 583">①</div> <p>Localizados y apenas perceptibles</p> |  |
| <div data-bbox="485 905 643 947">②</div> <p>Intensos</p> |  |
| <div data-bbox="485 1356 643 1398">③</div> <p>Muy intensos</p> |  |

La ausencia o un inadecuado sistema de drenaje interno resulta ser la causa principal de este tipo de deterioro, el cual se presenta en zonas fisuradas no tratadas a tiempo por donde se registra la expulsión, hacia la superficie, de agua mezclada junto con material fino de la base.

A1A.2.13 Afloramiento de agua (AA)

Se manifiesta por la presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay lluvia. El afloramiento se presenta por las fisuras y por las áreas segregadas del pavimento.

| | |
|--|--|
| <div data-bbox="399 583 573 632" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="370 709 597 772">Localizados y apenas perceptibles</p> |  |
| <div data-bbox="399 974 573 1022" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="440 1100 529 1136">Intensos</p> |  |
| <div data-bbox="399 1346 573 1394" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="412 1430 558 1465">Muy intensos</p> |  |

La carencia de un adecuado sistema de drenaje interno resulta ser la causa principal de este tipo de deterioro.

A1A.2.14 Desintegración de los bordes del pavimento (DB)




Este deterioro 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.

| | |
|--|--|
| <div data-bbox="402 514 589 562" data-label="Text"> <p>①</p> </div> <p data-bbox="358 632 633 726">Inicio de la desintegración, sectores localizados</p> |  |
| <div data-bbox="402 900 594 949" data-label="Text"> <p>②</p> </div> <p data-bbox="358 993 633 1087">La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más</p> |  |
| <div data-bbox="402 1331 589 1379" data-label="Text"> <p>③</p> </div> <p data-bbox="358 1423 633 1549">Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico</p> |  |

La principal causa de este deterioro está asociada con el tránsito repetido de vehículos por los bordes del pavimento.

A1A.2.15 Escalonamiento entre calzada y berma (ECB)


Corresponde al desnivel que presentan las bermas con respecto a la calzada.

| | |
|---|--|
| <p>①</p> <p>Desnivel entre 10 mm y 50 mm</p> |  |
| <p>②</p> <p>Desnivel entre 50 mm y 100 mm</p> |  |
| <p>③</p> <p>Desnivel superior a 100 mm</p> |  |

El desnivel se puede presentar debido a la consolidación de las capas que conforman la estructura de la berma. Otra causa puede estar asociada con el arrastre de material que genera la circulación de vehículos sobre bermas no revestidas. En muchos casos, el escalonamiento se debe, simplemente, al hecho de que la construcción se realizó dejando una diferencia de nivel entre la calzada y la berma.

A1A.2.16 Erosión de las bermas (EB)

Corresponde a la destrucción de bermas revestidas y no revestidas.

| | |
|---|--|
| <div data-bbox="456 474 623 516">①</div> <p>Erosión incipiente</p> |  |
| <div data-bbox="456 842 623 884">②</div> <p>Erosión pronunciada</p> |  |
| <div data-bbox="456 1299 623 1341">③</div> <p>Erosión extrema que pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios</p> |  |

La causa de este deterioro es un inadecuado sistema de drenaje superficial.

A1A.2.17 Segregación (S)

La segregación granulométrica en una mezcla asfáltica se puede definir como la distribución no uniforme de los agregados finos y gruesos, la cual da lugar a una falta de homogeneidad en las propiedades y características de la mezcla, de tal magnitud que provoca un acortamiento sensible de su durabilidad.

En el método VIZIR no se considera la segregación. Para los efectos de la aplicación de esta norma se sugieren los siguientes niveles de gravedad:

Nivel de gravedad 1: longitud comprometida $< 10\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas muy locales. Se debe mantener en continua observación.

Nivel de gravedad 2: longitud comprometida $\geq 10\%$ a $< 50\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas aisladas y continuas.

Nivel de gravedad 3: longitud comprometida $\geq 50\%$ de la sección (100 metros) en una calzada, áreas continuas.



Este tipo de deterioro está asociado con problemas de producción de la mezcla asfáltica y/o deficiencias en la construcción (carga, transporte, colocación o compactación).

A1B ANEXO 1B (Informativo) PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LOS DATOS EN EL TERRENO

A1B.1

La Figura A1B-1 presenta un modelo de formulario para el registro en el terreno de los deterioros de un pavimento asfáltico de carretera. El formato incluye una parte para la anotación de los datos y otra para la representación gráfica de los deterioros, con lo cual se podrá tener una visión clara del comportamiento que presenta el pavimento a nivel superficial; de igual forma, la información registrada puede ser utilizada en el procesamiento y en el diagnóstico de los deterioros presentes en el pavimento asfáltico.

A1B.2

La metodología de recolección de datos involucra un recorrido a pie, realizando la inspección visual del estado del pavimento, paralelamente al cual se deberá realizar el diligenciamiento del Formato B.1. El registro gráfico en este formato se deberá realizar mediante un croquis, con las simbologías asociadas a cada tipo de defecto superficial, que se muestran en la Figura A1B-2. El formulario consta de 4 partes, las cuales se deben diligenciar como se describe a continuación.

A1B.2.1 Parte 1

Corresponde a la parte superior, donde se debe diligenciar la información correspondiente a la identificación de la carretera objeto de la evaluación, el nombre del proyecto y el tipo de carretera, el cual hace referencia a la red vial principal (primaria y secundaria) y red terciaria nacional, que en la actualidad administra el INVÍAS. En el campo “*código de la carretera*” debe ir el número de la ruta y el número asignado al tramo. Por su parte, en el campo “*PR al PR*” se debe indicar el tramo de carretera objeto de la inspección (PR inicial y PR final). De igual forma, se debe registrar el tipo de sección vial (corte, terraplén o sección mixta), el número de carriles que constituyen la sección vial, el carril inspeccionado y, finalmente, si existen árboles en el costado de la carretera.

A1B.2.2 Parte 2

Es el lado izquierdo del formato, el cual incluye la calificación del nivel de gravedad o severidad del deterioro, la longitud, área y, en algunos casos, la profundidad. El registro se debe realizar de manera secuencial, siguiendo el registro del abscisado de la parte superior, el cual debe representar una sección de 100 metros de longitud, abscisada cada 10 metros. El formato incluye el registro de los deterioros de los tipos A y B, claramente separados. De igual forma, presenta un campo específico para cada tipo de deterioro y abscisa, donde se

debe registrar en la parte superior el nivel de gravedad (1, 2 o 3) y en la parte inferior la longitud, profundidad, área o unidad, según sea el caso. En la Figura A1B-3 se presentan cuatro posibilidades en el registro de los deterioros.

A1B.2.3 Parte 3

Corresponde a la parte derecha del formato, donde se registra de forma gráfica en un tramo de 100 metros (sección), el esquema de los deterioros con las simbologías asociadas a cada uno de ellos, en acuerdo con los símbolos de la Figura A1B-2.

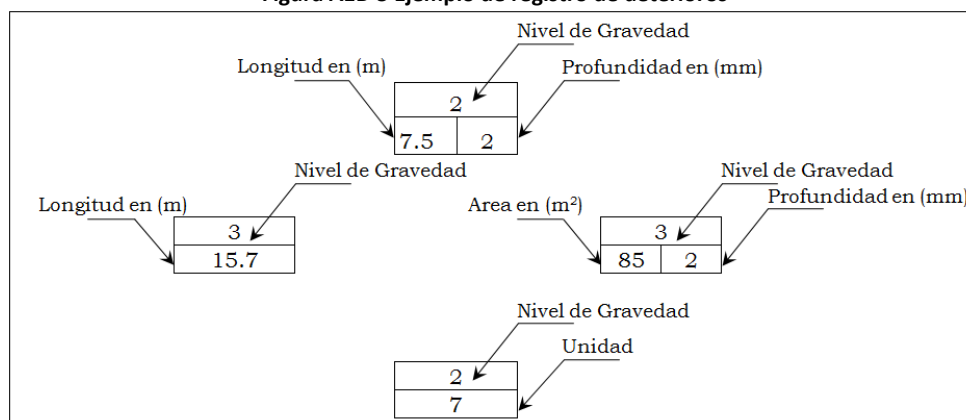
A1B.2.4 Parte 4

En este espacio se deben registrar las observaciones que el ingeniero considere de interés sobre el levantamiento de los deterioros en la sección de pavimento asfáltico objeto de la inspección.

Figura A1B-2 Símbolos para el registro de los deterioros en pavimentos asfálticos para carreteras

| | | | |
|---|--|--|--|
| Ahuellamiento | | Pérdida de película de ligante | |
| Depresiones o hundimiento longitudinal | | Pérdida de agregado | |
| Depresiones o hundimiento transversal | | Descascaramiento | |
| Fisuras piel de cocodrilo | | Pulimento de agregados | |
| Bacheos y parcheos | | Exudación | |
| Fisuras longitudinales de junta de construcción | | Afloramiento de mortero | |
| Fisuras transversal de junta de construcción | | Afloramiento de agua | |
| Fisura de contracción térmica | | Desintegración de los bordes del pavimento | |
| Fisuras parabólicas | | Escalonamiento entre calzada y bermas | |
| Fisuras de borde | | Erosión de bermas | |
| Ojos de pescado | | Segregación | |
| Abultamiento o desplazamiento de la mezcla | | | |

Figura A1B-3 Ejemplo de registro de deterioros



Página en blanco

ANEXO 2

Determinación del Índice de Condición de un Pavimento Rígido



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------------|
| A2 ANEXO 2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO | V1-A2 7 |
| A2.1 INTRODUCCIÓN | V1-A2 7 |
| A2.2 TERMINOLOGÍA | V1-A2 7 |
| A2.2.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS ESPECÍFICOS A ESTE PROCEDIMIENTO: | V1-A2 7 |
| A2.3 RESUMEN DEL MÉTODO | V1-A2 9 |
| A2.4 SIGNIFICADO Y USO | V1-A2 9 |
| A2.5 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO | V1-A2 9 |
| A2.6 PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN | V1-A2 12 |
| A2.7 CÁLCULO DEL PCI | V1-A2 14 |
| A2.8 DETERMINACIÓN DEL PCI DE LA SECCIÓN | V1-A2 17 |
| | |
| A2A APÉNDICE A DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS CON JUNTAS | V1-A2 19 |
| | |
| A2A.1 GENERALIDADES | V1-A2 19 |
| A2A.2 CALIDAD DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN | V1-A2 19 |
| A2A.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS QUE CONSIDERA EL MÉTODO | V1-A2 21 |
| A2A.5 PÉRDIDA DE MACROTEXTURA DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS EN SERVICIO | V1-A2 40 |
| | |
| A2B APÉNDICE B CURVAS CON LOS VALORES POR DEDUCIR EN PAVIMENTOS RÍGIDOS | V1-A2 41 |

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

ANEXO 2

| | |
|---|----------|
| Figura A2- 1 Escala de clasificación de un pavimento mediante el PCI | V1-A2 8 |
| Figura A2- 2 Ejemplo de formulario para la inspección de la condición de un pavimento rígido con juntas | V1-A2 13 |
| Figura A2-3 Cálculo del PCI corregido | V1-A2 16 |

APÉNDICE A

| | |
|--|----------|
| Figura A2A-1 Pavimento rígido antes y después de ser texturizado mediante ranurado | V1-A2 40 |
|--|----------|

APÉNDICE B

| | |
|--|----------|
| Figura A2B- 1 Estallido y levantamiento | V1-A2 41 |
| Figura A2B- 2 Grieta de esquina | V1-A2 41 |
| Figura A2B- 3 Losa fragmentada | V1-A2 42 |
| Figura A2B- 4 Grieta de durabilidad "D" | V1-A2 42 |
| Figura A2B- 5 Escalonamiento | V1-A2 43 |
| Figura A2B- 6 Deterioro del material de sello de las juntas | V1-A2 43 |
| Figura A2B- 7 Desnivel carril/berma | V1-A2 44 |
| Figura A2B- 8 Grieta lineal | V1-A2 44 |
| Figura A2B- 9 Parche (grande) | V1-A2 45 |
| Figura A2B- 10 Parche (pequeño) | V1-A2 45 |
| Figura A2B- 11 Desgaste de la superficie | V1-A2 46 |
| Figura A2B- 12 Saltaduras (popouts) | V1-A2 46 |
| Figura A2B-13 Bombeo | V1-A2 47 |
| Figura A2B-14 Punzonamiento | V1-A2 47 |
| Figura A2B-15 Cruce de vía férrea | V1-A2 48 |
| Figura A2B-16 Craquelado/descamado | V1-A2 48 |
| Figura A2B-17 Grietas de retracción | V1-A2 49 |
| Figura A2B-18 Desportilladura de esquina | V1-A2 49 |
| Figura A2B-19 Desportilladura de junta | V1-A2 50 |
| Figura A2B-20 Valores por deducir corregidos para pavimentos rígidos | V1-A2 50 |

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|------------------|----------|
| [Ecuación A2- 1] | V1-A2 10 |
| [Ecuación A2-2] | V1-A2 11 |
| [Ecuación A2- 3] | V1-A2 11 |
| [Ecuación A2- 4] | V1-A2 14 |
| [Ecuación A2- 5] | V1-A2 14 |
| [Ecuación A2-6] | V1-A2 15 |
| [Ecuación A2- 7] | V1-A2 17 |
| [Ecuación A2- 8] | V1-A2 17 |
| [Ecuación A2- 9] | V1-A2 17 |

Página en blanco

ANEXO 2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

A2.1 INTRODUCCIÓN

A2.1.1 Este método tiene por finalidad determinar la condición de pavimentos de caminos y estacionamientos a través de inspecciones visuales en superficies pavimentadas en concreto, usando el Índice de Condición de Pavimentos (PCI) como método de cuantificación normalizado.

A2.1.2 El PCI para pavimentos de caminos y estacionamientos fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la U.S. Army. Posteriormente fue verificado y adoptado por el DOD (Department of Defense) y la APWA (American Public Works Association).

A2.1.3 El procedimiento que se describe a continuación se basa, fundamentalmente, en la descripción que presenta la norma ASTM D 6433.

A2.2 TERMINOLOGÍA

A2.2.1 Definición de términos específicos a este procedimiento:

A2.2.1.1 *Pavimento rígido*: Mezcla de agregados con cemento hidráulico como aglomerante, que incluye pavimentos de concreto simple y reforzado con juntas.

A2.2.1.2 *Muestra aleatoria*: Una muestra unitaria de la sección de pavimento escogida para la inspección utilizando técnicas aleatorias de muestreo, como una tabla de números aleatorios o un procedimiento sistemático aleatorio.

A2.2.1.3 *Muestra adicional*: Una muestra unitaria inspeccionada en adición a las seleccionadas aleatoriamente, para incluir unidades de muestra no representativas en la determinación de la condición del pavimento. Estas unidades presentan condiciones extremas, muy pobres o excelentes, que no son típicas de la sección, así como fallas poco comunes, como los cortes en el pavimento para disponer instalaciones de servicio público. Si una unidad de muestra que presenta deterioros inusuales es seleccionada aleatoriamente, debe ser contabilizada como una muestra adicional, debiéndose elegir otra muestra aleatoria. Si la evaluación incluye la inspección de todas las unidades de muestra, no existen muestras adicionales.

A2.2.1.4 *Sección de pavimento*: Es un área dentro del pavimento que presenta características de uniformidad en cuanto a construcción, mantenimiento, historial de uso y

condición. Una sección de pavimento debe, también, estar sometida al mismo volumen de tránsito e intensidad de carga.

A2.2.1.5 Unidad de muestreo del pavimento: Es una subdivisión de la sección del pavimento que tiene un tamaño normalizado. Para pavimentos de concreto está constituida por 20 losas continuas (+/- 8 losas si el total de losas de la sección no es divisible por 20, o para ajustar condiciones de campo específicas).

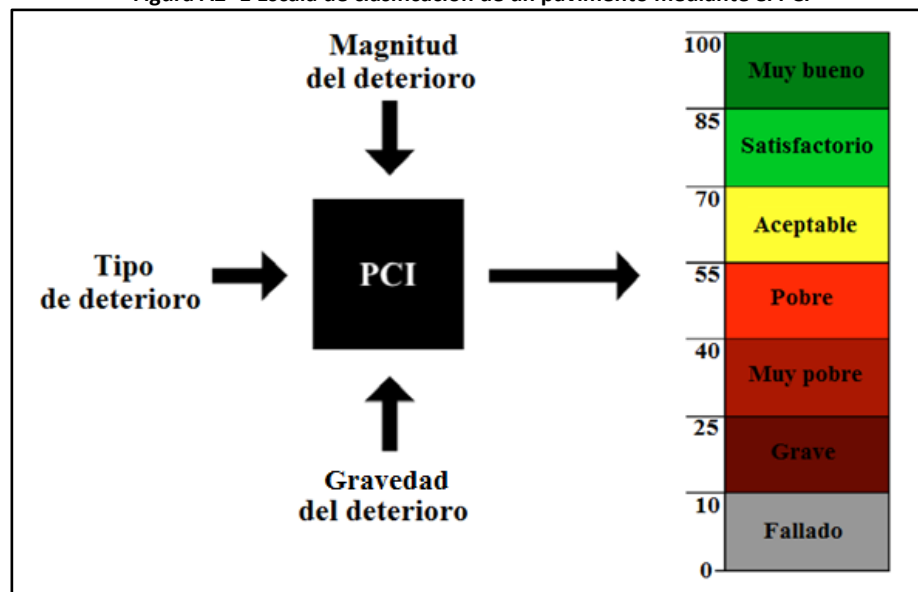
A2.2.1.6 Sector de pavimento: Es una parte identificable de la red de pavimentos que tiene una entidad singular y una función específica. Por ejemplo, cada carretera o estacionamiento es un sector independiente.

A2.2.1.7 Deterioros del pavimento: Indicadores externos del daño causado en un pavimento por cargas, factores atmosféricos, deficiencias en su construcción, o una combinación de ellos. En un pavimento rígido son típicos los agrietamientos, las deformaciones, los desprendimientos y el pulimento superficial. Para obtener el PCI, se deben tener en cuenta los tipos de deterioro y niveles de gravedad detallados más adelante.

A2.2.1.8 Índice de Condición del Pavimento o Pavement Condition Index (PCI): Es una calificación numérica asociada a la condición del pavimento, que varía entre 0 y 100, siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor.

A2.2.1.9 Clasificación de la condición del pavimento: es una descripción verbal de la condición del pavimento en función al valor del PCI, que varía entre fallado y muy bueno como se muestra en la Figura A2- 1.

Figura A2- 1 Escala de clasificación de un pavimento mediante el PCI



A2.3 RESUMEN DEL MÉTODO

A2.3.1 El pavimento se divide en sectores que, a su vez, se dividen en secciones. Cada sección se divide en unidades de muestreo. El tipo y el grado de gravedad de los deterioros del pavimento se establecen mediante la inspección visual de las unidades de muestreo. La cantidad de los deterioros se mide según se describe en el Apéndice A de este Anexo. La información sobre los deterioros se emplea para calcular el PCI de cada unidad de muestreo. El PCI de la sección de pavimento se calcula a partir de los valores del PCI determinados para cada una de las unidades de muestreo contenidas en la sección.

A2.4 SIGNIFICADO Y USO

A2.4.1 El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una indicación de las condiciones del pavimento en el instante de la inspección, basada en los deterioros observados en su superficie, el cual también da una idea de su integridad estructural y de sus condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no da información sobre la capacidad estructural del pavimento ni brinda una medida directa del coeficiente de resistencia al deslizamiento o de la rugosidad. Solamente proporciona una base objetiva y lógica para determinar las necesidades y prioridades de mantenimiento y reparación. El monitoreo continuo del PCI sirve para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, lo que permite identificar con suficiente anticipación las necesidades de rehabilitación mayor. El PCI proporciona información sobre el comportamiento de los pavimentos a los fines de validar o mejorar los procedimientos de diseño y mantenimiento.

A2.5 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO

A2.5.1 Identificar en el plano sectores de pavimento con diferentes usos, como ser caminos o parques de estacionamiento.

A2.5.2 Dividir cada sector en secciones de acuerdo a su diseño, historia de construcción, tránsito y condición.

A2.5.3 Dividir las secciones en unidades de muestreo. Si las losas tienen longitudes mayores a 8 m, se deben subdividir en losas imaginarias. Todas las losas imaginarias deben tener una longitud menor o igual a 8 m y se deberá asumir que las juntas imaginarias que dividen esas losas se encuentran en perfectas condiciones. Este procedimiento se debe aplicar, por cuanto los valores de deducción, de los que se habla más adelante, se desarrollaron para losas cuya longitud no exceda de 8 m.

A2.5.4 Las unidades de muestreo a ser inspeccionadas deben ser marcadas o identificadas de forma de permitir a los inspectores y al personal de control de calidad ubicarlas fácilmente en la superficie del pavimento. Marcas de pintura en el borde del pavimento y esquemas con ubicaciones ligadas a características físicas en el pavimento resultan aceptables. Es necesario que las unidades de muestreo se puedan ubicar nuevamente para verificar la información sobre deterioros actuales, para examinar cambios con el tiempo en la condición de una unidad en particular, así como para posibilitar futuras inspecciones de la misma muestra siempre que se desee.

A2.5.5 Seleccionar las unidades de muestreo a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestreo a ser inspeccionadas puede corresponder a todas las unidades en la sección, al número de unidades de muestra que permita un nivel de confianza del 95%, o a un número menor.

A2.5.5.1 Todas las unidades de muestreo en la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor PCI promedio de ésta. Sin embargo, esta posibilidad se evita normalmente en los estudios con propósitos generales de administración del mantenimiento, por los altos requerimientos en cuanto a mano de obra, recursos económicos y tiempo. El muestreo total es recomendable solamente para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades necesarias para el mantenimiento y la reparación.

A2.5.5.2 El número mínimo de unidades de muestreo a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95% de confiabilidad), se calcula usando la siguiente fórmula y redondeando el resultado al número entero inmediato superior [Ecuación A2- 1]:

$$n = \frac{Ns^2}{\left[\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + s^2 \right]} \quad \text{[Ecuación A2- 1]}$$

Donde:

e = error aceptable en la estimación del PCI de la sección. Comúnmente $e = \pm 5$ puntos de PCI

s = desviación estándar del PCI entre una y otra unidad de muestreo en la misma sección. Cuando se realiza la inspección inicial la desviación estándar se asume igual a 15 en evaluaciones de pavimentos rígidos. Esta suposición se debe verificar posteriormente, como se describe más adelante, una vez se han determinado los valores del PCI. Para inspecciones posteriores se adopta el valor de desviación estándar de la inspección anterior en la determinación de n

N = número total de unidades de muestreo en la sección

A2.5.5.2.1 Si se considera necesario obtener un nivel de confianza de 95 %, se debe verificar que el número de unidades de muestreo inspeccionadas sea el adecuado. Como el número de unidades de muestreo se determinó inicialmente en base a una desviación estándar asumida, la desviación estándar real se debe calcular de acuerdo con la ecuación A2-2:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{n - 1}}$$

[Ecuación A2-2]

Donde:

PCI_i = PCI de la unidad de muestreo i

PCI_f = PCI de la sección (PCI promedio de las unidades de muestreo analizadas)

n = número total de unidades de muestreo analizadas

A2.5.5.2.2 Calcular el número mínimo de unidades de muestreo a ser analizadas utilizando la ecuación A2-1 y la desviación estándar obtenida con la ecuación A2-2. Si el número de unidades de muestreo a ser inspeccionadas resulta mayor a las ya inspeccionadas, se deben seleccionar e inspeccionar aleatoriamente unidades de muestreo adicionales. Estas unidades adicionales deben estar distribuidas uniformemente dentro la sección. Repetir el proceso de verificación del número mínimo de unidades de muestreo e inspeccionar unidades de muestreo adicionales hasta que el número total de muestras inspeccionadas sea igual o superior al mínimo requerido de acuerdo con la ecuación A2-1, utilizando la desviación estándar real.

A2.5.5.3 Una vez determinado el número de unidades de muestreo a ser inspeccionadas, calcular el intervalo de espaciamiento entre las unidades utilizando un muestreo aleatorio sistemático. Las muestras se deberán distribuir de manera uniforme en toda la extensión de la sección a partir de la primera muestra seleccionada al azar. El intervalo de espaciamiento (i) entre las unidades a ser inspeccionadas se calcula mediante la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato inferior [Ecuación A2- 3]:

$$i = N / n$$

[Ecuación A2- 3]

Donde:

N = número total de unidades de muestreo en la sección

n = número total de unidades de muestreo a ser analizadas

La primera muestra por analizar se selecciona al azar para todas las unidades de muestreo desde la 1 hasta la i . También deben ser inspeccionadas las unidades de muestreo dentro de

una sección que se encuentren ubicadas a incrementos i de espaciamiento luego de la primera unidad seleccionada al azar.

A2.5.6 Se puede emplear un nivel de confianza menor a 95 %, dependiendo de las condiciones y objetivos de la inspección. Como ejemplo, la siguiente tabla muestra el criterio utilizado por una agencia para determinar el número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas para fines diferentes a los de análisis de proyectos:

| Dadas | Inspeccionar |
|--------------------------------|------------------------|
| 1a 5 unidades de muestreo | 1 unidad de muestreo |
| 6 a 10 unidades de muestreo | 2 unidades de muestreo |
| 11 a 15 unidades de muestreo | 3 unidades de muestreo |
| 16 a 40 unidades de muestreo | 4 unidades de muestreo |
| Más de 40 unidades de muestreo | 10 % |

A2.5.7 Se deben analizar muestras unitarias adicionales solamente cuando se observen deterioros no representativos de la sección, tal como fuera definido en A2.2.1.3. Estas muestras deben ser seleccionadas por el usuario.

A2.6 PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN

A2.6.1 Inspeccionar individualmente cada unidad de muestreo elegida. Realizar un bosquejo de la unidad mostrando la ubicación de las losas. Registrar el tamaño de la unidad de muestreo, los números de sector y de sección a los que pertenece, y el número y tipo (aleatorio o adicional) de la unidad de muestreo, su número de losas y el tamaño de éstas. Registrar, también, el tamaño de la muestra, usando un odómetro. Realizar la inspección de cada losa anotando los deterioros existentes en ella y su grado de gravedad. Todos los tipos de deterioros y de grados de gravedad deben estar de acuerdo con lo que se describe en el apéndice A.

A2.6.2 Resumir los tipos de deterioros, su nivel de gravedad y el número de losas dentro la unidad de muestreo que contengan cada tipo y grado de gravedad. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestreo que se vaya a inspeccionar. Un ejemplo de hoja de registro de información para inspecciones de la condición de pavimentos rígidos se muestra en la Figura A2- 2, en la cual se puede apreciar que el método exige la inspección de 19 tipos de deterioros en los pavimentos rígidos. El método considera tres niveles de severidad para cada deterioro: bajo (L), medio (M) y alto (H).

A2.7 CÁLCULO DEL PCI

A2.7.1 Para cada combinación particular de tipo de deterioro y grado de severidad, sumar el número de losas en las cuales ello sucede. Por ejemplo, en la Figura A2- 2 hay tres losas conteniendo fallas de rotura de esquinas de baja severidad (deterioro 22 L).

A2.7.2 Dividir el número de losas anotadas en el paso A2.7.1 por el número total de losas de la unidad de muestreo y multiplicar por 100 para obtener el porcentaje de la densidad de cada combinación de deterioro y grado de severidad.

A2.7.3 Determinar los valores por deducir para cada combinación de deterioro y grado de severidad, usando la curva de deducción que corresponda de las que se encuentran en el apéndice B de este Anexo.

A2.7.4 Se debe aplicar el siguiente procedimiento para determinar el máximo valor deducible corregido (CDV).

A2.7.4.1 Si ninguno o solamente un valor deducible es mayor de 2, se usa el valor total en lugar del máximo valor deducible corregido (CDV) para determinar el PCI; en caso contrario, el máximo valor deducible corregido (CDV) se deberá determinar de acuerdo con el procedimiento indicado en los numerales A2.7.4.2 a A2.7.4.5

A2.7.4.2 Listar los valores deducibles individuales en orden descendente. Por ejemplo, en la Figura A2- 2 son: 30.5, 25.1, 12.6, 9.0, 8.0, 7.7, 5.8 y 4.4.

A2.7.4.3 Determinar el número admisible de deducciones, m, empleando la fórmula:

$$m = 1 + \left[\frac{9}{98} \right] [100 - HDV] \leq 10 \quad \text{[Ecuación A2- 4]}$$

Donde:

m = número admisible de deducciones, incluyendo fracción decimal (debe ser menor o igual a 10)

HDV = mayor valor deducible individual

Para el ejemplo de la figura A2- 2:

$$m = 1 + \left[\frac{9}{98} \right] [100 - 30.5] = 7.4 \quad \text{[Ecuación A2- 5]}$$

A2.7.4.4 El número de valores individuales deducibles se reduce a los m números más altos, incluyendo la parte fraccional. Para el ejemplo en la figura A2-3, los valores son: 30.5, 25.1,

12.6, 9.0, 8.0, 7.7, 5.8 y 1.76. Este último valor se obtiene multiplicando 4.4, que es el menor valor de los m valores mayores, por 0.4 ($4.4 \times 0.4 = 1.76$) que es la fracción decimal de 7.4. Si hay menos de m valores individuales deducibles, entonces se ingresan todos ellos.

A2.7.4.5 Determinar iterativamente el máximo valor deducible corregido (CDV), de la siguiente manera (ver figura A2-3):

A2.7.4.5.1 Determinar el valor total por deducir, sumando los valores individuales deducibles obtenidos en el paso A2.7.4.4. En el problema de la figura A2-3 es 100.5 (ver fila #1).

A2.7.4.5.2 Determinar “ q ”, como el número de deducciones con un valor mayor de 2.0. Para el ejemplo de la figura A2-3, q es igual a 7 (ver fila #1).

A2.7.4.5.3 Determinar el máximo valor deducible corregido (CDV) a partir del valor total deducible (TDV) y de “ q ”, buscando la curva de corrección apropiada en la Figura A2B-20 del apéndice B de este Anexo.

A2.7.4.5.4 Reducir a 2.0 el menor valor individual deducible y repetir los pasos A2.7.4.5.1 a A2.7.4.5.3, hasta que lograr que $q = 1$ (ver figura A2-3).

A2.7.4.5.5 El máximo valor deducible corregido (CDV) es el mayor de los valores deducibles corregidos. En el ejemplo de la figura A2-3 es 51.0.

A2.7.5 Calcular el PCI restando de 100 el máximo valor deducible corregido (CDV):

$$PCI = 100 - 51 = 49$$

[Ecuación A2-6]

A2.7.6 Determinar en la figura A2- 1 la clasificación de la condición del pavimento en la muestra a partir del PCI. Para un PCI = 49 la clasificación que le corresponde es “pobre”.

Figura A2-3 Cálculo del PCI corregido

$$m = 1 + (9/98) (100 - 30.5) = 7.4 < 8$$

Usar las 7 deducciones más altas y 0.4 para la octava deducción

$$0.4 \times 4.4 = 1.76$$

| # | Valores deducibles | | | | | | | | | | Total | q | CDV |
|----|--------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|--|--|-------|---|------|
| 1 | 30.5 | 25.1 | 12.6 | 9.0 | 8.0 | 7.7 | 5.8 | 1.76 | | | 100.5 | 7 | 50.0 |
| 2 | 30.5 | 25.1 | 12.6 | 9.0 | 8.0 | 7.7 | 2 | 1.76 | | | 96.7 | 6 | 49.5 |
| 3 | 30.5 | 25.1 | 12.6 | 9.0 | 8.0 | 2 | 2 | 1.76 | | | 91.0 | 5 | 51.0 |
| 4 | 30.5 | 25.1 | 12.6 | 9.0 | 2 | 2 | 2 | 1.76 | | | 85.0 | 4 | 49.0 |
| 5 | 30.5 | 25.1 | 12.6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.76 | | | 78.0 | 3 | 50.0 |
| 6 | 30.5 | 25.1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.76 | | | 67.4 | 2 | 50.0 |
| 7 | 30.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.76 | | | 44.3 | 1 | 44.3 |
| 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | |

$$\text{CDV máximo} = \underline{51}$$

$$\text{PCI} = 100 - \text{CDV máximo} = \underline{49}$$

$$\text{Clasificación} = \underline{\text{Pobre}}$$

A2.8 DETERMINACIÓN DEL PCI DE LA SECCIÓN

A2.8.1 Si se inspeccionaron todas unidades de muestreo de la sección, el PCI de la sección será el valor promedio de los PCI de estas unidades.

A2.8.2 Si todas las unidades de muestreo inspeccionadas fueron elegidas aleatoriamente, el PCI de la sección (PCI_s) se calcula como el PCI ponderado por las áreas de las unidades de muestreo inspeccionadas aleatoriamente ($\overline{PCI_r}$), mediante la ecuación:

$$PCI_s = \overline{PCI_r} = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}} \quad [\text{Ecuación A2- 7}]$$

Donde:

$\overline{PCI_r}$ = PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas, ponderado por área

PCI_{ri} = PCI de la unidad de muestreo aleatoria i

A_{ri} = área de la unidad de muestreo aleatoria i

n = número de unidades de muestreo aleatorias que se inspeccionaron

A2.8.3 Si se inspeccionaron unidades de muestreo adicionales, como se define en el numeral A2.2.1.3, el PCI ponderado por área de las unidades adicionales inspeccionadas se calcula con la ecuación:

$$\overline{PCI_a} = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \times A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}} \quad [\text{Ecuación A2- 8}]$$

Donde:

$\overline{PCI_a}$ = PCI de las unidades de muestreo adicionales, ponderado por área

PCI_{ai} = PCI de la unidad de muestreo adicional i

A_{ai} = área de la unidad de muestreo adicional i

m = número de unidades de muestreo adicionales que se inspeccionaron

A2.8.1.4 El PCI de la sección de pavimento se calcula con la ecuación:

$$PCI_s = \frac{\overline{PCI_r} \times (A - \sum_{i=1}^m A_{ai}) + \overline{PCI_a} \times (\sum_{i=1}^m A_{ai})}{A} \quad [\text{Ecuación A2- 9}]$$

Donde:

PCI_s = PCI de la sección de pavimento, ponderado por área

A = área de la sección

A2.8.4 Determinar, con ayuda de la figura A2- 1, la clasificación de la condición de toda la sección.

A2A APÉNDICE A DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS CON JUNTAS

A2A.1 GENERALIDADES

En este apéndice se presentan 19 tipos de deterioros de pavimentos rígidos. El orden en que aparecen no se ajusta a ninguna clasificación, sino que corresponde al que se le dio en la norma ASTM D 6433, en la cual se dispusieron en orden alfabético en idioma inglés. Las definiciones se ajustan tanto a los pavimentos de concreto simple como reforzado, salvo los agrietamientos longitudinales, los cuales se definen separadamente.

A2A.1.1 Durante las inspecciones de campo y la validación del PCI surgen algunas preguntas en relación con la manera de identificar y contar algunos de los deterioros. Las respuestas a ellas se incluyen bajo el subtítulo “Medida” de cada deterioro. Por conveniencia, sin embargo, las cuestiones planteadas con mayor frecuencia se abordan a continuación.

A2A.1.1.1 El escalonamiento se cuenta solamente en las juntas. El escalonamiento asociado a las grietas de las losas no se cuenta, por cuanto queda incorporado a las definiciones relacionadas con el nivel de gravedad de las grietas. Las definiciones sobre grietas se usan, también, para definir las que se presentan en las esquinas y en las losas divididas.

A2A.1.1.2 El deterioro del sello de las juntas no se cuenta losa por losa, sino que se asigna sobre la condición general del sello de todas las juntas del área.

A2A.1.1.3 Las grietas en las losas reforzadas cuya abertura sea inferior a 1/8” se cuentan como grietas de retracción. Las grietas de retracción no se deben contar para determinar si la losa está rota en cuatro o más fragmentos.

A2A.1.1.4 El descamado (scaling) de baja gravedad, es decir el craquelado, se debe contar solamente si hay evidencias de que puede seguir progresando (como, por ejemplo, si se debe a una reacción álcali-agregado).

A2A.1.2 El evaluador debe tener en cuenta que lo que se acaba de expresar son asuntos generales y no se deben tomar como criterios independientes de inspección. Para medir cada deterioro de manera apropiada, deberá estar familiarizado con los criterios propios que exige la inspección de cada deterioro.

A2A.2 CALIDAD DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN

A2A.2.1 La calidad de las condiciones de circulación se debe evaluar con el fin de establecer un nivel de gravedad para los deterioros de los tipos estallido/levantamiento y cruces férreos.

A2A.2.2 Para determinar el efecto de estos deterioros sobre la calidad de la circulación, el inspector debe conducir el vehículo a la velocidad normal de operación y aplicar los niveles de gravedad de acuerdo con las siguientes definiciones:




Bajo (L): se detectan vibraciones en el vehículo como, por ejemplo, las producidas por las ondulaciones, pero no es necesario reducir la velocidad por motivos de comodidad o seguridad. También clasifican en este nivel las protuberancias y los asentamientos individuales que hacen que el vehículo rebote ligeramente generando una leve incomodidad.

Medio (M): Las vibraciones del vehículo son significativas y es necesario reducir la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad. También se incluyen las protuberancias y los asentamientos individuales que hacen que el vehículo rebote considerablemente generando incomodidad.

Alto (H): Las vibraciones del vehículo son tan intensas, que es necesario reducir considerablemente la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad. También se incluyen las protuberancias y los asentamientos individuales que hacen que el vehículo rebote excesivamente generando incomodidad y riesgos para la seguridad o la posibilidad de que el vehículo sufra daños mecánicos.

A2A.2.3 El inspector debe circular a la velocidad de circulación autorizada, conduciendo un automóvil tipo sedán representativo del parque automotor que hace uso de la carretera. Las secciones cercanas a signos de “Pare” se deben calificar a la velocidad de desaceleración apropiada para la intersección.

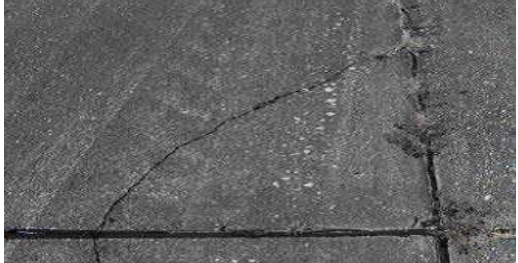


A2A.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS QUE CONSIDERA EL MÉTODO

| ESTALLIDO/LEVANTAMIENTO (BLOW/UP/BUCKLING) | |
|---|--|
| <p>Descripción: Los estallidos y levantamientos ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles dentro de juntas transversales deficientemente selladas. Cuando la expansión de la losa a causa del aumento de temperatura no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (levantamiento) o la destrucción de ésta en la vecindad de la junta. También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B- 1 del apéndice B. Este tipo de deterioro no es habitual en los pavimentos de las carreteras colombianas, pues es típico de zonas templadas y se presenta cuando las losas son muy largas. Se produce sobre todo en la estación de verano, cuando un día muy caloroso sigue a una noche fría.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): Causa una pérdida de baja gravedad en la calidad de la circulación</p> |  |
| <p>Medio (M): Causa una pérdida de gravedad media en la calidad de la circulación</p> |  |
| <p>Alto (H): Causa una pérdida de alta gravedad en la calidad de la circulación</p> |  |
| <p>Medida: En una grieta, un estallido se cuenta como presente en una losa. Sin embargo, si ocurre en una junta y afecta a dos losas se cuenta en ambas. Cuando la gravedad del deterioro deja el pavimento intransitable, éste se debe reparar de inmediato.</p> | |

GRIETA DE ESQUINA

Descripción: Es una grieta que se interseca con las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de ésta en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, si una losa con dimensiones de 3.50 m por 6.00 m presenta una grieta que alcanza sus bordes a 1.50 m en un lado y a 3.50 m en el otro lado, esta grieta no se considera de esquina sino diagonal. Sin embargo, una grieta que vaya desde 0.50 m a un lado hasta 2.40 m en el otro sí es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en el hecho de que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro interseca la junta formando un ángulo. Generalmente, las grietas de esquina son el resultado de la combinación de la repetición de cargas con pérdida de soporte y esfuerzos de alabeo de alabeo en las losas por gradientes de temperatura.




Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-2 del Apéndice B.

| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|--|--|
| <p>Bajo (L): La rotura está definida por una grieta de baja gravedad. Se considera de baja gravedad una grieta de esquina de ancho inferior a 13 mm o de cualquier ancho si está sellada y no se presenta escalonamiento. El área entre la grieta y las juntas no presenta grieta alguna o puede estar ligeramente agrietada.</p> |  |
| <p>Medio (M): La rotura está definida por una grieta de gravedad media o el área entre la grieta y las juntas presenta una grieta de severidad media. Se considera de gravedad media una grieta de esquina sin sellar cuyo ancho se encuentre en el rango de 13 mm a 50 mm; cualquier grieta de esquina de ancho inferior a 50 mm si no está sellada y, además, presenta un escalonamiento de menos de 10 mm; así como toda grieta sellada con escalonamiento menor a 10 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): La rotura está definida por una grieta de gravedad alta o el área entre la junta y las grietas está muy agrietada. Se considera de alta gravedad una grieta de esquina sin sellar cuyo ancho sea mayor de 50 mm, así como toda grieta sellada o no sellada con escalonamiento superior a 10 mm.</p> |  |
| <p>Medida: La losa deteriorada se registra como una (1) losa si:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Sólo tiene una grieta de esquina – Contiene más de una grieta de una determinada gravedad – Contiene dos o más grietas de gravedades diferentes – Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de gravedad detectado. Por ejemplo, si una losa tiene una grieta de esquina de gravedad baja y una de gravedad media, se deberá contabilizar como una (1) losa con grietas de esquina de gravedad media | |

LOSA FRAGMENTADA

Descripción: Losa que está dividida por grietas en cuatro o más fragmentos debido a sobrecarga y/o a un soporte inadecuado. Si todos los fragmentos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el deterioro se clasifica como grieta de esquina de nivel alto de gravedad

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-3 del Apéndice B.

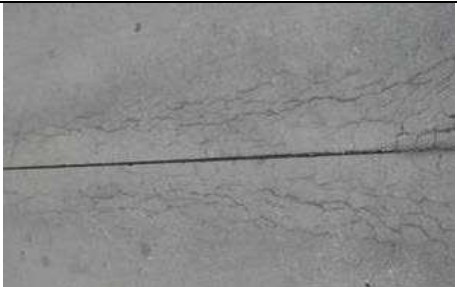


| Niveles de severidad | | | | Registro fotográfico | |
|---|---|-------|----------|--|---|
| Bajo (L): En el cuadro siguiente se anotan los niveles de gravedad este deterioro. | | | | | |
| Nivel de gravedad de la mayoría de la grietas | Número de fragmentos en la losa agrietada | | |  | |
| | 4 a 5 | 6 a 8 | Más de 8 | | |
| | Bajo (L) | L | L | | M |
| | Medio (M) | M | M | | H |
| | Alto (H) | M | H | | H |
| Medio (M): Ver cuadro. | | | | | |
| Nivel de gravedad de la mayoría de la grietas | Número de fragmentos en la losa agrietada | | |  | |
| | 4 a 5 | 6 a 8 | Más de 8 | | |
| | Bajo (L) | L | L | | M |
| | Medio (M) | M | M | | H |
| | Alto (H) | M | H | | H |
| Alto (H): Ver cuadro. | | | | | |
| Nivel de gravedad de la mayoría de la grietas | Número de fragmentos en la losa agrietada | | |  | |
| | 4 a 5 | 6 a 8 | Más de 8 | | |
| | Bajo (L) | L | L | | M |
| | Medio (M) | M | M | | H |
| | Alto (H) | M | H | | H |
| Medida: Si la losa fragmentada presenta un nivel de gravedad medio o alto, no se contabiliza otro tipo de deterioro. | | | | | |

GRIETA DE DURABILIDAD “D”

Descripción: El agrietamiento del tipo “D” es causado por la expansión de las partículas de mayor tamaño del agregado pétreo debido al proceso de congelamiento y descongelamiento que, con el tiempo, va degradando gradualmente el concreto. Usualmente, este deterioro se presenta como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Puesto que el concreto se satura cerca de las juntas y grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de deterioro puede llevar, eventualmente, a la destrucción de la totalidad de la losa.

Debido a que los pavimentos de la red vial nacional no están sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo, el agrietamiento tipo “D” no se presenta en ellos.

Con fines ilustrativos, las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-4 del Apéndice B.




| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|--|--|
| <p>Bajo (L): Las grietas “D” cubren menos del 15 % del área de la losa. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos fragmentos pueden haberse desprendido.</p> |  |
| <p>Medio (M): Se presenta una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las grietas “D” cubren menos del 15 % del área de la losa y la mayoría de los fragmentos se han desprendido o se pueden remover con facilidad. 2. Las grietas “D” cubren más del 15 % del área de la losa. La mayoría de ellas están cerradas, pero unos pocos fragmentos se han desprendido o se pueden remover fácilmente. |  |
| <p>Alto (H): Las grietas “D” cubren más del 15 % del área de la losa y la mayoría de los fragmentos se han desprendido o se pueden remover fácilmente.</p> |  |
| <p>Medida: Cuando el deterioro es localizado y se ha calificado en un solo nivel de gravedad, se cuenta como una losa. Si se presenta más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si en la misma losa hay grietas “D” de nivel de severidad bajo y medio, la losa se registra como de nivel de severidad medio únicamente.</p> | |

ESCALONAMIENTO

Descripción: Es la diferencia de nivel a través de una junta. Algunas causas comunes que originan este deterioro son:

- Asentamiento debido una fundación blanda
- Bombeo o erosión del material debajo de la losa
- Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura y humedad

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-5 del Apéndice B.




| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|--|--|
| Bajo (L): Diferencia de elevación mayor de 3 mm y menor de 10 mm. |  |
| Medio (M): Diferencia de elevación entre 10 mm y 20 mm. |  |
| Alto (H): Diferencia de elevación mayor de 20 mm |  |
| Medida: El escalonamiento a través de una junta se cuenta como una losa. Se cuentan únicamente las losas afectadas. Los escalonamientos a través de una grieta no se cuentan como deterioro, pero se consideran al definir el nivel de gravedad de las grietas. | |




DETERIORO DEL MATERIAL SELLANTE DE LAS JUNTAS

Descripción: Es cualquier condición que hace posible que suelo o partículas granulares se acumulen en las juntas o que permite una infiltración significativa de agua. La acumulación de materiales incompresibles impide la expansión de la losa y se puede traducir en fragmentación, levantamiento o desportilladura de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que esto suceda. Los deterioros típicos del material sellante de las juntas son los siguientes:

- Desprendimiento del sellante
- Expulsión del sellante
- Crecimiento de hierba
- Endurecimiento del material llenante (oxidación).
- Pérdida de adherencia entre el material sellante y los bordes de la losa.
- Falta o ausencia del sellante en la junta

Los valores de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-6 del Apéndice B.




| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|--|--|
| <p>Bajo (L): El sellante está en buena condición general en toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor.</p> <p>El deterioro es de baja gravedad si el sellante se ha despegado sólo en unas pocas juntas, pero aún se mantiene en contacto con los bordes de ellas. Esta condición existe si se puede insertar la hoja de un cuchillo entre el sellante y la cara junta sin que se presente resistencia.</p> |  |
| <p>Medio (M): El material sellante se encuentra en condición regular en toda la sección y requiere reemplazo en un término no mayor a dos años.</p> <p>El deterioro del material sellante es de gravedad media si en algunas pocas juntas se advierte que está en su lugar, pero el acceso de agua es posible a través de aberturas visibles de no más de 3 mm de ancho; sin embargo, se considera que esta condición no existe si la hoja de un cuchillo no se puede insertar fácilmente entre el sellante y la cara de la junta.</p> <p>También se considera que la gravedad es media si es evidente el bombeo de detritos, el sellante se encuentra oxidado e “inerte” pero moldeable (como un cable) y generalmente llena la abertura de la junta, o si existe vegetación en ella pero no oscurece su abertura.</p> |  |
| <p>Alto (H): El sellante está en condición generalmente pobre en toda la sección, con uno o más de los deterioros mencionados en un grado intenso. El sellante requiere reemplazo inmediato. También se considera que el deterioro es de alta gravedad si 10 % o más del sellante se ha perdido.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro del material sellante de las juntas no se registra losa por losa, sino que se califica con base en la condición global del sellante en todas las juntas del área.</p> | |




| DESNIVEL ENTRE CARRIL Y BERMA | |
|--|--|
| <p>Descripción: Es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de nivel se puede constituir en una amenaza para la seguridad de los usuarios. También puede ser causada por un incremento en la infiltración de agua.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-7 del Apéndice B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): La diferencia entre el borde del pavimento y la berma se encuentra entre 25 mm y 50 mm.</p> |  |
| <p>Medio (M): La diferencia de nivel se encuentra entre 51 mm y 100 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): La diferencia de nivel es mayor de 100 mm.</p> |  |
| <p>Medida: El desnivel carril/berma se calcula promediando los desniveles máximo y mínimo a lo largo de la losa. Cada losa que exhiba este deterioro se mide separadamente y se registra como una losa con el nivel de gravedad correspondiente.</p> | |

| GRIETA LINEAL (LONGITUDINAL, TRANSVERSAL, DIAGONAL) | |
|--|--|
| <p>Descripción: Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres piezas, suelen ser causadas por una combinación de la repetición de cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o cambios de humedad (Las losas divididas en cuatro o más piezas se contabilizan como losas divididas). Las grietas capilares de poca longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción. Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-8, Apéndice B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): <u>Losas de concreto simple</u> Grietas no selladas con $a \leq 13$ mm, o grietas selladas de cualquier ancho con el sellante en buena condición. No hay escalonamiento.</p> <p><u>Losas de concreto reforzado</u> Grietas no selladas con ancho mayor o igual a 3 mm y menor de 25 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escalonamiento.</p> |  |
| <p>Medio (M): <u>Losas de concreto simple</u> Se presenta una de las siguientes condiciones: Grieta no sellada con ancho mayor de 13 mm y menor o igual a 50 mm. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 50 mm con escalonamiento menor de 10 mm. Grieta sellada de cualquier ancho con escalonamiento menor de 10 mm.</p> <p><u>Losas de concreto reforzado</u> Se presenta una de las siguientes condiciones: Grieta no sellada con un ancho mayor o igual a 25 mm y menor de 75 mm y sin escalonamiento. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 75 mm con escalonamiento no mayor a 10 mm. Grieta sellada de cualquier ancho con escalonamiento no mayor a 10 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): <u>Losas de concreto simple</u> Se presenta una de las siguientes condiciones: Grieta no sellada con ancho mayor a 50 mm. Grieta sellada o no sellada de cualquier ancho con escalonamiento mayor de 10 mm.</p> <p><u>Losas de concreto reforzado</u> Se presenta una de las siguientes condiciones: Grieta no sellada de más de 75 mm de ancho. Grieta sellada o no sellada de cualquier ancho y con escalonamiento mayor a 10 mm.</p> |  |
| <p>Medida: Una vez se ha establecido la gravedad, el deterioro se registra como una losa. Si se presentan dos grietas de gravedad media en una losa, dicha losa se cuenta como teniendo una de grieta de alta gravedad. Las losas divididas en cuatro o más piezas se registran como losas divididas. Las losas de longitud mayor de 9 m se dividen en "losas" de aproximadamente igual longitud y que tienen juntas imaginarias, las cuales se asume que están en perfecta condición. Las grietas de menos de 3 mm en losas reforzadas se contabilizan como grietas de retracción.</p> | |

PARCHE DE GRAN TAMAÑO (MAYOR DE 0.5 m²) Y ACOMETIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS

Descripción: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un nuevo material. Una excavación para acometida de servicios públicos es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de instalaciones subterráneas. Los niveles de gravedad de una excavación de servicios son los mismos que para el parche de gran tamaño. Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-9 del Apéndice B.

| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|--|--|
| Bajo (L): El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño. |  |
| Medio (M): El parche está moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser desalojado haciendo un esfuerzo considerable. |  |
| Alto (H): El parche está muy deteriorado. La amplitud de deterioro exige su reemplazo. |  |
| Medida: Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de gravedad, se cuenta como una losa que tiene ese deterioro con ese nivel. Si una sola losa presenta parches con más de un nivel de gravedad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de gravedad detectado. | |

| PARCHE PEQUEÑO (MENOR DE 0.5 m²) | |
|--|--|
| Descripción: Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un nuevo material. Una excavación para acometida de servicios públicos es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de instalaciones subterráneas. Los niveles de gravedad de una excavación de servicios son los mismos que para el parche de gran tamaño. Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B- 10 del Apéndice B. | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| Bajo (L): El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño. |  |
| Medio (M): El parche está moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser desalojado haciendo un esfuerzo considerable. |  |
| Alto (H): El parche está muy deteriorado. La amplitud de deterioro exige su reemplazo. |  |
| Medida: Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de gravedad, se cuenta como una losa que tiene ese deterioro con ese nivel. Si una sola losa presenta parches con más de un nivel de gravedad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de gravedad detectado. | |

DESGASTE DE LA SUPERFICIE

Descripción: Desintegración progresiva de la superficie del pavimento, perdiéndose primero la macrotextura y luego el mortero, quedando expuesto el agregado grueso.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-11 del Apéndice B.

Niveles de gravedad

No se pueden definir grados de gravedad mediante inspección visual. El desgaste superficial debe ser evidente para anotarlo como defecto.

Registro fotográfico



Medida: Cualquier losa en que se detecte el agregado grueso expuesto se debe registrar como una losa con el deterioro.

SALTADURAS (POPOUTS)

Descripción: Una saltadura (popout) es una cavidad, de forma generalmente redondeada, que se forma al desprenderse concreto de la superficie del pavimento. Su diámetro varía entre 25 mm y 100 mm y su profundidad entre 13 mm y 50 mm. Se puede deber, entre otras causas, a la presencia de partículas deleznales en el interior del concreto o a la falta de homogeneidad del mortero.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B- 12 del Apéndice B.

Niveles de gravedad

No se definen grados de gravedad. Sin embargo, las saltaduras (popouts) deben ser generalizados antes que se registren como deterioro. La densidad promedio debe exceder, aproximadamente, de cuatro por metro cuadrado en el área de una losa.

Registro fotográfico



Medida: Se debe establecer que existan más de cuatro por metro cuadrado de losa. Si hay duda de ello, se deben revisar aleatoriamente al menos tres áreas de un metro cuadrado. Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, se debe contabilizarse la losa como deteriorada.

BOMBEO

Descripción: El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o las grietas. Esto se origina por la deflexión que sufre la losa debido a la acción de las cargas del tránsito. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es forzada inicialmente bajo la losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa posterior. Esta acción erosiona y, eventualmente, remueve partículas de suelo, lo que genera una pérdida progresiva del soporte del pavimento. El bombeo se puede identificar por manchas en la superficie del pavimento y la evidencia de material de base o de subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas. El bombeo cerca de las juntas es causado por un sello deficiente de la junta e indica la pérdida de soporte. Eventualmente, se producen grietas a causa de la repetición de cargas. El bombeo también puede ocurrir a lo largo del borde de la losa, causando pérdida de soporte.

En términos estrictos, el bombeo no es un deterioro, sino un síntoma de la susceptibilidad a la erosión del material que soporta la losa y de deficiencias en el sello de las juntas. Sin embargo, si no se controla oportunamente, puede derivar en graves deterioros estructurales.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-13 del Apéndice B.

Niveles de gravedad

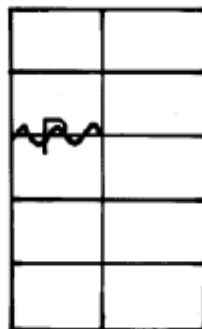
No se definen grados de gravedad. Es suficiente indicar la existencia del bombeo

Registro fotográfico

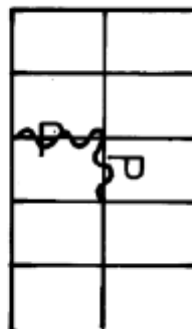


Medida: El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como dos losas. Sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa también presentan bombeo, se agrega una losa por cada junta adicional con bombeo.

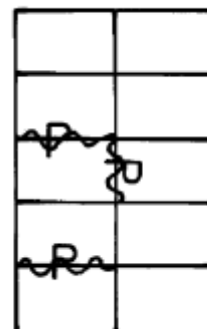
se cuentan dos losas



se cuentan tres losas



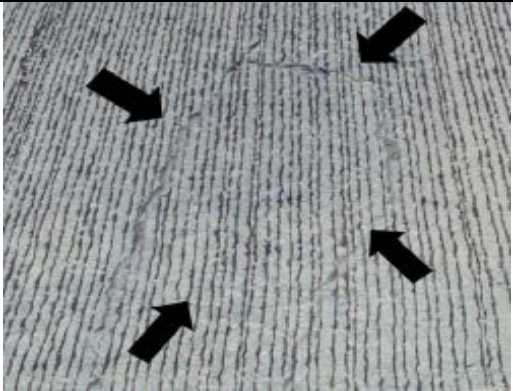
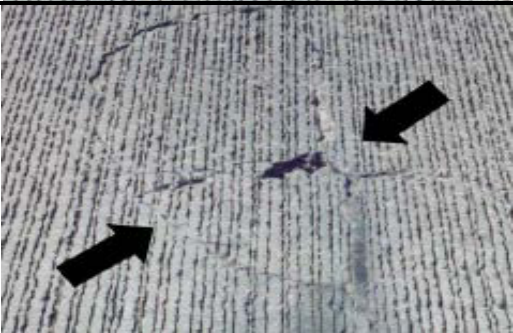

se cuentan cinco losas






PUNZONAMIENTO

Descripción: Este deterioro es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes pero, usualmente, está delimitado por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente a menos de 1.50 m entre sí. Este deterioro se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto (por ejemplo, hormigueros). El punzonamiento es un deterioro típico de pavimentos de concreto reforzado.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-14 del Apéndice B.

| Niveles de severidad | | | | Registro fotográfico | |
|---|------------------|------|----------|--|---|
| Bajo (L): En el cuadro siguiente se anotan los niveles de gravedad este deterioro. | | | | | |
| Nivel de gravedad de la mayoría de la grietas | Número de piezas | | |  | |
| | 2 a3 | 4 a5 | Más de 5 | | |
| | Bajo (L) | L | L | | M |
| | Medio (M) | L | M | | H |
| Alto (H) | M | H | H | | |
| Medio (M): Ver cuadro. | | | | | |
|  | | | | | |
| Alto (H): Ver cuadro. | | | | | |
|  | | | | | |
| Medida: Si la losa tiene más de un punzonamiento o un punzonamiento y una grieta, se contabiliza como destruida. | | | | | |

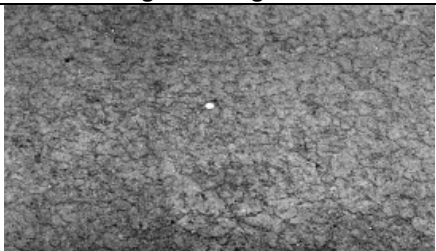

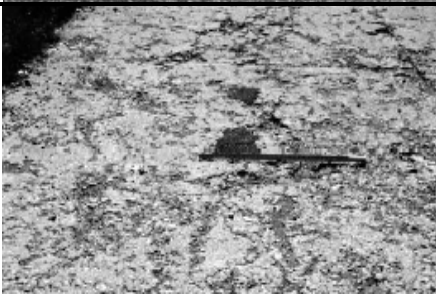
| CRUCE DE VÍA FÉRREA | |
|--|--|
| <p>Descripción: El deterioro en el cruce de vía férrea se caracteriza por depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-15 del Apéndice B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): El cruce de vía férrea produce un efecto de baja severidad en la calidad de tránsito.</p> |  |
| <p>Medio (M): El cruce de vía férrea produce un efecto de gravedad media en la calidad de tránsito.</p> |  |
| <p>Alto (H): El cruce de vía férrea produce un efecto muy adverso en la calidad de tránsito.</p> |  |
| <p>Medida: Se cuenta el número de losas atravesadas por los rieles de la vía férrea. Cualquier abultamiento de gran magnitud producido por los rieles se debe contar como parte del cruce.</p> | |

CRAQUELADO (CRAZING), DESCAMADO (SCALING)

Descripción: El mapa de grietas o craquelado se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a intersectarse en ángulos de 120°. Generalmente, este deterioro se produce por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6 mm a 13 mm. El descamado también puede ser causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad. El tipo de descamado descrito aquí es diferente del agrietamiento en “D”. Si el descamado es causado por este último agrietamiento se debe contabilizar como deterioro en “D”.

Existe una variedad de craquelado que es el producido por la reacción expansiva entre los álcalis del cemento y la sílice del agregado pétreo del concreto (reacción álcali-sílice), la cual produce un gel alrededor de las partículas del agregado, gel que absorbe agua causando la expansión interna del concreto y el agrietamiento en forma de craquelado. Si éste es el caso, las opciones de mantenimiento deben ser más potentes.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-16 del Apéndice B.

| Niveles de gravedad | Registro fotográfico | |
|--|----------------------|--|
| Bajo (L): El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición, sólo con un descamado menor presente. | |  |
| Medio (M): La losa está descamada, pero menos del 15% de la losa está afectada. | |  |
| Alto (H): La losa está descamada en más del 15 % de su área. | |  |

Medida: Una losa con descamada se contabiliza como una losa con este deterioro. El craquelado de baja severidad se debe contabilizar únicamente si la aparición del descamado es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han desprendido.

GRIETAS DE RETRACCIÓN

Descripción: Son grietas capilares usualmente de menos de 2 m de longitud que no se extienden a lo largo de toda la losa. Se forman durante el fraguado y curado del concreto y, generalmente, no se extienden a través del espesor de la losa.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-17 del Apéndice B.

Niveles de gravedad

No se definen niveles de gravedad. Basta con indicar que las grietas de retracción están presentes.

Registro fotográfico



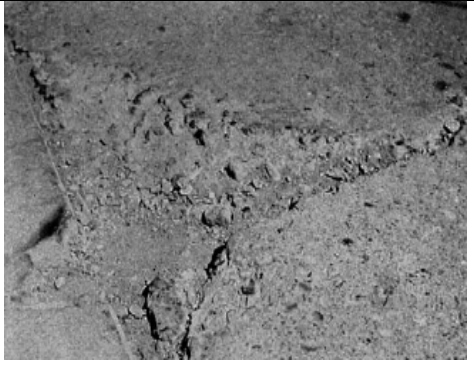


Medida: Se contabiliza como una losa con grietas de retracción si se presentan una o más grietas de retracción en ella,

DESPORTILLADURA DE ESQUINA

Descripción: Es la rotura de la losa aproximadamente dentro de los primeros 0.5 m a partir de la esquina. Una desportilladura de esquina se distingue de la grieta de esquina en el hecho de que la desportilladura usualmente se inclina hacia abajo para intersectarse con la junta, mientras que la grieta de esquina se extiende verticalmente a través de la esquina de losa. No se deberán registrar desportilladuras de menos de 130 mm desde la grieta hasta la esquina en ambos lados.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-18 del Apéndice B.

| Niveles de gravedad | | Registro fotográfico |
|---|--|--|
| Bajo (L): Los niveles de gravedad para el descascamiento de esquina se muestran en el siguiente cuadro. No se deberá contar la desportilladura de esquina con un área menor a 65 cm ² desde la grieta hasta la esquina en ambos lados no deberá contarse. | |  |
| Profundidad de la desportilladura | Dimensiones de los lados de la desportilladura | |
| | 130×130 mm a 300×300 mm | |
| Menor de 25mm | L | |
| 25 – 50 mm | L | |
| Mayor de 50 mm | M | |
| Medio (M): Ver cuadro. | |  |
| Profundidad de la desportilladura | Dimensiones de los lados de la desportilladura | |
| | 130×130 mm a 300×300 mm | |
| Menor de 25mm | L | |
| 25 – 50 mm | L | |
| Mayor de 50 mm | M | |
| Alto (H): Ver cuadro. | |  |
| Profundidad de la desportilladura | Dimensiones de los lados de la desportilladura | |
| | 130×130 mm a 300×300 mm | |
| Menor de 25mm | L | |
| 25 – 50 mm | L | |
| Mayor de 50 mm | M | |
| Medida: Si en una losa hay una o más la desportilladuras con el mismo nivel de gravedad, la losa se registra como una losa con la desportilladura de esquina. Si se presenta más de un nivel de gravedad, la losa se reporta con el mayor nivel de gravedad. | | |

DESPORTILLADURA DE JUNTA

Descripción: Es la rotura de los bordes de la losa dentro de los primeros 0.60 m a partir de la junta. Generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa sino que llega a la junta con alguna inclinación. Se produce por:

- Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.
- Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A2B-19 del Apéndice B.

Niveles de gravedad

Registro fotográfico

Bajo (L): El cuadro ilustra los niveles de gravedad para la desportilladura de junta. Una junta gastada, en la cual el concreto presente desgaste a lo largo de toda la junta se califica como de baja gravedad.

| Desportilladura | | | |
|---|------------|--------------|-------|
| Fragmentos | Ancho (mm) | Longitud (m) | |
| | | < 0.5 | > 0.5 |
| Duros. No se pueden remover (pueden faltar algunos) | < 100 | L | L |
| | > 100 | L | L |
| Suelos. Se pueden remover. Algunos pueden faltar. Si faltan la mayoría, pero el fenómeno es superficial (< 25 mm) | < 100 | L | M |
| | > 100 | L | M |
| Desaparecidos. La mayoría o todas las piezas han desaparecido | < 100 | L | M |
| | > 100 | M | H |



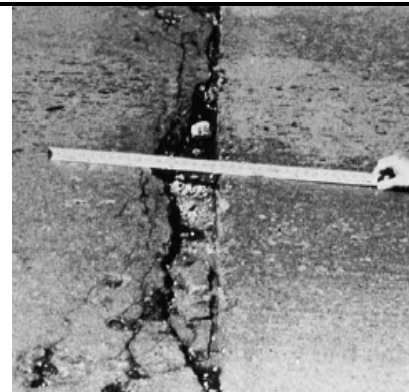
Medio (M): Ver cuadro.

| Desportilladura | | | |
|---|------------|--------------|-------|
| Fragmentos | Ancho (mm) | Longitud (m) | |
| | | < 0.5 | > 0.5 |
| Duros. No se pueden remover (pueden faltar algunos) | < 100 | L | L |
| | > 100 | L | L |
| Suelos. Se pueden remover. Algunos pueden faltar. Si faltan la mayoría, pero el fenómeno es superficial (< 25 mm) | < 100 | L | M |
| | > 100 | L | M |
| Desaparecidos. La mayoría o todas las piezas han desaparecido | < 100 | L | M |
| | > 100 | M | H |



Alto (H): Ver cuadro.

| Desportilladura | | | |
|---|------------|--------------|-------|
| Fragmentos | Ancho (mm) | Longitud (m) | |
| | | < 0.5 | > 0.5 |
| Duros. No se pueden remover (pueden faltar algunos) | < 100 | L | L |
| | > 100 | L | L |
| Suelos. Se pueden remover. Algunos pueden faltar. Si faltan la mayoría, pero el fenómeno es superficial (< 25 mm) | < 100 | L | M |
| | > 100 | L | M |
| Desaparecidos. La mayoría o todas las piezas han desaparecido | < 100 | L | M |
| | > 100 | M | H |



Medida: Si la desportilladura se presenta a lo largo del borde de una losa, ésta se cuenta como una losa con desportilladura de junta. Si está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor gravedad se cuenta y se registra como una losa. La desportilladura de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas de carriles adyacentes.

A2A.4 PÉRDIDA DE MACROTEXTURA DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS EN SERVICIO

Un deterioro importante de los pavimentos rígidos es el relacionado con la pérdida de macrotextura superficial. Durante la construcción del pavimento, en la fase final se busca la producción de suficiente mortero superficial para obtener un acabado muy pulido. En otras palabras, normalmente no hay partículas gruesas expuestas en la superficie de un pavimento rígido recién construido. Debido a ello, es necesario adaptar la superficie a las necesidades del tránsito automotor, brindándole un macrotexturizado en fresco, cuya finalidad es incrementar la capacidad de drenaje por canalización en la interfaz con el neumático, de manera de evitar la propensión al hidroplaneo y la existencia de bajos coeficientes de resistencia al deslizamiento que generen problemas de seguridad a los usuarios.

El desgaste superficial producido por la acción repetida de las cargas del tránsito va reduciendo la profundidad de las ranuras formadas durante el texturizado inicial. Una regla empírica dice que una profundidad de ranura inferior al espesor de una cerilla de madera suele ser inaceptable. Por lo tanto, al evaluar un pavimento rígido se debe inspeccionar con detenimiento la condición de su macrotextura, con el fin de aplicar acciones apropiadas de mantenimiento periódico cuando sus valores desciendan a límites que puedan generar riesgos para los usuarios. El método PCI no toma ninguna provisión respecto del registro de este defecto y, por lo tanto, los problemas relacionados con la macrotextura de la superficie se deben anotar como comentarios generales en los formularios de evaluación.

Figura A2A-1 Pavimento rígido antes y después de ser texturizado mediante ranurado



A2B APÉNDICE B CURVAS CON LOS VALORES POR DEDUCIR EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Figura A2B- 1 Estallido y levantamiento

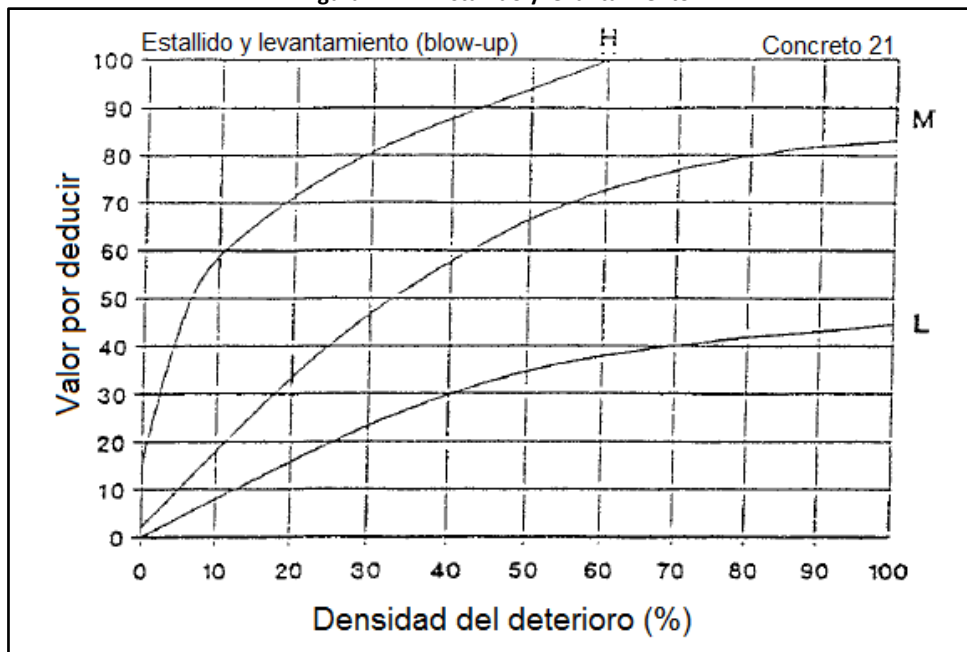


Figura A2B- 2 Grieta de esquina

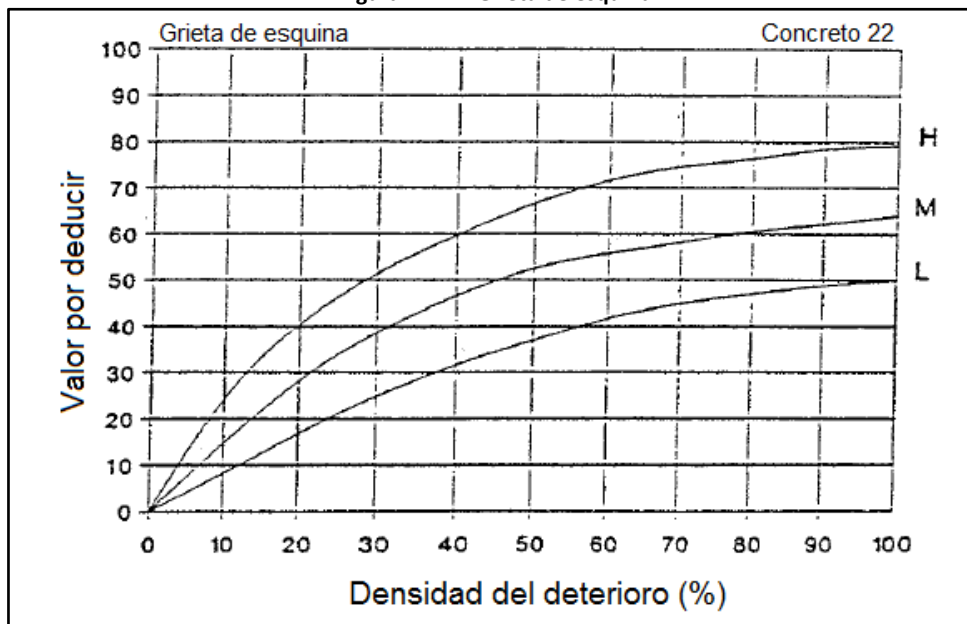


Figura A2B- 3 Losa fragmentada

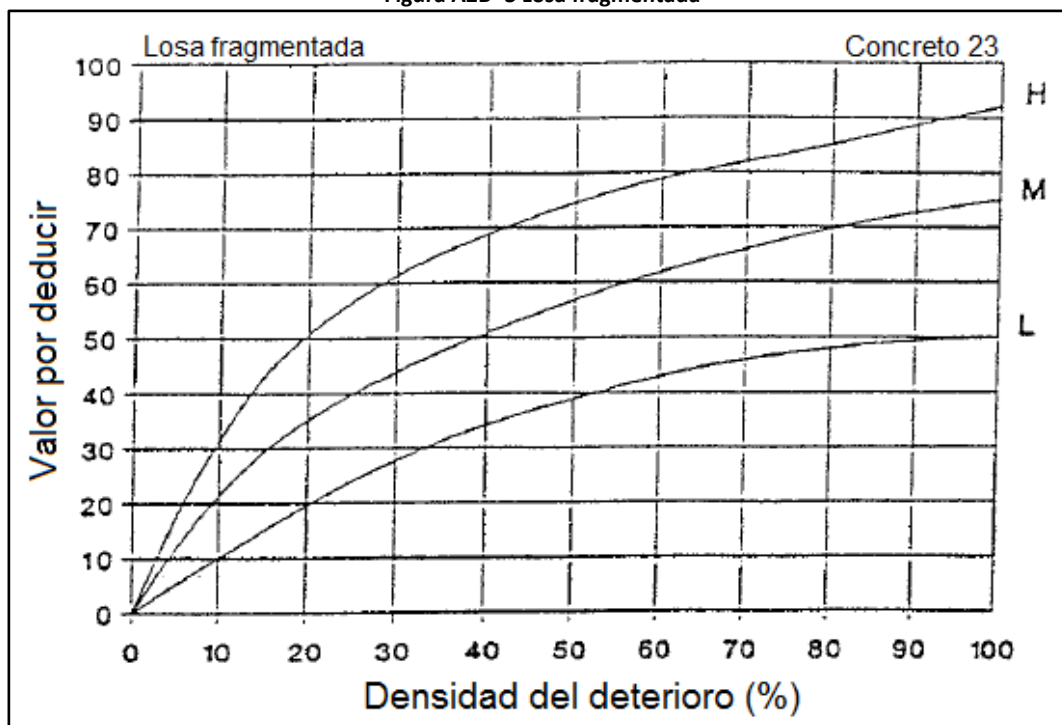


Figura A2B- 4 Grieta de durabilidad "D"

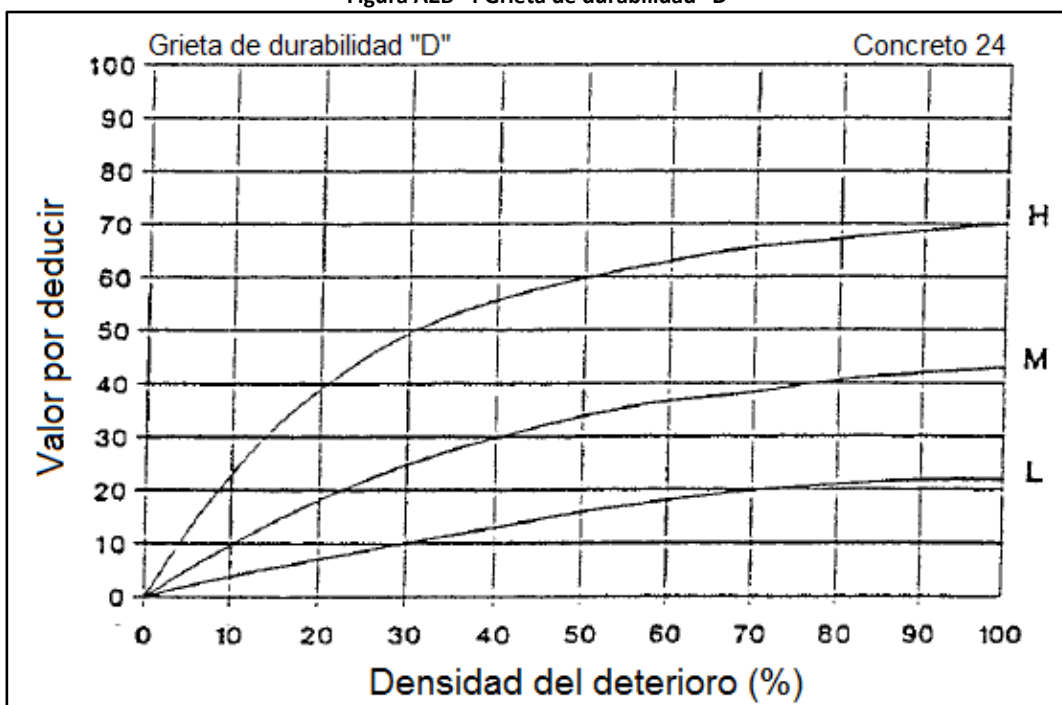


Figura A2B- 5 Escalonamiento

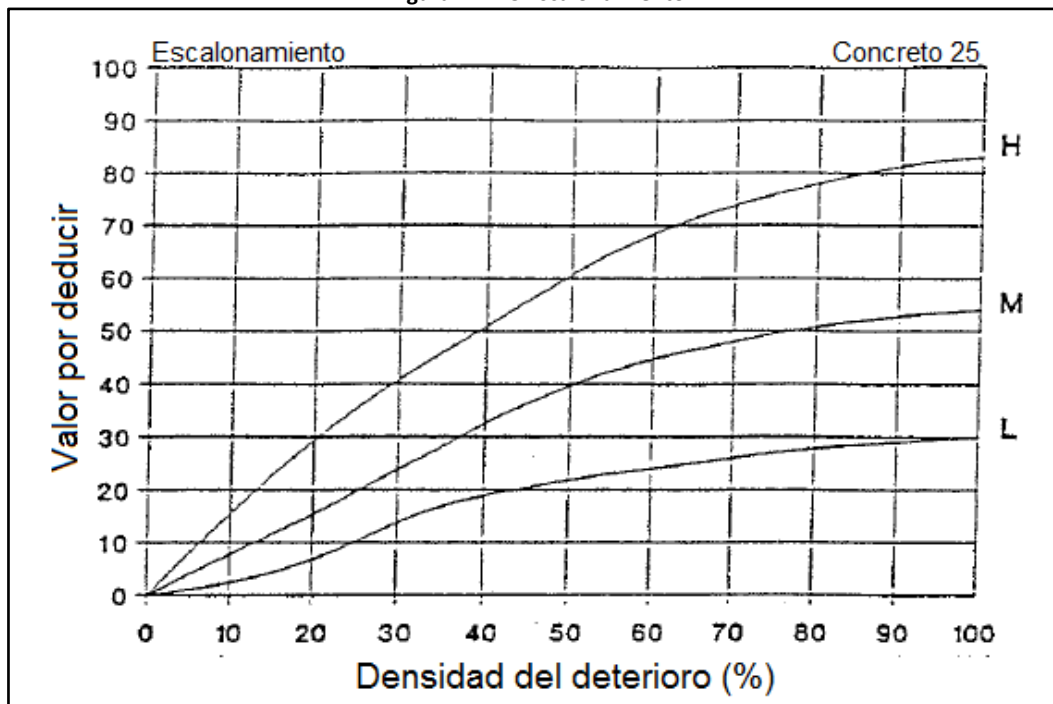


Figura A2B- 6 Deterioro del material de sello de las juntas

Deterioro del material sellante de las juntas

Concreto 26

El deterioro del material sellante de las juntas no se califica por densidad. Su gravedad se establece por la condición general del sello en cada unidad de muestreo. Los valores por deducir para los tres niveles de gravedad son los siguientes:

| | |
|-----------|----------|
| Bajo (L) | 2 puntos |
| Medio (M) | 4 puntos |
| Alto (H) | 8 puntos |

Figura A2B- 7 Desnivel carril/berma

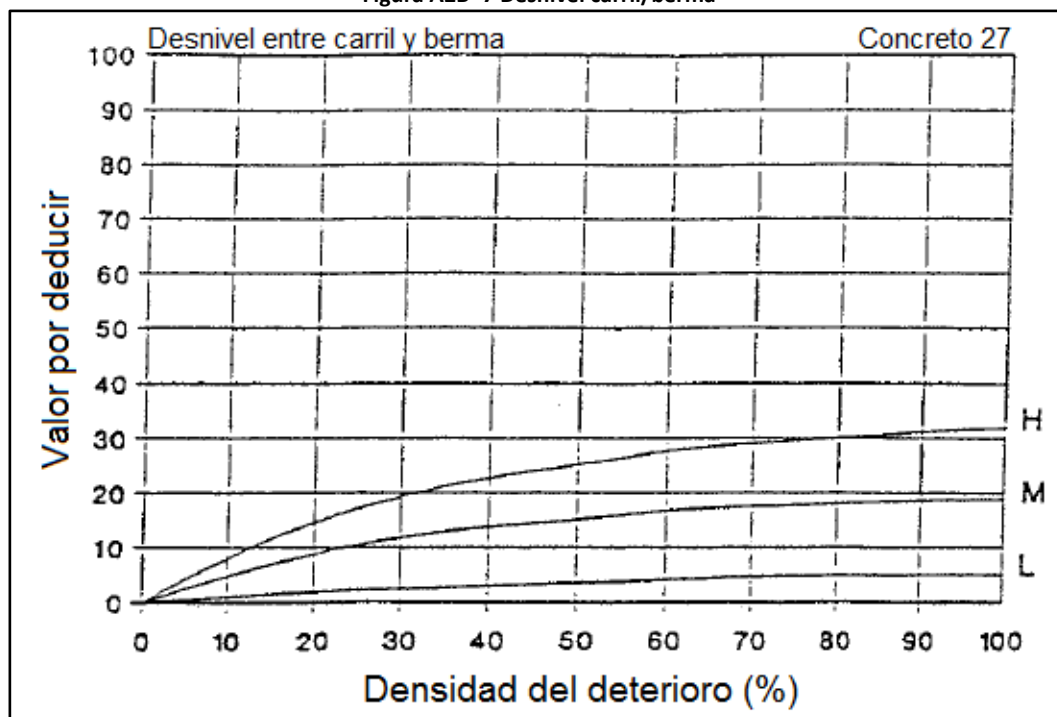


Figura A2B- 8 Grieta lineal

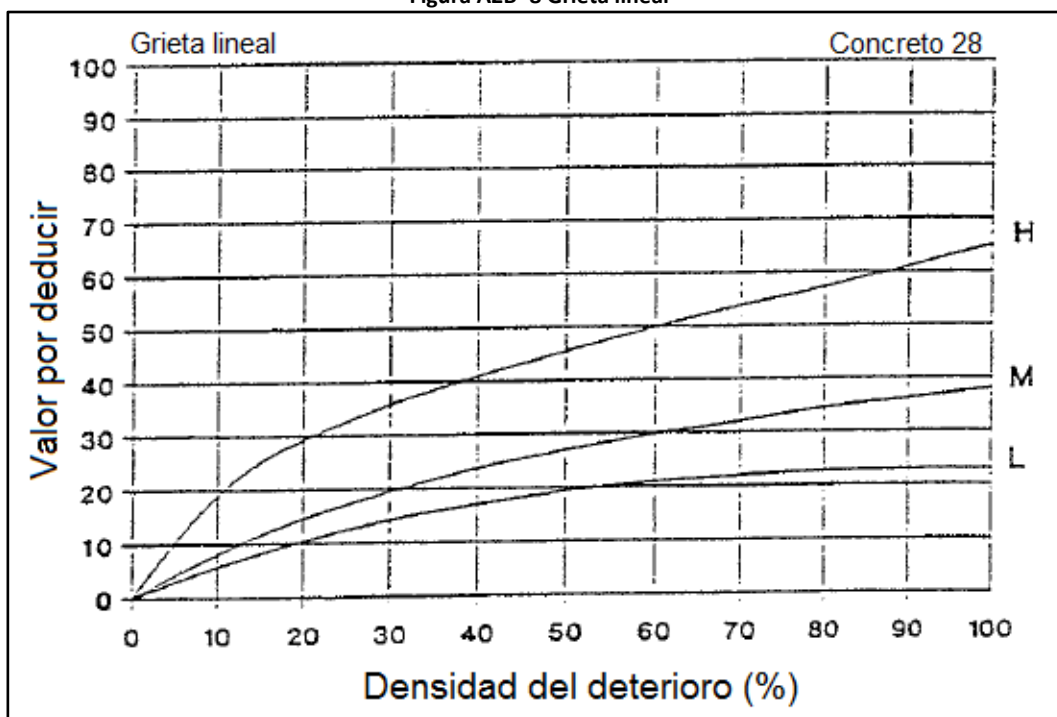


Figura A2B- 9 Parche (grande)

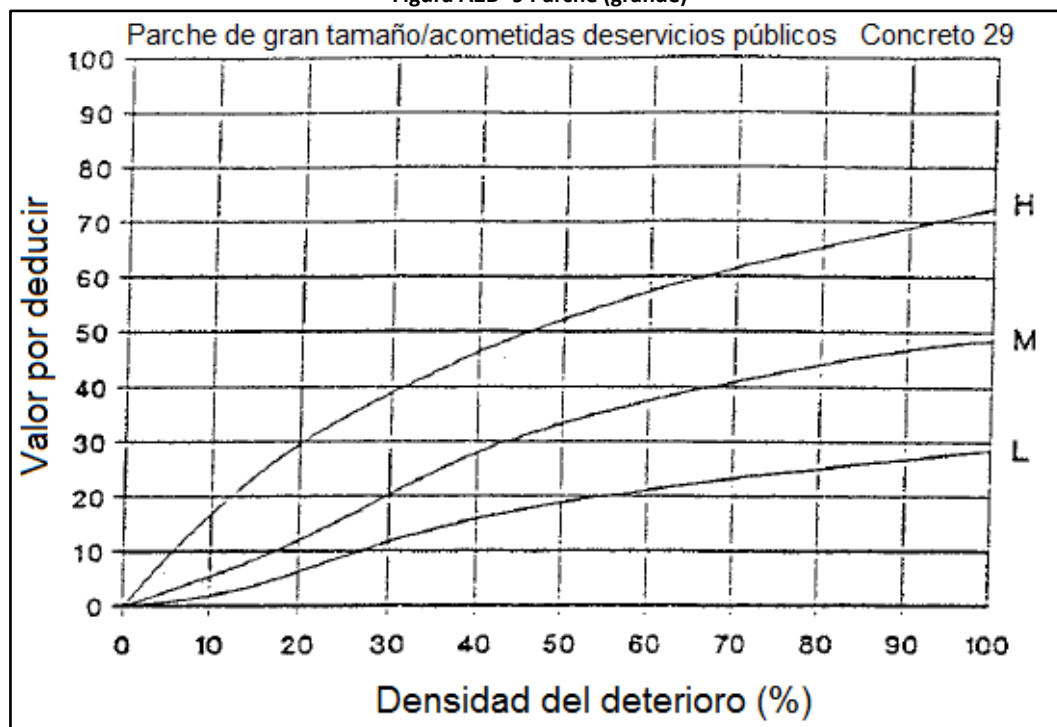


Figura A2B- 10 Parche (pequeño)

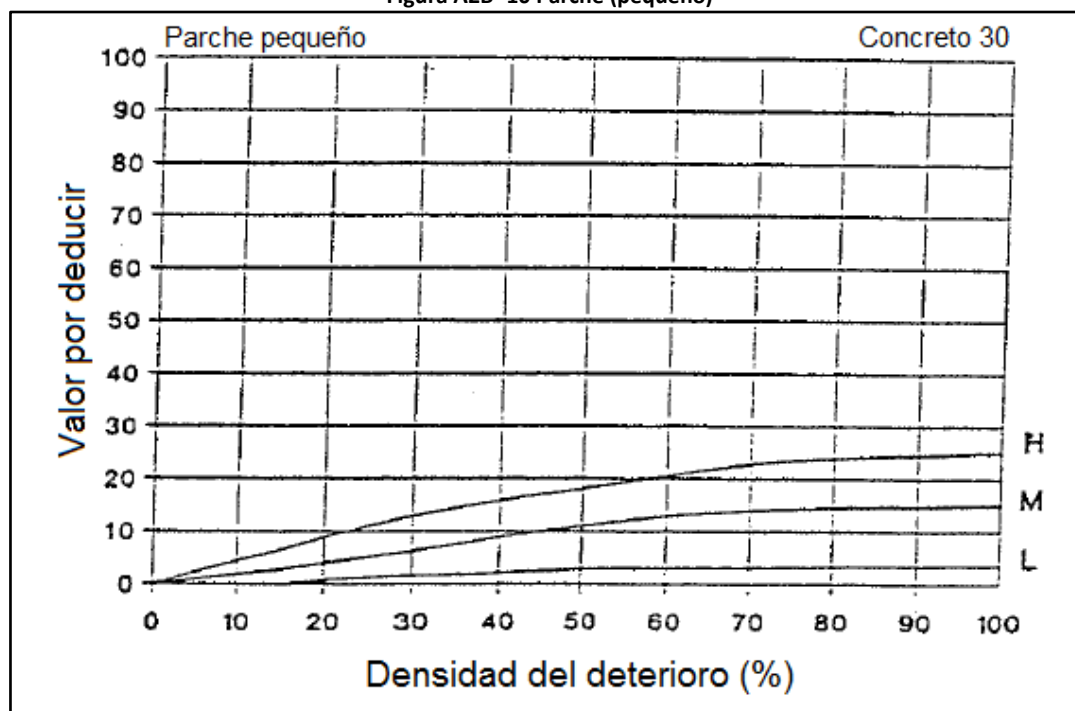


Figura A2B- 11 Desgaste de la superficie

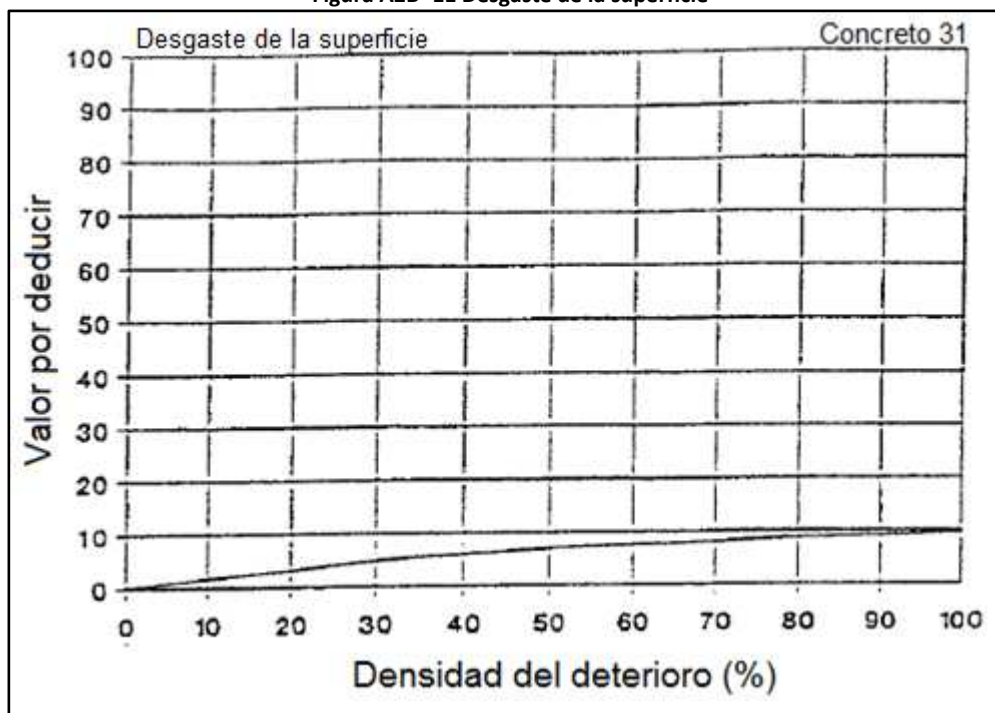


Figura A2B- 12 Saltaduras (popouts)

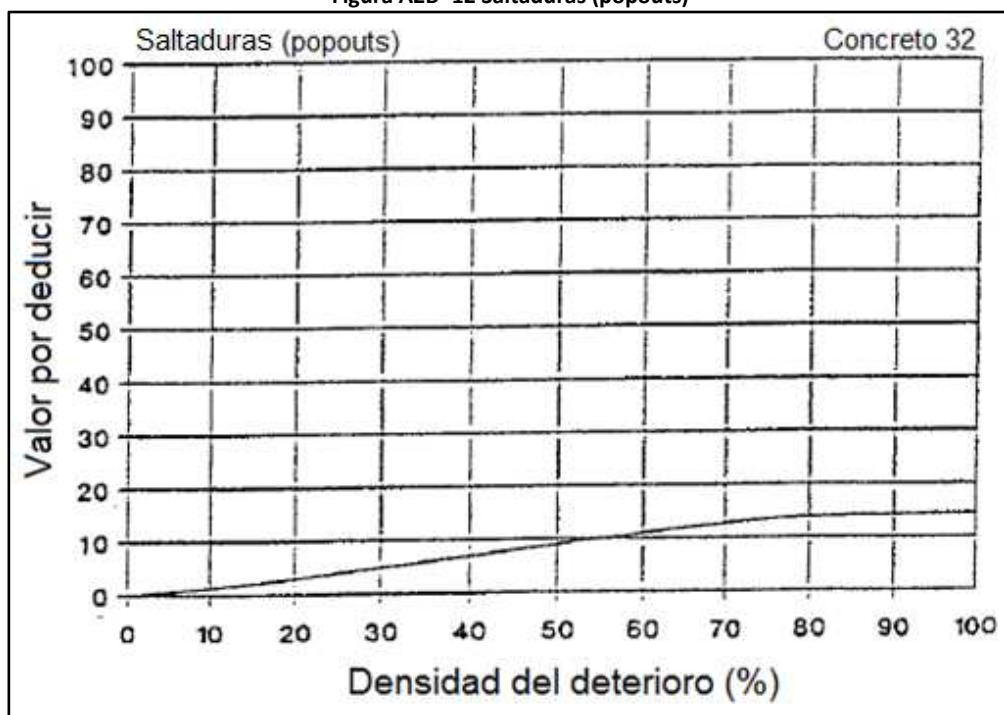


Figura A2B-13 Bombeo

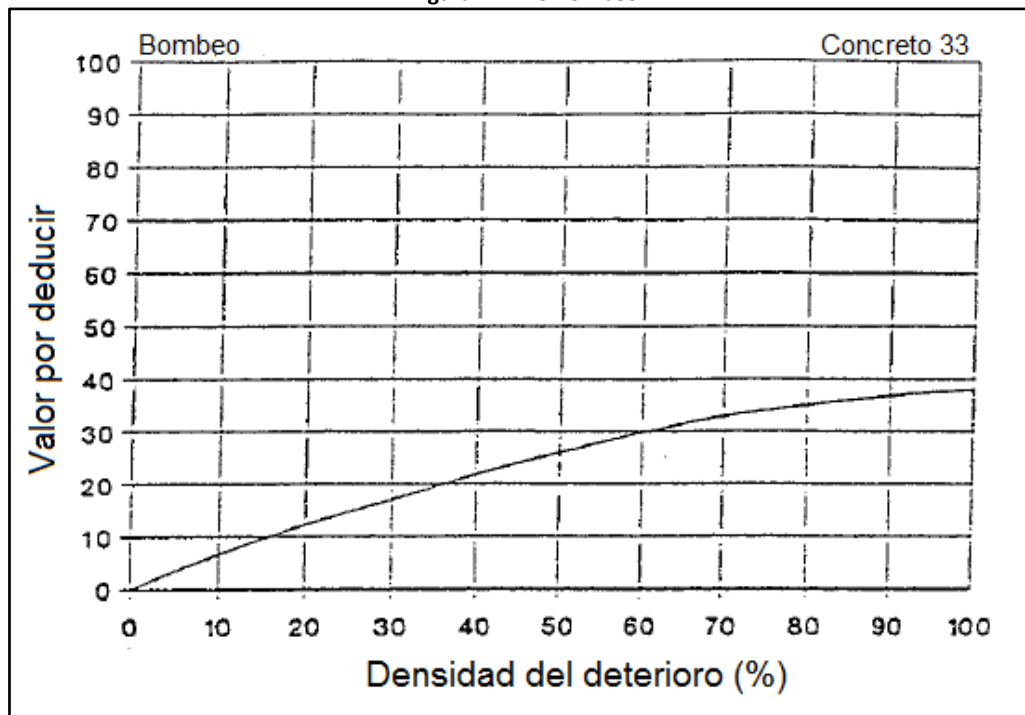


Figura A2B-14 Punzonamiento

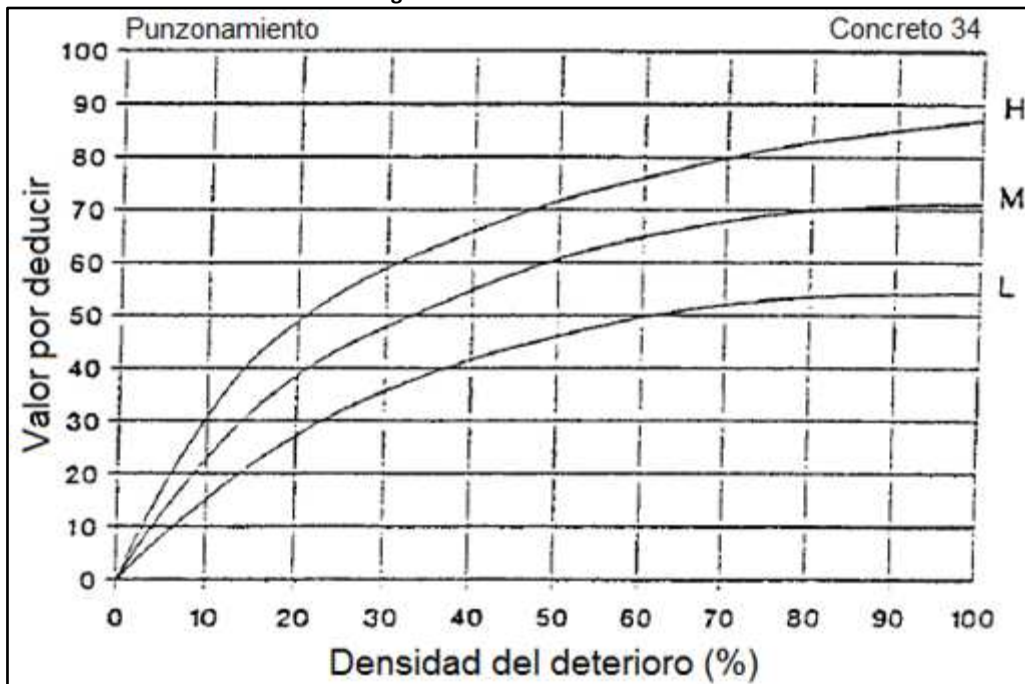


Figura A2B-15 Cruce de vía férrea

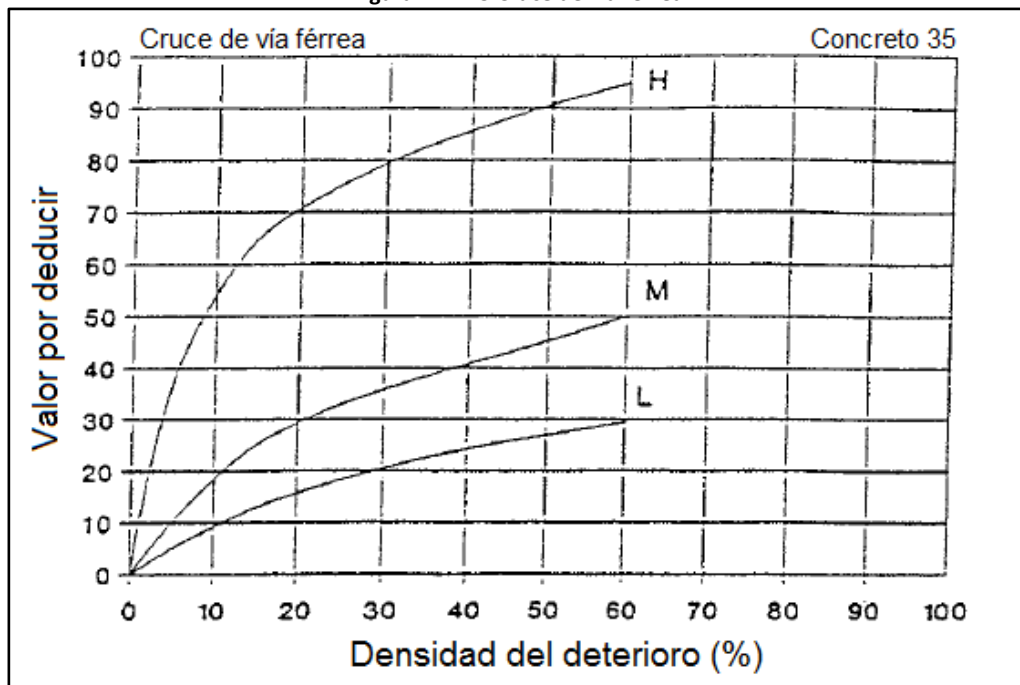


Figura A2B-16 Craquelado/descamado

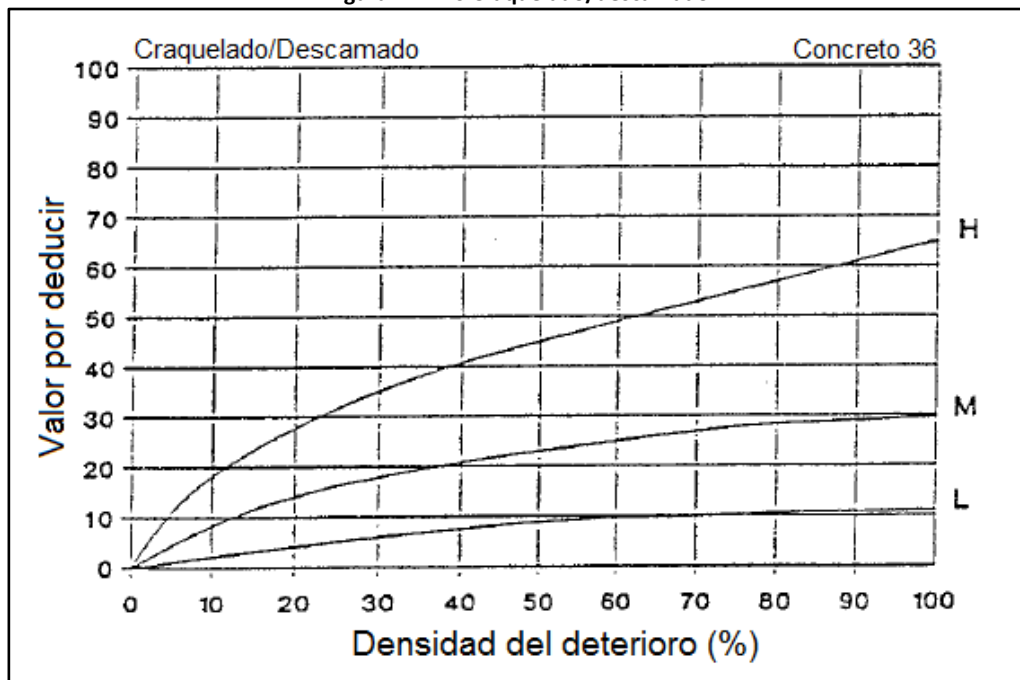


Figura A2B-17 Grietas de retracción

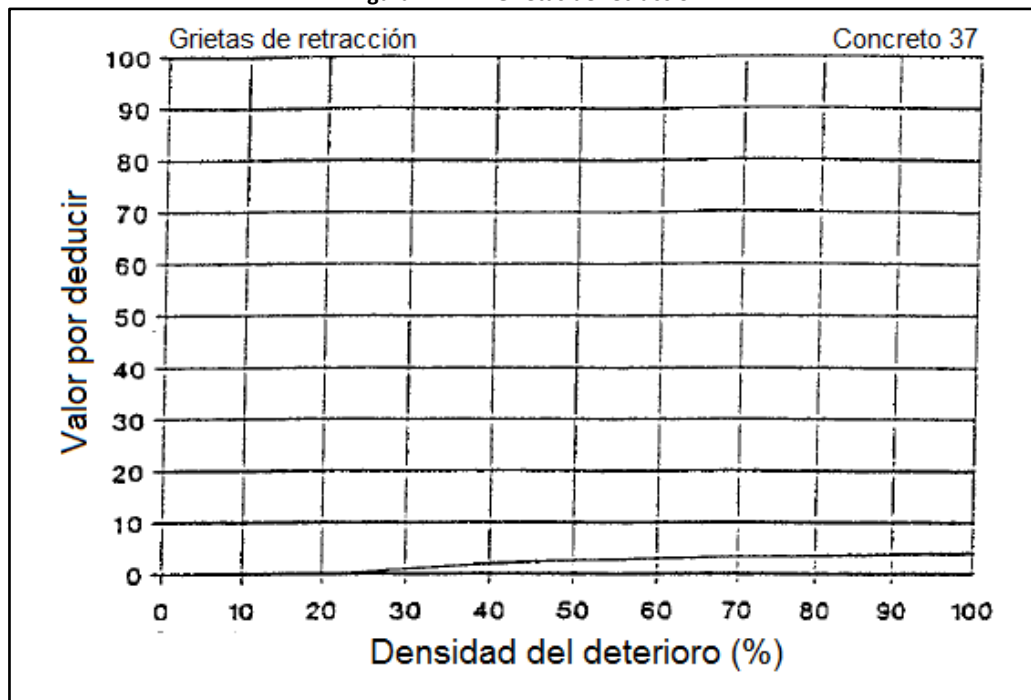


Figura A2B-18 Desportilladura de esquina

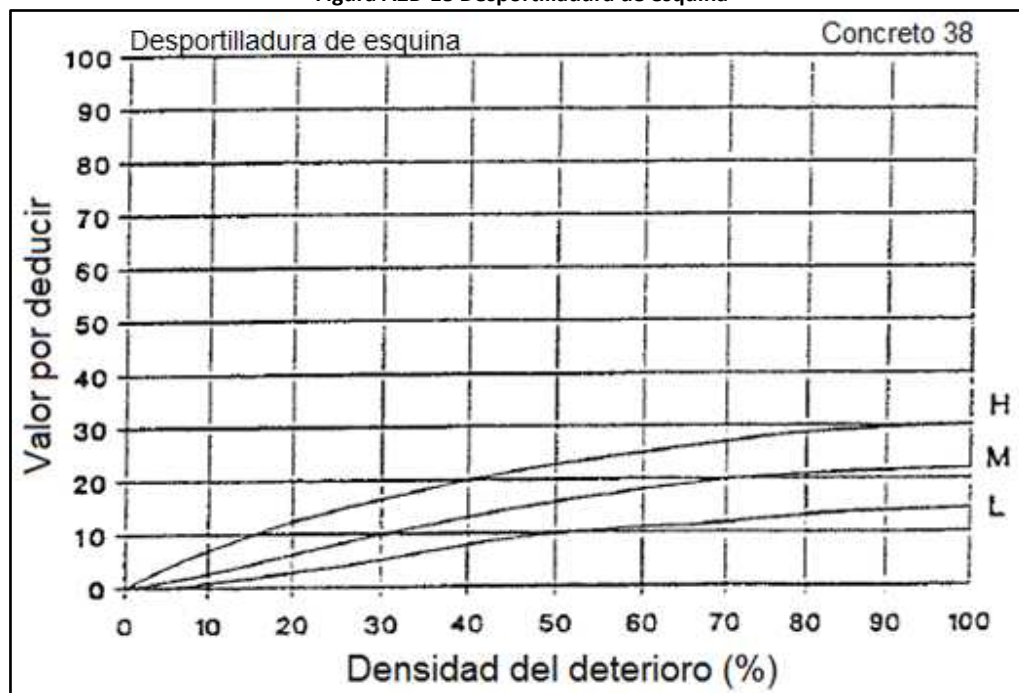


Figura A2B-19 Desportilladura de junta

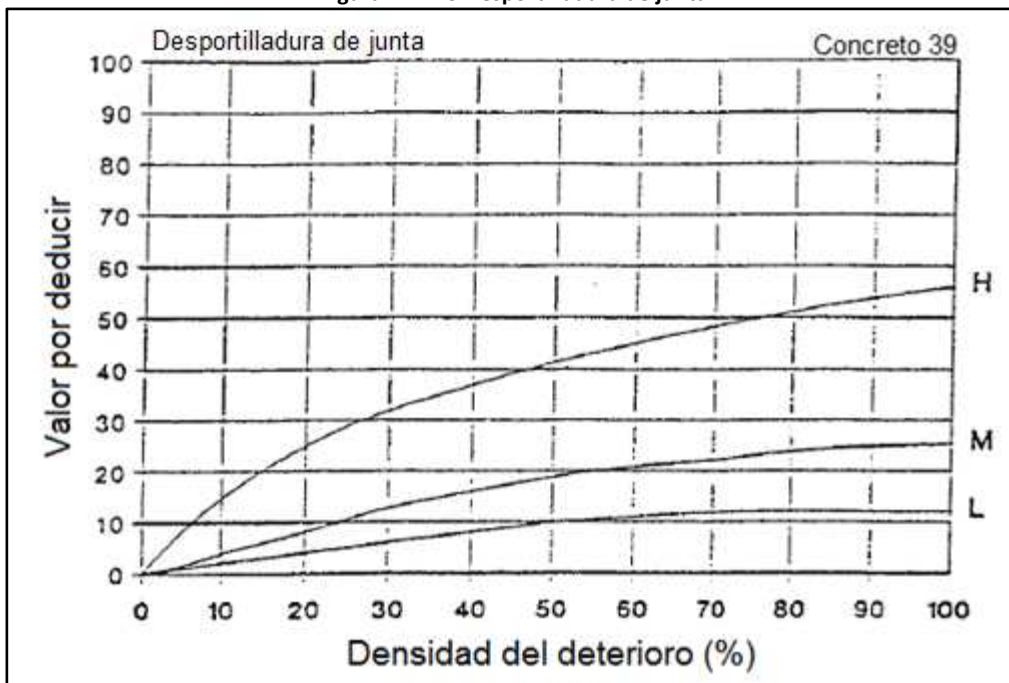
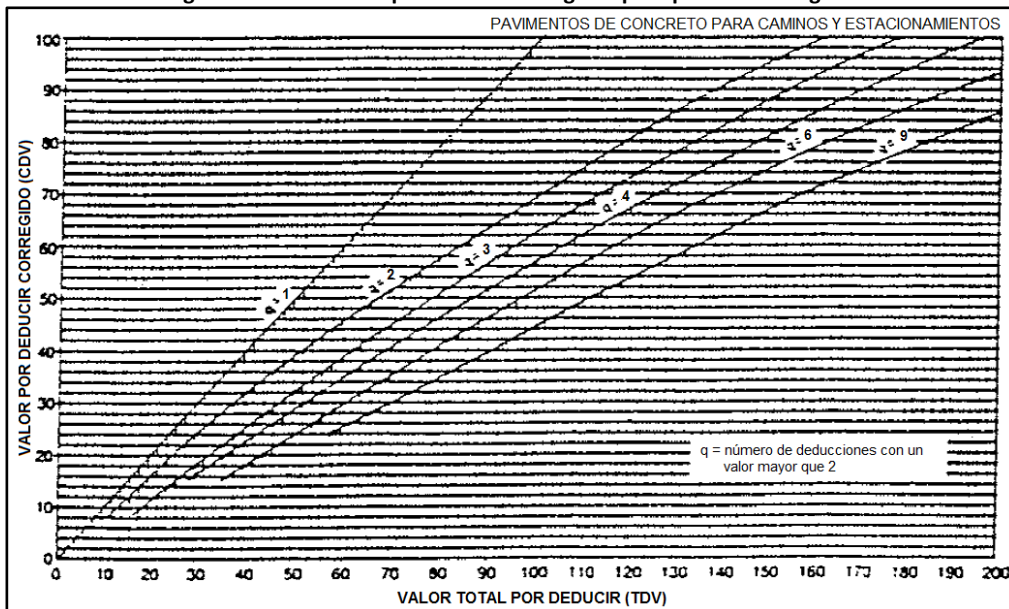


Figura A2B-20 Valores por deducir corregidos para pavimentos rígidos



ANEXO 3

Determinación del Índice de Condición de Un Pavimento de Adoquines de Concreto



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------------|
| A3 ANEXO 3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO | V1-A3 7 |
| A3.1 INTRODUCCIÓN | V1-A3 7 |
| A3.2 TERMINOLOGÍA | V1-A3 8 |
| A3.3 RESUMEN DEL MÉTODO | V1-A3 8 |
| A3.4 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO | V1-A3 8 |
| A3.5 PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN | V1-A3 11 |
| A3.6 CÁLCULO DEL PCI | V1-A3 13 |
| A3.7 DETERMINACIÓN DEL PCI DE LA SECCIÓN | V1-A3 14 |
| A3A APÉNDICE A DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO | V1-A3 17 |
| A3A.1 GENERALIDADES | V1-A3 17 |
| A3A.2 TÉCNICAS DE MEDIDA | V1-A3 17 |
| A3A.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS QUE CONSIDERA EL MÉTODO | V1-A3 19 |
| A3B APÉNDICE B CURVAS CON LOS VALORES POR DEDUCIR EN PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO | V1-A3 30 |

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

ANEXO 3

| | |
|--|----------|
| Figura A3-1Escala de clasificación de un pavimento mediante el PCI | V1-A3 7 |
| Figura A3- 2 Ejemplo de formulario para la inspección de la condición de un pavimento de adoquines de concreto | V1-A3 12 |

ANEXO 3B

| | |
|---|----------|
| Figura A3B-1Adoquines dañados | V1-A3 30 |
| Figura A3B-2 Depresiones | V1-A3 30 |
| Figura A3B-3 Falta de confinamiento | V1-A3 31 |
| Figura A3B-4 Ancho de junta excesivo | V1-A3 31 |
| Figura A3B-5 Escalonamiento | V1-A3 32 |
| Figura A3B-6 Elevación | V1-A3 32 |
| Figura A3B-7 Desplazamiento horizontal | V1-A3 33 |
| Figura A3B-8 Pérdida de arena en la junta/bombeo | V1-A3 33 |
| Figura A3B-9 Adoquines perdidos | V1-A3 34 |
| Figura A3B-10 Parcheo | V1-A3 34 |
| Figura A3B-11 Ahuellamiento | V1-A3 35 |
| Figura A3B-12 Valores por deducir corregidos para pavimentos de adoquines de concreto | V1-A3 35 |

Página en blanco

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|------------------|----------|
| [Ecuación A3-1] | V1-A3 9 |
| [Ecuación A3-2] | V1-A3 9 |
| [Ecuación A3-3] | V1-A3 10 |
| [Ecuación A3-4] | V1-A3 13 |
| [Ecuación A3- 5] | V1-A3 14 |
| [Ecuación A3-6] | V1-A3 14 |

Página en blanco

ANEXO 3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE UN PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO

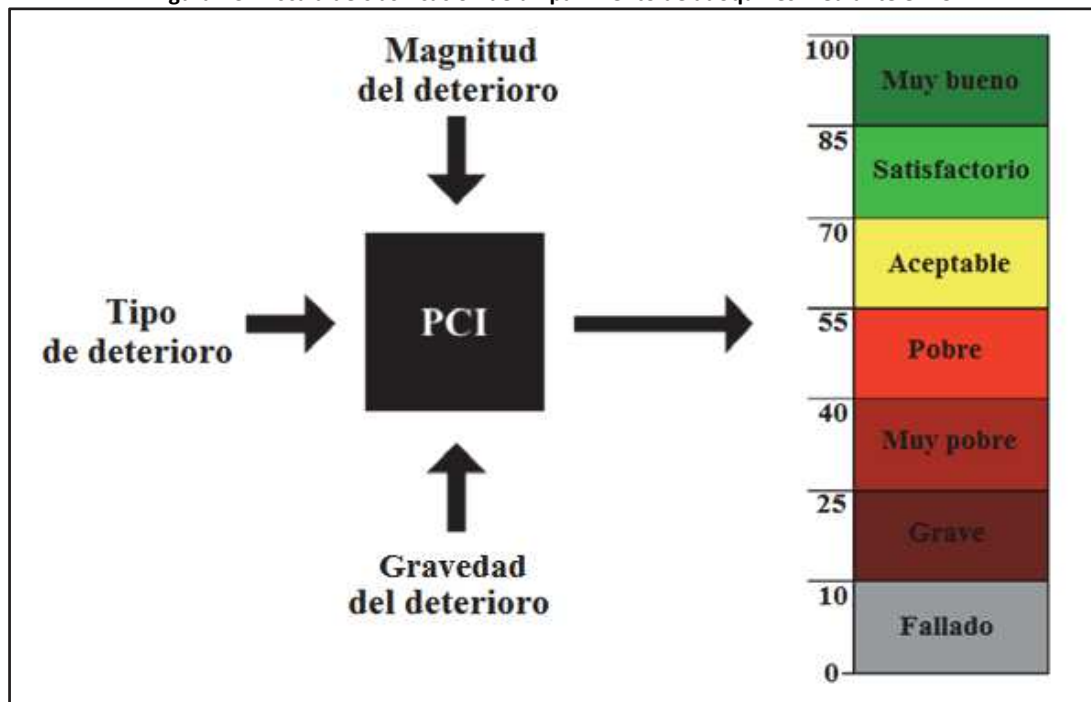
A3.1 INTRODUCCIÓN

A3.1.1 Este método tiene por finalidad determinar, a través de inspecciones visuales, la condición de superficies pavimentadas en adoquines de concreto en caminos y estacionamientos, usando el Índice de Condición de Pavimentos (PCI) como método de cuantificación normalizado.

A3.1.2 El método es una adaptación de la norma ASTM D 6433, realizada por el Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI).

A3.1.3 La condición del pavimento se clasifica en función al valor del PCI, variando entre fallado y muy bueno, como se muestra en la Figura A3B-1.

Figura A3-1Escala de clasificación de un pavimento de adoquines mediante el PCI



A3.2 TERMINOLOGÍA

A3.2.1 La terminología es la misma de la norma ASTM D 6433, descrita en el Anexo 2. Para la inspección, cada sección de pavimento se divide en unidades de muestreo (muestras) de $225 \text{ m}^2 \pm 90 \text{ m}^2$.

A3.3 RESUMEN DEL MÉTODO

A3.3.1 El pavimento se divide en sectores que, a su vez, se dividen en secciones. Cada sección se divide en unidades de muestreo. El tipo y la gravedad de los deterioros del pavimento se establecen mediante la inspección visual de las unidades de muestreo. La cantidad de los deterioros se mide según se describe en el Apéndice A de este Anexo. La información sobre los deterioros se emplea para calcular el PCI de cada unidad de muestreo. El PCI de la sección de pavimento se determina a partir de los valores del PCI determinados para cada una de las unidades de muestreo contenidas en la sección.

A3.4 MUESTREO Y UNIDADES DE MUESTREO

A3.4.1 Identificar en el plano sectores de pavimento con diferentes usos, como ser caminos o parques de estacionamiento.

A3.4.2 Dividir cada sector en secciones de acuerdo a su diseño, historia de construcción, tránsito y condición.

A3.4.3 Dividir las secciones en unidades de muestreo.

A3.4.4 Las unidades de muestreo a ser inspeccionadas deben ser marcadas o identificadas de forma de permitir a los inspectores y al personal de control de calidad ubicarlas fácilmente en la superficie del pavimento. Marcas de pintura en el borde del pavimento y esquemas con ubicaciones ligadas a características físicas en el pavimento resultan aceptables. Es necesario que las unidades de muestreo se puedan ubicar nuevamente para verificar la información sobre deterioros actuales, para examinar cambios con el tiempo en la condición de una unidad en particular, así como para posibilitar futuras inspecciones de la misma muestra siempre que se desee.

A3.4.5 Seleccionar las unidades de muestreo a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestreo a ser inspeccionadas puede corresponder a todas las unidades en la sección, al número de unidades de muestra que permita un nivel de confianza del 95%, o a un número menor.

A3.4.5.1 Todas las unidades de muestreo en la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor PCI promedio de ésta. Sin embargo, esta posibilidad se evita normalmente en los estudios con propósitos generales de administración del mantenimiento, por los altos requerimientos en cuanto a mano de obra, recursos económicos y tiempo. El muestreo total es recomendable solamente para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades necesarias para el mantenimiento y la reparación.

A3.4.5.2 El número mínimo de unidades de muestreo a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95% de confiabilidad), se calcula usando la siguiente fórmula y redondeando el resultado al número entero inmediato superior ([Ecuación A3-1]):

$$n = \frac{Ns^2}{\left[\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + s^2 \right]} \quad \text{[Ecuación A3-1]}$$

Donde:

e = error aceptable en la estimación del PCI de la sección. Comúnmente $e = \pm 5$ puntos de PCI

s = desviación estándar del PCI entre una y otra unidad de muestreo en la misma sección. Cuando se realiza la inspección inicial, la desviación estándar se asume igual a 10 en evaluaciones de pavimentos de adoquines de concreto. Esta suposición se debe verificar posteriormente, como se describe más adelante, una vez se han determinado los valores del PCI. Para inspecciones posteriores se adopta el valor de desviación estándar de la inspección anterior en la determinación de n

N = número total de unidades de muestreo en la sección

A3.4.5.2.1 Si se considera necesario obtener un nivel de confianza de 95 %, se debe verificar que el número de unidades de muestreo inspeccionadas sea el adecuado. Como el número de unidades de muestreo se determinó inicialmente en base a una desviación estándar asumida, la desviación estándar real se debe calcular de acuerdo con la [Ecuación A3-2]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{n - 1}} \quad \text{[Ecuación A3-2]}$$

Donde:

PCI_i = PCI de la unidad de muestreo i

PCI_f = PCI de la sección (PCI promedio de las unidades de muestreo analizadas)

n = número total de unidades de muestreo analizadas

A3.4.5.2.2 Calcular el número mínimo de unidades de muestreo a ser analizadas utilizando la [Ecuación A3-1 y la desviación estándar obtenida con la [Ecuación A3-2. Si el número de unidades de muestreo a ser inspeccionadas resulta mayor a las ya inspeccionadas, se deben seleccionar e inspeccionar aleatoriamente unidades de muestreo adicionales. Estas unidades adicionales deben estar distribuidas uniformemente dentro la sección. Repetir el proceso de verificación del número mínimo de unidades de muestreo e inspeccionar unidades de muestreo adicionales hasta que el número total de muestras inspeccionadas sea igual o superior al mínimo requerido de acuerdo con la [Ecuación A3-1, utilizando la desviación estándar real.

A3.4.5.3 Una vez determinado el número de unidades de muestreo a ser inspeccionadas, se calcula el intervalo de espaciamiento entre las unidades utilizando un muestreo aleatorio sistemático. Las muestras se deberán distribuir de manera uniforme en toda la extensión de la sección a partir de la primera muestra seleccionada al azar. El intervalo de espaciamiento (i) entre las unidades a ser inspeccionadas se calcula mediante la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato inferior ([Ecuación A3-3]:

$$i = N / n$$

[Ecuación A3-3]

Donde:

N = número total de unidades de muestreo en la sección

n = número total de unidades de muestreo a ser analizadas

La primera muestra por analizar se selecciona al azar para todas las unidades de muestreo desde la 1 hasta la i. También, deben ser inspeccionadas las unidades de muestreo dentro de una sección que se encuentren ubicadas a incrementos i de espaciamiento, luego de la primera unidad seleccionada al azar.

A3.4.6 Se puede emplear un nivel de confianza menor a 95 %, dependiendo de las condiciones y objetivos de la inspección. Como ejemplo, la siguiente tabla muestra el criterio utilizado por una agencia para determinar el número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas para fines diferentes a los de análisis de proyectos:

| Dadas | Inspeccionar |
|--------------------------------|------------------------|
| 1a 5 unidades de muestreo | 1 unidad de muestreo |
| 6 a 10 unidades de muestreo | 2 unidades de muestreo |
| 11 a 15 unidades de muestreo | 3 unidades de muestreo |
| 16 a 40 unidades de muestreo | 4 unidades de muestreo |
| Más de 40 unidades de muestreo | 10 % |

A3.4.7 Se deben analizar muestras unitarias adicionales solamente cuando se observen deterioros no representativos de la sección, tal como se define en el apartado A2.2.1.3 del Anexo 2. Estas muestras deben ser seleccionadas por el usuario.

A3.5 PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN

A3.5.1 Inspeccionar individualmente cada unidad de muestreo elegida. Realizar un bosquejo de la unidad incluyendo la orientación. Registrar el número y tipo (aleatorio o adicional) de la unidad de muestreo, medir con un odómetro su longitud y ancho, anotar los números de sector y de sección a los que pertenece la unidad. Adelantar la inspección de la unidad de muestreo caminando por el borde de la calzada y anotando los deterioros existentes en ella y su grado de gravedad. Todos los tipos de deterioros y sus gravedades deben estar de acuerdo con lo que se describe en el A3A de este anexo.

A3.5.2 Repetir el procedimiento para cada unidad de muestreo que se vaya a inspeccionar. Un ejemplo de hoja de registro de información para inspecciones de la condición de pavimentos rígidos se muestra en la Figura A3-2, en la cual se puede apreciar que el método exige la inspección de 11 tipos de deterioros en los pavimentos de adoquines de concreto. El método considera tres niveles de gravedad para cada deterioro: bajo (L), medio (M) y alto (H).

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Figura A3-2 Ejemplo de formulario para la inspección de la condición de un pavimento de adoquines de concreto

| CAMINOS Y ESTACIONAMIENTOS CON PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO FORMATO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS SOBRE CONDICIÓN EN UNA UNIDAD DE MUESTREO | | | | | | | | |
|--|----------|--|---|--|--|----------------------------|---------------|--------------------|
| CARRETERA _____ | | | | | | FECHA _____ | | |
| SECCIÓN _____ | | | | | | MUESTRA _____ | | |
| EVALUADOR _____ | | | | | | ÁREA DE LA MUESTRA _____ | | |
| <u>TIPOS DE DETERIORO</u> | | | | | | | | |
| 101 Adoquines dañados | | | 102 Depresiones | | | 103 Falta de confinamiento | | |
| 104 Ancho de junta excesivo | | | 105 Escalonamiento | | | 106 Elevación | | |
| 107 Desplazamiento horizontal | | | 108 Pérdida de arena en la junta/bombeo | | | 109 Adoquines perdidos | | |
| 110 Parcheo | | | 111 Ahuellamiento | | | | | |
| DETERIORO/ GRAVEDAD | CANTIDAD | | | | | TOTAL | DENSIDAD % | VALOR DEDUCCIÓN |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| ESQUEMA <div style="height: 100px; border: 1px solid black;"></div> | | | | | | | | |

A3.6 CÁLCULO DEL PCI

A3.6.1 Para cada combinación particular de tipo de deterioro y grado de gravedad en la unidad, determinar su cantidad y registrarla en el formulario de la Figura A3-2. Las unidades para las cantidades pueden ser metros cuadrados, metros lineales o número de ocurrencias, dependiendo del tipo de deterioro.

A3.6.2 Dividir la cantidad total de cada tipo y nivel de gravedad de por el área total de la unidad de muestreo y multiplicar por 100 para obtener el porcentaje de la densidad de cada combinación de deterioro y grado de gravedad.

A3.6.3 Determinar los valores por deducir para cada combinación de deterioro y grado de gravedad (DV), usando la curva de deducción que corresponda de las que se encuentran en el A3B de este Anexo.

A3.6.4 Determinar el máximo valor deducible corregido (CDV) empleando el procedimiento que se describe a continuación.

A3.6.4.1 Si ninguno o solamente un valor deducible es mayor de 2, se usa el valor total en lugar del máximo valor deducible corregido (CDV) para determinar el PCI; en caso contrario, el máximo valor deducible corregido (CDV) se deberá determinar de acuerdo con el procedimiento indicado en los numerales A3.6.4.2 a A3.6.4.5.

A3.6.4.2 Listar los valores deducibles individuales en orden descendente.

A3.6.4.3 Determinar el número admisible de deducciones, m, empleando la [Ecuación A3-4]:

$$m = 1 + \left[\frac{9}{98} \right] [100 - HDV] \leq 10 \quad \text{[Ecuación A3-4]}$$

Donde:

m = número admisible de deducciones, incluyendo fracción decimal (debe ser menor o igual a 10)

HDV = mayor valor deducible individual

A3.6.4.4 El número de valores individuales deducibles se reduce a los m números más altos, incluyendo la parte fraccional. Si hay menos de m valores individuales deducibles, entonces se ingresan todos ellos.

A3.6.4.5 Determinar iterativamente el máximo valor deducible corregido (CDV), de la siguiente manera:

A3.6.4.5.1 Determinar el valor total por deducir, sumando los valores individuales deducibles obtenidos en el paso A3.6.4.4.

A3.6.4.5.2 Determinar “q”, como el número de deducciones con un valor mayor de 2.0.

A3.6.4.5.3 Determinar el máximo valor deducible corregido (CDV) a partir del valor total deducible (TDV) y de “q”, buscando la curva de corrección apropiada en la Figura A3B-12 del A3B de este Anexo.

A3.6.4.5.4 Reducir a 2.0 el menor valor individual deducible y repetir los pasos A3.6.4.5.1 a A3.6.4.5.3, hasta que lograr que $q = 1$.

A3.6.4.5.5 El máximo valor deducible corregido (CDV) es el mayor de los valores deducibles corregidos.

A3.6.5 Calcular el PCI restando de 100 el máximo valor deducible corregido (CDV):

$$PCI = 100 - \text{máximo CDV}$$

[Ecuación A3- 5]

A3.6.6 Determinar en la Figura A3-1 la clasificación de la condición del pavimento en la muestra a partir del PCI.

A3.7 DETERMINACIÓN DEL PCI DE LA SECCIÓN

A3.7.1 Si se inspeccionaron todas unidades de muestreo de la sección o todas fueron escogidas aleatoriamente, el PCI de la sección será el valor promedio de los PCI de estas unidades.

A3.7.2 Si se inspeccionaron unidades de muestreo adicionales, el PCI ponderado de la sección se calcula con la ecuación:

$$PCI_s = \frac{(N-A)PCI_r}{N} + \frac{A(PCI_a)}{N}$$

[Ecuación A3-6]

Donde:

PCI_s = PCI ponderado de la sección

PCI_r = PCI promedio de las unidades de muestreo seleccionadas aleatoriamente

PCI_a = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales

N = número total de unidades de muestreo en la sección

A = número de unidades de muestreo adicionales

A3.7.3 Determinar, con ayuda de la Figura A3-1, la clasificación de la condición de toda la sección.

Página en Blanco

APÉNDICE A DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

A3A.1 GENERALIDADES

A3A.1.1 En este apéndice se presentan 11 tipos de deterioros de pavimentos de adoquines de concreto. El orden en que aparecen no se ajusta a ninguna clasificación, sino que sino que corresponde al que le ha dado el ICPI, disponiéndolos en orden alfabético en idioma inglés.

A3A.1.2 Durante las inspecciones de campo y la validación del PCI surgen algunas preguntas en relación con la manera de identificar y contar algunos de los deterioros. Las respuestas a ellas se incluyen bajo el subtítulo “Medida” de cada deterioro. Por conveniencia, sin embargo, las cuestiones planteadas con mayor frecuencia se abordan a continuación.

A3A.1.2.1 Si se presentan varios deterioros en una misma área, cada uno de ellos se debe anotar con su respectivo nivel de gravedad.

A3A.1.2.2 Los deterioros que se encuentren en un área parchada no se registran; sin embargo, su presencia se debe tener en cuenta para determinar el nivel de gravedad del parche.

A3A.1.2.3 Las medidas para la determinación de la gravedad del deterioro 106 (elevación) se deben hacer bajo una regla metálica liviana de 3 m de longitud. Las que se realicen en relación con el escalonamiento se hacen bajo una regla de 0.3 m.

A3A.1.2.4 La altura mínima medible para un escalonamiento es 3 mm.

A3A.2 TÉCNICAS DE MEDIDA

A3A.2.1 El procedimiento más sencillo y rápido para medir longitudes consiste en el uso de un odómetro. Si la medida excede de 30 m, conviene usar una rueda que permita medir con una precisión de 0.3 m. Para medidas de menor tamaño, es preferible el empleo de una rueda calibrada a 30 mm.

A3A.2.2 No se debe intentar hacer medidas a una velocidad mayor que caminando, pues la rueda tiende a deslizarse sobre un pavimento rugoso dando una lectura falsa.

A3A.2.3 Luego de medir una longitud, se debe estar seguro de que la rueda ha dejado de girar antes de levantarla del pavimento.

A3A.2.4 La longitud de los segmentos no se debe estimar sino medir.

A3A.2.5 Las dimensiones verticales bajo las reglas se deben medir con dispositivos calibrados.




A3A.2.6 Cuando una muestra presenta una gran cantidad y variedad de deterioros, el evaluador se puede confundir. Es frecuente que se tomen medidas por fuera de los límites de la muestra y que se pierda la pista de cuáles deterioros se han medido y cuáles no. Si ello ocurre, la única solución es comenzar a medir de nuevo. Nunca se debe inventar o estimar.

A3A.2.7 Si se encuentran unidades de muestreo en las que resulta dificultosa la inspección, se deben subdividir empleado tiza o marcas de pintura.

A3A.2.8 La inspección de una unidad de muestreo no debería tardar más de 20 minutos.

A3A.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS QUE CONSIDERA EL MÉTODO

| ADOQUINES DAÑADOS | |
|---|--|
| <p>Descripción: Este deterioro describe la condición general de los adoquines. El daño puede incluir grietas, desportilladuras, roturas de bloques o desgaste superficial</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-1 del A3B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): Grietas, roturas o desportilladuras individuales. Bajo desgaste superficial.</p> |  |
| <p>Medio (M): Grietas, roturas o desportilladuras avanzadas. Desgaste superficial bajo o medio.</p> |  |
| <p>Alto (H): Los adoquines se han roto en varias piezas o se han desintegrado.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. No se deben computar los adoquines agrietados aleatoriamente de manera individual.</p> | |

| DEPRESIONES | |
|---|--|
| <p>Descripción: Áreas del pavimento cuyo nivel se encuentra por debajo de las áreas circundantes. Normalmente se presentan por asentamientos localizados de las capas de soporte. Son usuales en las reparaciones posteriores a la excavación para instalar tuberías y cables de servicios públicos. Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-2 del A3B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): Máxima profundidad de la depresión entre 5 y 15 mm.</p> |  |
| <p>Medio (M): Máxima profundidad de la depresión entre 15 y 30 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): Máxima profundidad de la depresión mayor de 30 mm.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. Las depresiones cuya longitud exceda de 3 m se deben medir con ayuda de una cuerda.</p> | |

| FALTA DE CONFINAMIENTO | |
|--|--|
| <p>Descripción: Pérdida de la restricción lateral del pavimento. La restricción lateral de un pavimento de adoquines es esencial para resistir el movimiento lateral, minimizar la pérdida de arena de las juntas y de la capa de soporte y prevenir la rotación de los adoquines.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-3 del A3B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): Evidencia de separación leve del elemento de confinamiento (6 a 10 mm), sin muestras de rotación de los adoquines o del sardinel.</p> |  |
| <p>Medio (M): Separación mayor del elemento de confinamiento (11 a 15 mm), con evidencias de rotación de los adoquines o del sardinel.</p> |  |
| <p>Alto (H): Separación importante del elemento de confinamiento (superior a 15 mm), con signos evidentes de rotación y asentamientos localizados.</p> |  |
| <p>Medida: La pérdida de confinamiento lateral se mide en metros lineales por el borde del pavimento</p> | |




ANCHO DE JUNTA EXCESIVO



Descripción: Aumento del espacio entre los adoquines. Se puede producir por muchas causas: construcción deficiente, falta de arena en las juntas, deficiente confinamiento lateral, depresiones cercanas, etc. A medida que las juntas se amplían, la capa de adoquines pierde rigidez y se sobre esfuerzan las capas inferiores.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-4 del A3B

| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|---|--|
| Bajo (L): Ancho promedio de junta entre 6 y 10 mm. |  |
| Medio (M): Ancho promedio de junta entre 11 y 15 mm. |  |
| Alto (H): Ancho promedio de junta, mayor de 15 mm. |  |
| Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. Como los adoquines se construyen con un borde biselado, se debe tener cuidado de asegurar que se mide el ancho real de la junta. | |

| ESCALONAMIENTO | |
|--|--|
| Descripción: Diferencias de cota entre adoquines adyacentes. Se puede producir por asentamiento de la capa de arena de soporte, instalación inadecuada, bombeo de la arena de la junta o del soporte, etc. Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-5 del A3B | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| Bajo (L): Diferencia de elevación entre 4 mm y 6 mm. |  |
| Medio (M): Diferencia de elevación entre 6 mm y 10 mm. |  |
| Alto (H): Diferencia de elevación mayor de 10 mm. |  |
| Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La máxima diferencia de elevación define el nivel de gravedad. | |

| ELEVACIÓN | |
|--|--|
| <p>Descripción: Áreas localizadas del pavimento que se encuentran a mayor altura que las circundantes. Se pueden producir como resultado de la inestabilidad del soporte del pavimento y pueden ocurrir en conjunto con asentamientos o ahuellamientos.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-6 del A3B</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): La altura máxima del área que se ha elevado se encuentra entre 5 mm y 15 mm.</p> |  |
| <p>Medio (M): La altura máxima del área que se ha elevado se encuentra entre 15 mm y 30 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): La altura máxima del área que se ha elevado es superior a 30 mm.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La máxima diferencia de altura define el nivel de gravedad. Las elevaciones que abarquen un ancho superior a 3 m se deben medir con ayuda de una cuerda.</p> | |




| DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL | |
|--|--|
| <p>Descripción: Desplazamiento longitudinal causado por el tránsito automotor. Es frecuente en tramos en pendiente.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-7 del A3B</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): El desplazamiento horizontal se encuentra entre 6 mm y 10 mm.</p> |  |
| <p>Medio (M): El desplazamiento horizontal se encuentra entre 11 mm y 20 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): El desplazamiento horizontal es superior a 20 mm.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La desviación de la posición original define el nivel de gravedad.</p> | |




PÉRDIDA DE ARENA EN LA JUNTA/BOMBEO




Descripción: El material de relleno de las juntas ha sido removido. Las causas de ello son muy variadas: lluvias intensas, barrido, bombeo bajo la acción del tránsito, etc. La arena de las juntas es indispensable para suministrar trabazón y rigidez a la capa de rodadura.

Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-8 del A3B

| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
|--|--|
| <p>Bajo (L): La arena se ha perdido en una profundidad inferior a 10 mm.</p> |  |
| <p>Medio (M): La arena se ha perdido en una profundidad entre 10 y 25 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): La arena se ha perdido en una profundidad superior a 25 mm.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La profundidad de la pérdida de arena desde el borde del bisel hacia abajo define la gravedad.</p> | |

| ADOQUINES PERDIDOS | |
|---|--|
| <p>Descripción: Se refiere a secciones de pavimento donde los adoquines han desaparecido por remoción, deterioro o desintegración. La pérdida de adoquines compromete la integridad de la capa de rodadura y genera una pérdida de uniformidad superficial parecida a la que producen los ojos de pescado en los pavimentos asfálticos.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-9 del A3B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): Se han perdido adoquines individuales al azar.</p> |  |
| <p>Medio (M): Pérdida de 2 o más adoquines en un área definida, pero sin afectar la calidad de la rodadura.</p> |  |
| <p>Alto (H): Pérdida de 2 o más adoquines en un área definida, afectando adversamente la calidad de la rodadura.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La gravedad se evalúa según el grado de deterioro.</p> | |

| PARCHEO | |
|---|--|
| <p>Descripción: Se refiere a secciones de pavimento donde los adoquines se han perdido y se han reemplazado con adoquines diferentes u otro material.</p> <p>Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-10 del A3B</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): El parche se encuentra en buenas condiciones y no afecta la calidad de rodadura.</p> |  |
| <p>Medio (M): El parche se encuentra en condiciones aceptables y comienza a afectar la calidad de rodadura.</p> |  |
| <p>Alto (H): El parche se encuentra en malas condiciones y afecta la calidad de rodadura.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La gravedad se evalúa de acuerdo con la calidad del parche.</p> | |

| AHUELLAMIENTO | |
|--|--|
| <p>Descripción: Depresión en la trayectoria de los neumáticos de los vehículos. Es acusado típicamente por asentamiento de la subrasante o de la base granular bajo las cargas del tránsito. Las curvas de deducción para este deterioro se muestran en la Figura A3B-11 del A3B.</p> | |
| Niveles de gravedad | Registro fotográfico |
| <p>Bajo (L): La profundidad máxima del ahuellamiento se encuentra entre 5 mm y 15 mm.</p> |  |
| <p>Medio (M): La profundidad máxima del ahuellamiento se encuentra entre 16 mm y 30 mm.</p> |  |
| <p>Alto (H): La profundidad máxima del ahuellamiento es mayor de 30 mm.</p> |  |
| <p>Medida: El deterioro se mide en metros cuadrados. La gravedad se evalúa de acuerdo con la profundidad máxima del ahuellamiento.</p> | |

APÉNDICE B CURVAS CON LOS VALORES POR DEDUCIR EN PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Figura A3B-1 Adoquines dañados

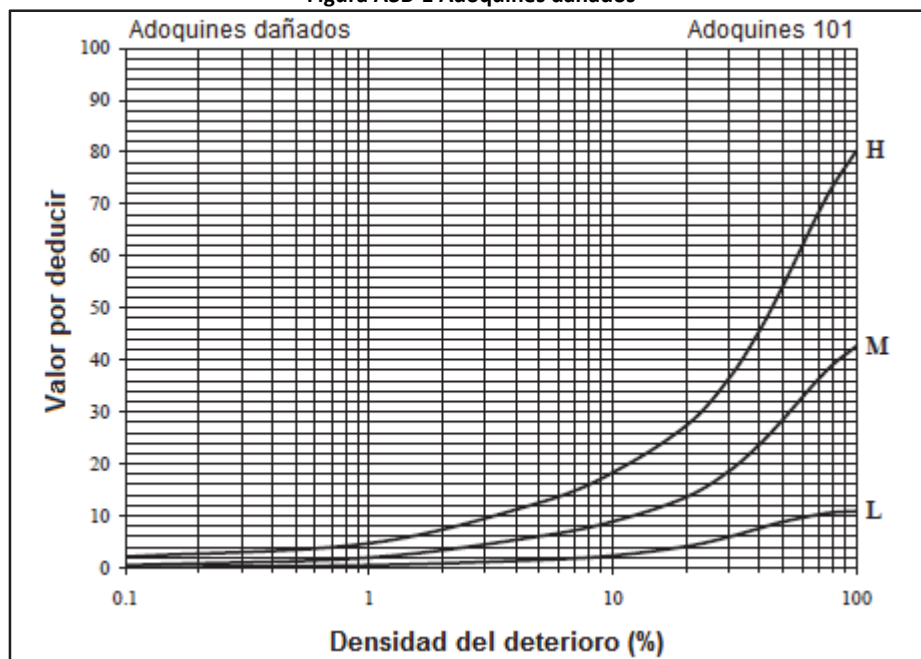


Figura A3B-2 Depresiones

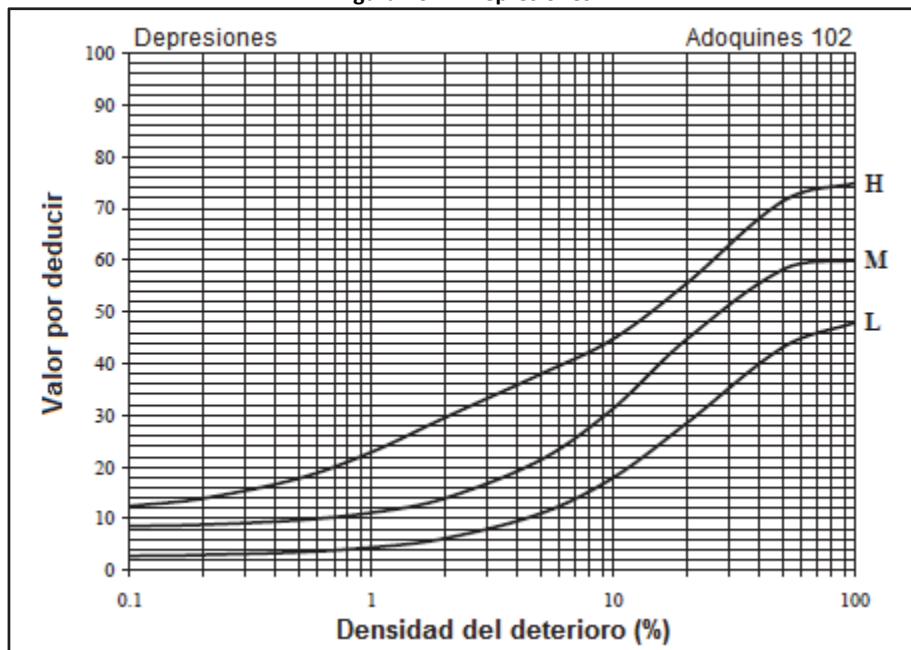


Figura A3B-3 Falta de confinamiento

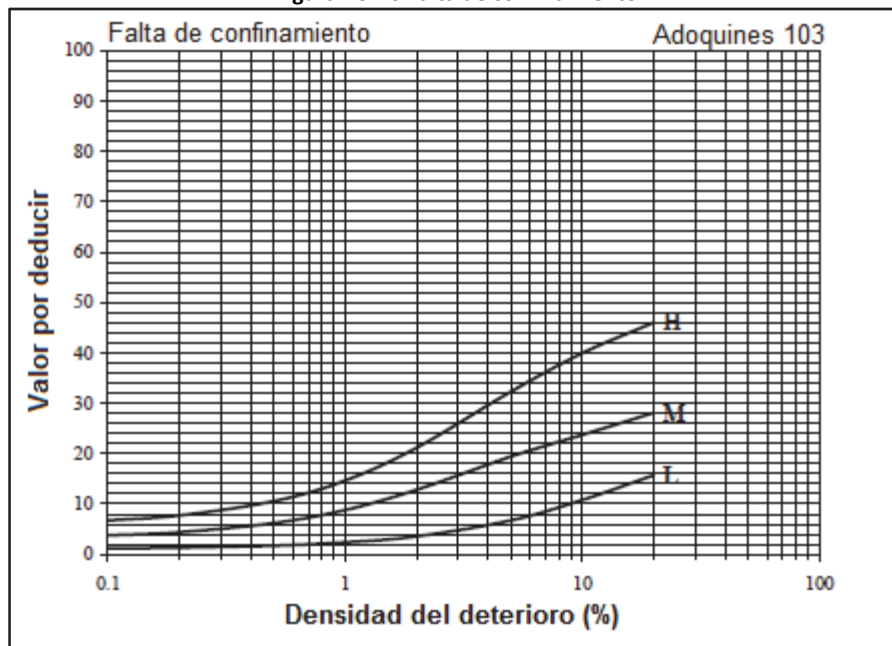


Figura A3B-4 Ancho de junta excesivo

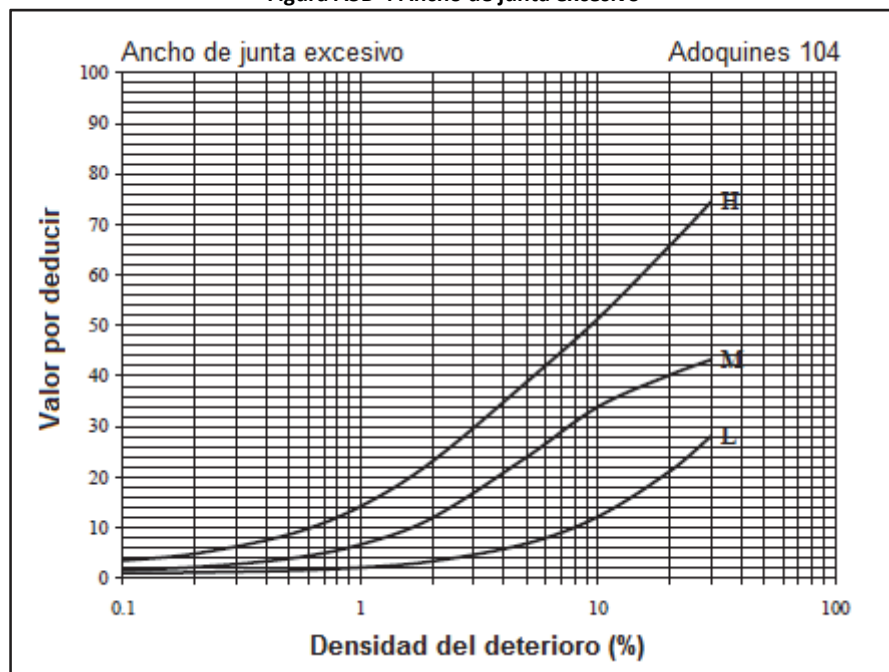


Figura A3B-5 Escalonamiento

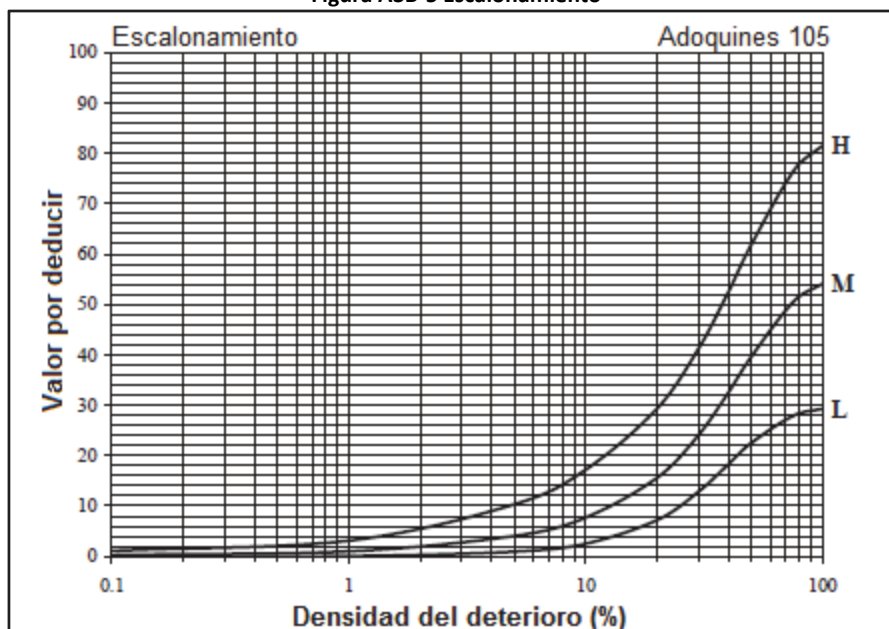


Figura A3B-6 Elevación

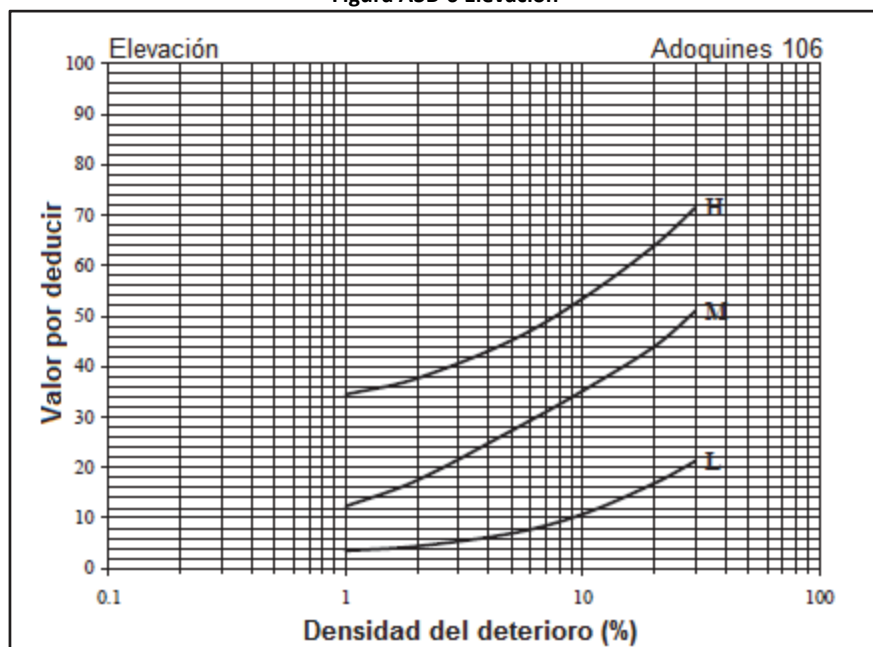


Figura A3B-7 Desplazamiento horizontal

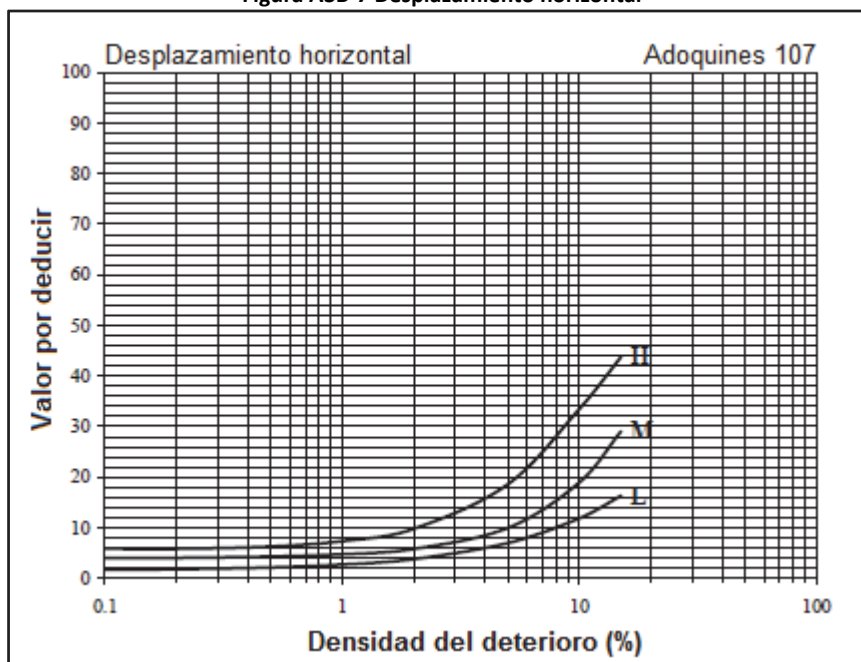


Figura A3B-8 Pérdida de arena en la junta/bombeo

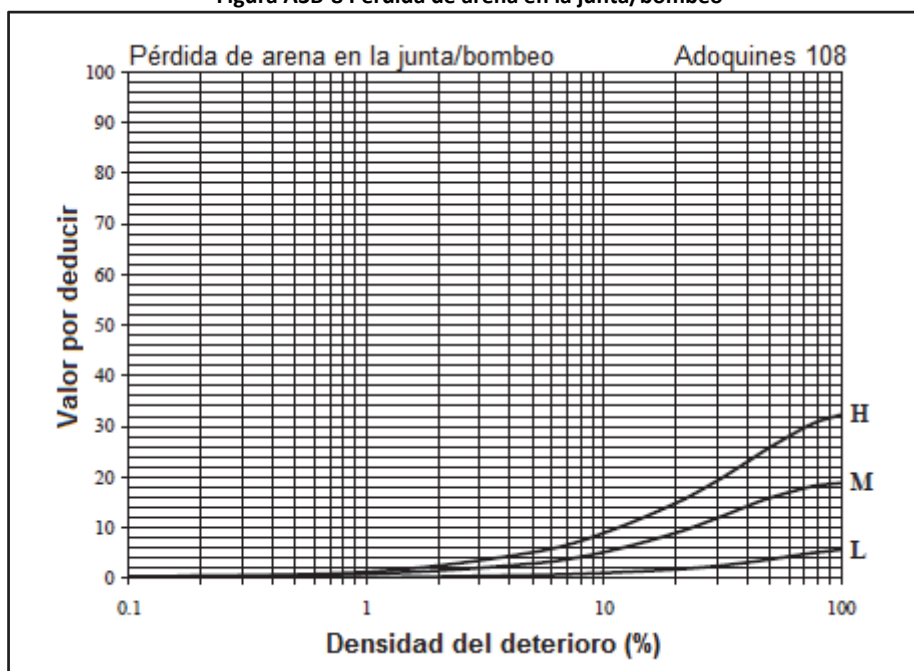


Figura A3B-9 Adoquines perdidos

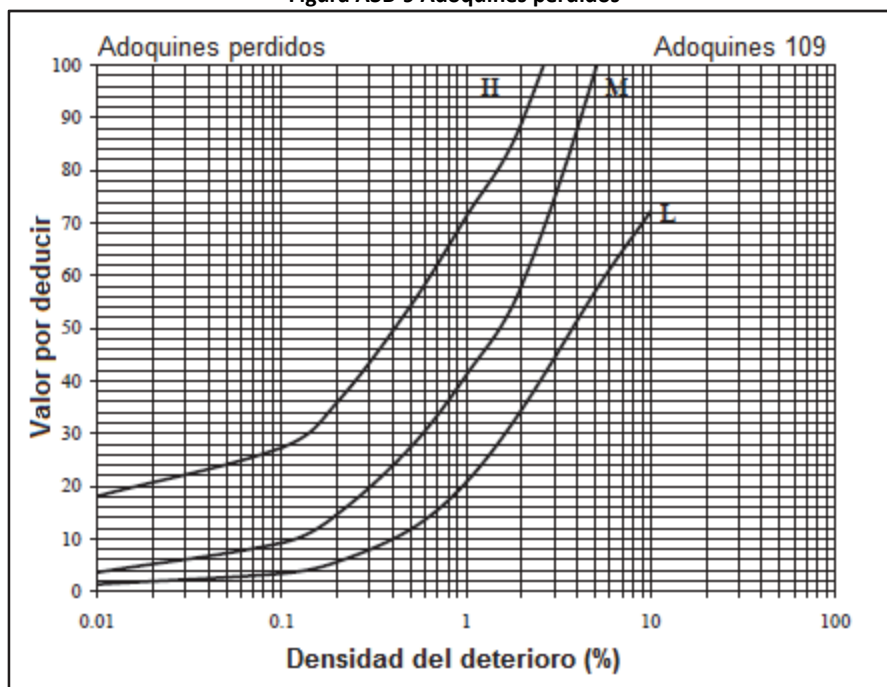


Figura A3B-10 Parcheo

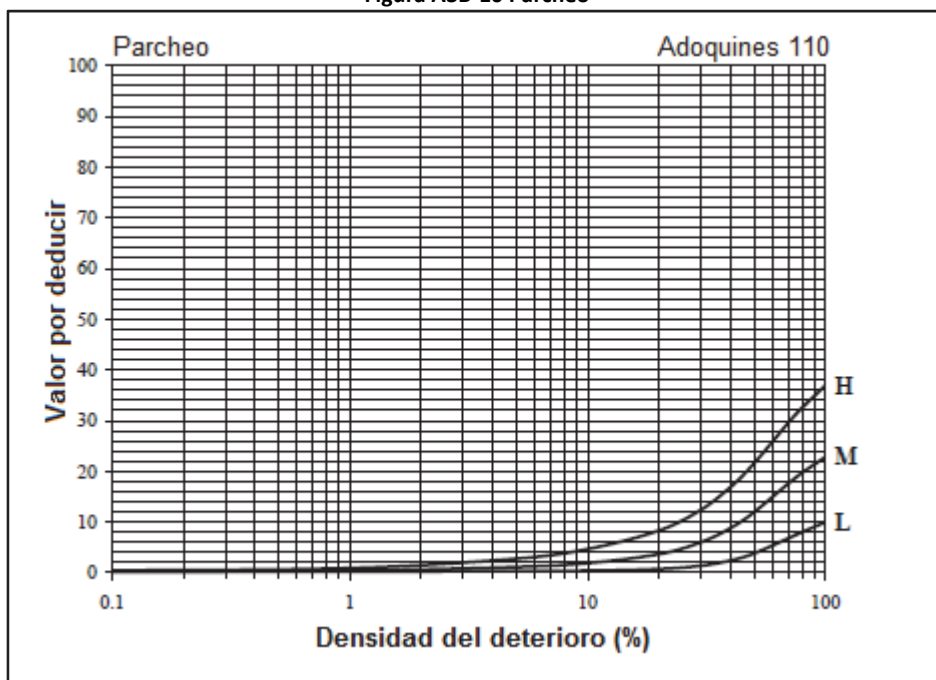


Figura A3B-11 Ahuellamiento

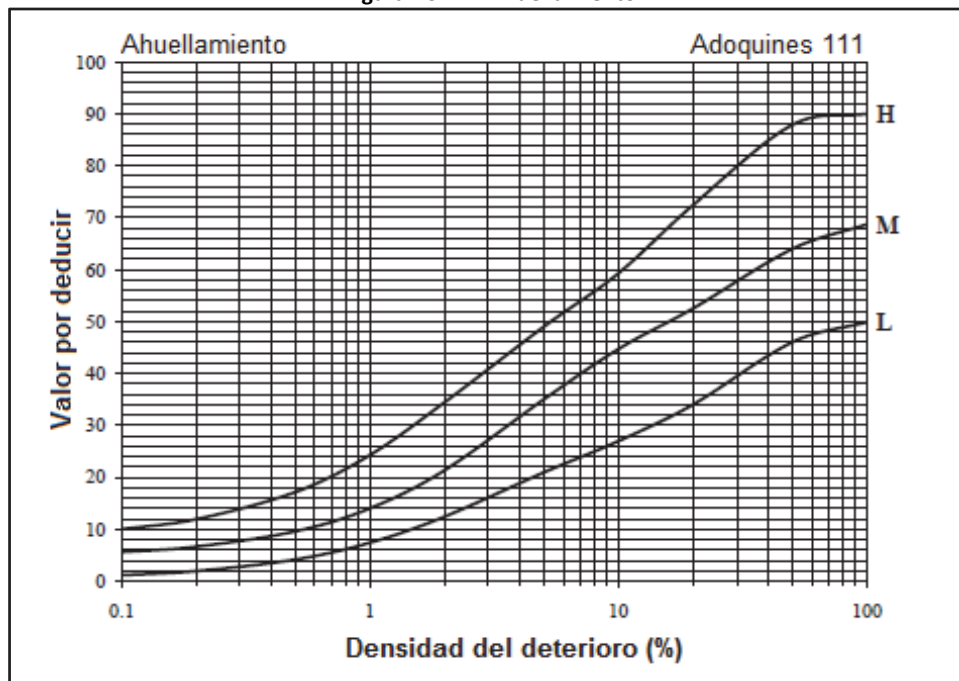
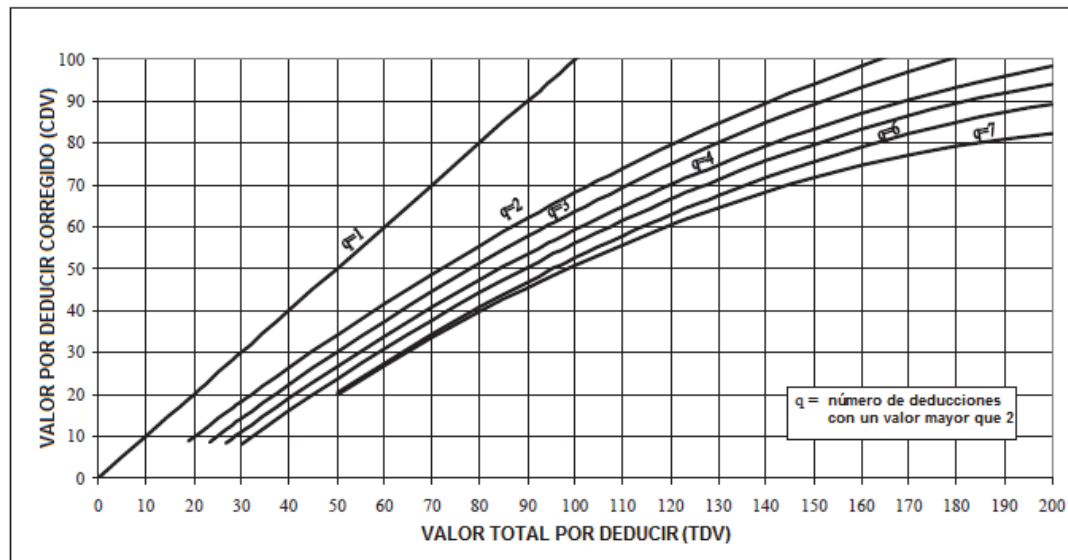


Figura A3B-12 Valores por deducir corregidos para pavimentos de adoquines de concreto



Página en blanco

ANEXO 4

Descripción del Método Viziret para la Calificación de la Condición de un Afirmado

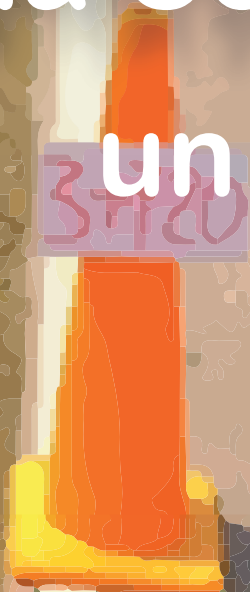


TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------------|
| A4 ANEXO 4 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO VIZIRET PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE UN AFIRMADO | V1-A4 7 |
| A4.1 CONCEPTOS GENERALES | V1-A4 7 |
| A4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS | V1-A4 8 |
| A4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS ESTRUCTURALES | V1-A4 9 |
| A4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS PRODUCIDOS POR INSUFICIENCIAS DEL DRENAJE Y OTRAS CAUSAS | V1-A4 14 |
| A4.5 CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS ESTRUCTURALES | V1-A4 16 |
| A4.6 ÍNDICE DE VIABILIDAD (I_v) | V1-A4 19 |
| A4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-A4 19 |

Página en blanco

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----------|
| Figura A4-1 Hoja niveladora remolcada | V1-A4 7 |
| Figura A4-2 Clasificación de los deterioros de los afirmados | V1-A4 9 |
| Figura A4-3 Pérdida de grava (A.4.3) | V1-A4 10 |
| Figura A4-4 Formación de una nube de polvo (A.4.4) | V1-A4 10 |
| Figura A4-5 Ahuellamiento (A.4.4) | V1-A4 11 |
| Figura A4-6 Baches (A.4.6) | V1-A4 12 |
| Figura A4-7 Ondulaciones (A.4.7) | V1-A4 13 |
| Figura A4-8 Surcos longitudinales (A4.8) | V1-A4 13 |
| Figura A4-9 Surcos transversales (A4.6) | V1-A4 14 |
| Figura A4-10 Lodazal (A4.8) | V1-A4 15 |
| Figura A4-11 Cabezas duras (A4.9) | V1-A4 15 |
| Figura A4-12 Erosión avanzada de una cuneta (A4.4) | V1-A4 16 |

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----------------|
| <i>Tabla A4-1 Clasificación de la gravedad de los deterioros de los afirmados</i> | <i>V1-A4 17</i> |
| <i>Tabla A4-2 Relación entre el nivel de gravedad de un deterioro y la naturaleza de los trabajos</i> | <i>V1-A4 17</i> |

Página en blanco

ANEXO 4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO VIZIRET PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE UN AFIRMADO

A4.1 CONCEPTOS GENERALES

VIZIRET es un método desarrollado por el LCPC como resultado de investigaciones en varios países tropicales del África, destinado a determinar la condición de una vía en afirmado a partir de la inspección visual de su superficie (A.2.1, A.2.2). El método define un índice de calidad, llamado Índice de Viabilidad (I_v), el cual está ligado a las siguientes tareas de mantenimiento:

Mantenimiento básico: Labor manual o poco mecanizada de la vía y sus elementos auxiliares: reparaciones puntuales mediante la reaplicación localizada de grava débilmente compactada (con pisón o con algunas pasadas de un vehículo), la restauración de los desagües (desobstrucción de cunetas, limpieza de dispositivos de drenaje), la limpieza de bermas, etc.

Perfilado ligero: Operación mecanizada que consiste en nivelar la superficie del camino rebajándola ligeramente con una motoniveladora o una hoja niveladora remolcada (Figura A4-1), con el fin de controlar las asperezas y las deformaciones leves. No incluye aporte de material ni compactación. Esta operación puede estar precedida de reaplicaciones localizadas de grava (bacheo) y va acompañada por la reconfirmación de las cunetas. Este trabajo no solamente reduce el espesor del afirmado sino, también, el ancho disponible para la circulación segura de los vehículos, pues acentúa la pendiente transversal del camino. Esta actividad se considera de mantenimiento rutinario.

Figura A4-1 Hoja niveladora remolcada



Perfilado pesado: Operación mecanizada que recupera la sección transversal y la rasante de la calzada mediante la escarificación, el humedecimiento y la compactación del material de afirmado existente. El trabajo va acompañado de la reactivación del funcionamiento de las cunetas y de sus desagües. También, puede estar precedido de reaplicaciones localizadas de grava.

El perfilado pesado se requiere cuando las operaciones de perfilado ligero resultan insuficientes y su frecuencia debe ser tan alta que dicha opción se torna impráctica y costosa. Es deseable realizarlo al final de la temporada de lluvias o al comienzo de la temporada seca, cuando la humedad del material es suficientemente alta para facilitar su recompactación y evitar la pérdida de grava. Si el trabajo se realiza en plena temporada seca es necesario adicionar una cantidad considerable de agua, por cuanto la escarificación profunda produce una gran cantidad de material suelto.

La operación de perfilado pesado es impracticable en afirmados cuyo espesor sea inferior a 75 mm.

Recarga de grava: Operación muy parecida a la precedente, pero con aporte de material para restablecer (o superar) el espesor inicial del afirmado. Es conveniente restituir el nivel de la superficie existente antes de colocar el material de recarga, para evitar la posibilidad de que las deformaciones existentes se reflejen en la nueva superficie. No se debe permitir que la compactación sea producida exclusivamente por el tránsito, pues se concentraría en las zonas de circulación de las ruedas, causando ahuellamientos con notable rapidez.

La recarga se aplica cuando el material del afirmado se ha desgastado por la acción del tránsito, por los perfilados periódicos, por la erosión causada por las aguas superficiales y por la dispersión de polvo provocada por el viento, dejando expuesta la subrasante, en particular donde existen ondulaciones, deformaciones y baches.

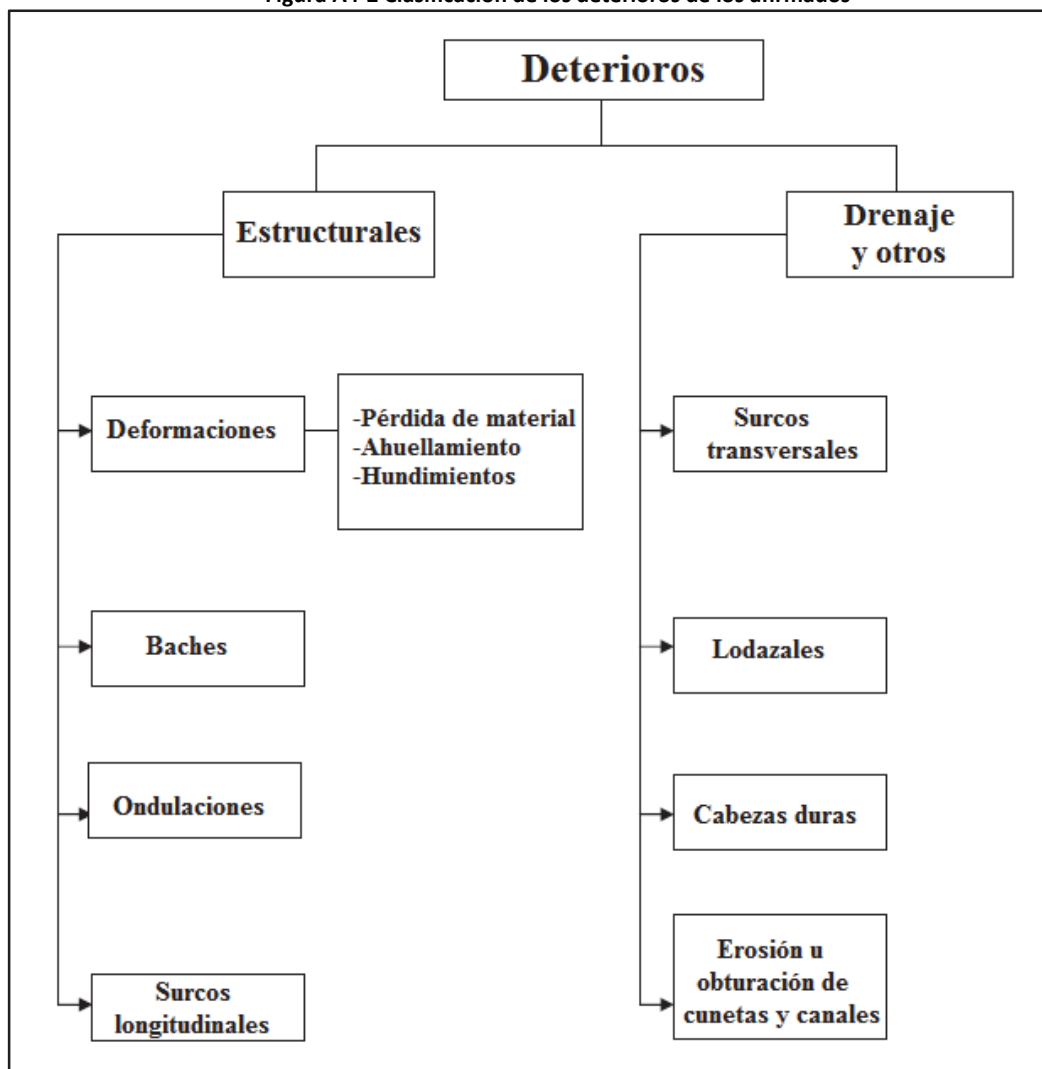
Las características de material por aplicar dependen de las condiciones climáticas del lugar y el espesor de aplicación debe ser el resultado de un diseño.

Reconstrucción: Consiste en el reemplazo total o parcial del afirmado existente para mejorar su capacidad estructural, adaptándolo a las necesidades del tránsito futuro. Esta operación puede implicar la modificación de la rasante o, inclusive, del alineamiento del camino.

A4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS

Los deterioros del afirmado se deben clasificar en dos grandes familias: (1) estructurales y (2) relacionados con el manejo del agua y otras condiciones no estructurales. Un esquema con la composición de cada familia se muestra en la Figura A4-2. De ellos, solamente los estructurales entran en el cálculo del Índice de Viabilidad (I_v), ya que se considera que los otros deben ser resueltos a través de trabajos localizados.

Figura A4-2 Clasificación de los deterioros de los afirmados



A4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS ESTRUCTURALES

Deformaciones: las deformaciones que se producen en los afirmados pueden tener tres orígenes: (1) pérdida de material (fenómeno conocido como pérdida de grava, el cual contribuye en la disminución del espesor de la capa), (2) ahuellamiento en las zonas de rodado y (3) hundimientos en el borde o en el interior de la calzada.

La pérdida de grava consiste en la desaparición de las partículas gruesas de la superficie, como consecuencia de las agresiones sufridas por el afirmado, incluyendo algunas operaciones de mantenimiento (Figura A4-3). Su velocidad de evolución es variable

dependiendo de la región, el clima, los materiales de construcción, la intensidad del tránsito y la topografía. Se produce durante todo el año, pero se acentúa en la época lluviosa. En la época seca se forman nubes de polvo desprendido, las que reducen la visibilidad comprometiendo la seguridad en la circulación y afectando notoriamente la comodidad y la salud de los vecinos de la vía (Figura A4-4).

Figura A4-3 Pérdida de grava (A.4.3)



Figura A4-4 Formación de una nube de polvo (A.4.4)



El ahuellamiento es un deterioro atribuible al tránsito en las calzadas afirmadas. Proviene de los esfuerzos producidos por las ruedas de los vehículos, siendo más marcado cuanto más pesado y canalizado es el tránsito (Figura A4-5). En la estación seca produce el desplazamiento lateral de los materiales poco cohesivos, mientras que en la húmeda se puede producir una pérdida de estabilidad del afirmado o del suelo de soporte. Este deterioro afecta notoriamente la seguridad de los usuarios, por cuanto dificulta los desplazamientos laterales y amplifica su desarrollo. Su profundidad puede alcanzar magnitudes tales que los ejes, en especial de los vehículos livianos, rozan la superficie haciendo prácticamente imposible su circulación (A4.5).

Figura A4-5 Ahuellamiento (A.4.4)



El hundimiento de la calzada, que se puede deber a asentamientos diferenciales, a la baja capacidad portante o al colapso del suelo de soporte, produce el estancamiento de agua en la superficie y el reblandecimiento del cuerpo de la calzada. La falta de atención oportuna a este problema trae como consecuencia la formación de baches y lodazales.

Es importante distinguir los tres tipos de deformaciones, por cuanto sus consecuencias sobre el mantenimiento son diferentes. En el primer caso, el mantenimiento, y particularmente las operaciones de perfilado y de recarga pueden ser útiles, mientras que en los otros dos, que son consecuencia de una débil capacidad portante del soporte o de una inestabilidad de la estructura, es preciso recurrir a trabajos de reconstrucción. La gravedad de las deformaciones se expresa en este método en términos de la flecha medida bajo una regla de 1.50 m de longitud.

Baches: son cavidades aproximadamente circulares que se producen como resultado del desprendimiento del material superficial (Figura A4-6). En los caminos no revestidos los baches se consideran un desorden estructural, y como la capa de base es la misma de rodamiento, se propagan a gran velocidad a través del espesor de la estructura. Los baches se pueden generar a causa del debilitamiento que producen las deformaciones del afirmado; también, como resultado de una compactación deficiente o del uso de un material inapropiado en la construcción de la capa.

Figura A4-6 Baches (A.4.6)



Ondulaciones: consisten en la reordenación de la superficie del afirmado en ondas paralelas orientadas perpendicularmente al sentido del tránsito (Figura A4-7). Suelen ocupar todo el ancho de la vía y presentan una longitud de onda que varía entre 300 y 500 mm en calzadas arenosas y entre 600 y 1000 mm en calzadas con alto contenido de grava. Se ha encontrado que el defecto se inicia a partir de alguna desigualdad de la superficie y que la frecuencia de la vibración de la masa no suspendida de los vehículos, combinada con su velocidad de avance y la presión de contacto de los neumáticos, determina la longitud de onda.

El deterioro se desarrolla en la estación seca, cuando el material del afirmado presenta una cohesión débil. El viento ayuda, además, a la pérdida de finos. Durante la estación húmeda, las ondulaciones se pueden reproducir en el suelo de soporte, generando problemas adicionales de mantenimiento.

Este defecto resulta insoportable a baja velocidad, haciéndose menos sensible a velocidades altas, convirtiéndose entonces en un peligro para la circulación. Constituye, además, una de las causas principales del incremento de los costos de operación vehicular en las vías en afirmado.

Aunque su origen esté ligado a la naturaleza del material y no al espesor de la capa, el método lo trata como un deterioro estructural por sus consecuencias, en el sentido de que el espesor del afirmado se ve disminuido en los valles de las ondulaciones.

Figura A4-7 Ondulaciones (A4.7)



Surcos longitudinales: son el resultado de la erosión debida al agua que fluye por el centro o los costados de la calzada, en lugar de producirse por las cunetas (Figura A4-8). La intensidad del deterioro depende de la cantidad de agua involucrada y de la velocidad de los cursos de agua que se forman. La progresión del fenómeno es muy rápida y peligrosa para la seguridad de los usuarios. Aunque se trata de un problema funcional y no estructural, el método lo considera una degradación estructural porque se puede traducir en una erosión profunda del afirmado que hace que su reparación exija tanto una puesta a punto de las cunetas como la recuperación del perfil a lo largo del camino.

Figura A4-8 Surcos longitudinales (A4.8)



A4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS DETERIOROS PRODUCIDOS POR INSUFICIENCIAS DEL DRENAJE Y OTRAS CAUSAS

Surcos transversales: son hundimientos formados por aguas superficiales que atraviesan la calzada de un lado a otro (Figura A4-9). Se pueden originar por la falta de una tubería en un punto bajo del camino, por una tubería rota o una cuneta obstruida que obliga al agua a buscar otro camino siguiendo la línea de mayor pendiente. En cuanto a la progresión del fenómeno, aplica lo mencionado para los surcos longitudinales. Estos surcos exigen reparaciones puntuales no programadas, por cuanto no son previsibles. Aunque su nivel de gravedad se puede expresar en términos de su anchura o su profundidad, la necesidad inmediata de su reparación no hace necesaria su cuantificación.

Figura A4-9 Surcos transversales (A4.6)



Lodazales: constituyen zonas localizadas de la calzada completamente destruidas por la acción del agua y del tránsito (Figura A4-10). Su gravedad se puede expresar en términos de la dificultad que se experimenta para salvarlos pero, como en el caso de los surcos transversales, el nivel de gravedad resulta menos importante que su misma existencia y su extensión. Un lodazal de pocos metros de longitud se puede superar con un desvío o algunas medidas relacionadas con el drenaje, mientras que uno de varios kilómetros muy seguramente solo se soluciona con una elevación general de la rasante y/o un cambio en la naturaleza de los materiales del afirmado.

Figura A4-10 Lodazal (A4.8)



Cabezas duras: son partículas gruesas que sobresalen apreciablemente en la superficie de rodadura como resultado del desgaste que sufre el afirmado debido al tránsito o a la erosión (Figura A4-11). El fenómeno se puede producir por la presencia de sobretamaños, por discontinuidades en la curva granulométrica del afirmado o por diferencias de dureza entre las partículas del agregado grueso. Cualquiera sea el motivo, su presencia da lugar a una pésima calidad en el rodamiento y obliga a una drástica reducción en la velocidad de circulación. Además, este tipo de textura superficial genera problemas para el mantenimiento, haciendo normalmente impracticables las operaciones de perfilado ligero.

Figura A4-11 Cabezas duras (A4.9)



Erosión u obturación de cunetas y canales: la erosión es el resultado del desprendimiento y transporte de los materiales constitutivos de los canales y cunetas, producido por el agua que fluye por la superficie (Figura A4-12). Se puede deber a una baja cohesión del material, a una pendiente longitudinal muy elevada y, también, a la falta de mantenimiento.

La obturación consiste en la acumulación de materiales sólidos dentro de los canales y cunetas. Se puede producir por ausencia o deficiencia de limpieza, por cierres causados por

los vecinos para acceder con mayor facilidad a sus predios y por la presencia de vegetación, en especial ramas de árboles, durante el período de lluvias

Figura A4-12 Erosión avanzada de una cuneta (A4.4)



A4.5 CUANTIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS ESTRUCTURALES

Cada deterioro se debe definir por su nombre y su nivel de gravedad. Este último está ligado a la importancia de los trabajos que provoca. Por ejemplo:

- Si la magnitud de una deformación es muy baja es posible evitar el perfilado ligero, pero si es muy alta puede llegar a ser necesaria una recarga de material.
- Una cantidad escasa de baches en un determinado tramo se puede reparar mediante reaplicaciones localizadas de grava, mientras un número muy alto de ellos puede exigir un perfilado pesado. En un afirmado, la gravedad de los baches es más un asunto de cantidad que de diámetro o de profundidad.
- Si la magnitud de la flecha de una ondulación es baja, ésta se puede eliminar con un perfilado ligero, pero si es importante se requiere un perfilado pesado.

VIZIRET clasifica la gravedad de los deterioros estructurales del afirmado de la manera que muestra la Tabla A4-1

Tabla A4-1 Clasificación de la gravedad de los deterioros de los afirmados

| Deterioro | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---|
| Deformaciones | < 50 mm | 50 – 100 mm | > 100 mm |
| Baches ¹ | Pocos y de pequeño diámetro | Bastantes o de gran tamaño | Numerosos y de tamaño que justifica la reconstrucción |
| Ondulaciones (flecha) | < 20 mm | 20 – 50 mm | > 50 mm |
| Surcos longitudinales (profundidad) | < 50 mm | 50 – 100 mm | > 100 mm |

¹ El número y las dimensiones de los baches se deben estimar, más que definir con precisión. La siguiente clasificación puede servir de base para dicha estimación:

- Nivel 1: menos de 5 baches de diámetro menor de 0.50 m en una sección de 100 m
- Nivel 2: entre 5 y 20 baches de diámetro menor de 0.50 m en una sección de 100 m o menos de 5 con diámetro mayor de 1 m
- Nivel 3: más de 20 baches de diámetro menor de 0.50 m en una sección de 100 m o más de 5 con diámetro mayor de 1 m

La relación entre los niveles de gravedad y la naturaleza de los trabajos de mantenimiento por realizar se muestra en la Tabla A4-2.

Tabla A4-2 Relación entre el nivel de gravedad de un deterioro y la naturaleza de los trabajos

| | | |
|---------|---|-----------------------------------|
| Nivel 0 | Ausencia de deterioros | Monitoreo y mantenimiento básico |
| Nivel 1 | Degradación leve y poco sensible a los usuarios | Perfilado ligero con o sin bacheo |
| Nivel 2 | Degradación constante y sensible a los usuarios | Perfilado pesado con o sin bacheo |
| Nivel 3 | Degradación muy importante | Recarga de grava o reconstrucción |

En lo que concierne a la pérdida de material, el nivel de gravedad se puede estimar a partir de la formación de polvo durante la temporada seca:

Nivel 1: Nubes de polvo débiles que se disipan rápidamente y que no causan molestias a los usuarios de los demás vehículos.

Nivel 2: Nubes de polvo persistentes que alcanzan la altura de una persona y obstruyen totalmente la visibilidad de un peatón.

Nivel 3: Ausencia total de visibilidad para el conductor de un automóvil.



Nivel 1



Nivel 2



Nivel 3

A4.6 ÍNDICE DE VIABILIDAD (I_v)

El índice de calidad estructural de la sección evaluada, llamado índice de viabilidad, está ligado a los 4 niveles de gravedad definidos en la Tabla A.2.2. Numéricamente, el índice es igual al valor correspondiente al nivel más alto de los deterioros detectados en la sección del camino evaluada por el ingeniero. En otras palabras, I_v corresponde al mayor nivel al que dé lugar la existencia de deformaciones, baches, ondulaciones y surcos longitudinales. Si dos tipos de deterioros clasifican en el mismo nivel, ello no modifica ni el índice de viabilidad ni la naturaleza de la tarea de mantenimiento por realizar.

A4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A4.1 Paul Autret, *“Étude des routes non revêtues VIZIRET. Système de gestion de l’entretien d’un réseau routière”*, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées No. 210, Paris, Juillet-Août 1997

A4.2 Paul Autret, Jean-Louis Brousse, *“VIZIRET. Qualification et quantification des dégradations d’une route non revêtue pour la programmation et le suivi des travaux d’entretien”*, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées No. 213, Paris, Janvier-Février 1998

A4.3 Donald Walker, *“Paser Manual gravel roads”*, Wisconsin Transportation Information Center, Madison, WI, 2002

A4.4 Egis Bceom International, *“Catalogue des dégradations des routes non revêtues”*, Direction Nationale des Routes, Ministère de l’Équipement et des Transports, République du Mali, Septembre 2009

A4.5 Fernando Sánchez Sabogal, *“Diseño de soluciones para el mantenimiento de carreteras en afirmado”*, XII Congreso argentino de vialidad y tránsito, Tomo II, Buenos Aires, 29 de septiembre al 3 de octubre de 1997

A4.6 Ouedraogo, *“Dégradations de surface des routes non revêtues”*, Bamako, Février 2006

A4.7 Ken Skorseth, Ali A. Selim, *“Gravel roads. Maintenance and design manual”*, South Dakota Local Transportation Assistance Program, November 2000

A4.8 <https://www.youtube.com/watch?v=OaLEmXYM1c>, *“Esta es la otra cara de Colombia”*

A4.9 D. Jones, P. Paige-Green, *“Pavement Management Systems: Standard Visual Assessment Manual for Unsealed Roads”*, Contract Report CR-2000/66, Pretoria, South Africa, December 2000

Página en blanco

ANEXO 5

Consideraciones Sobre el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente de Gradación Continua Mediante el Método Marshall



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------------|
| A5 ANEXO 5 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL | V1-A5 9 |
| A5.1 INTRODUCCIÓN | V1-A5 9 |
| A5.2 TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES BÁSICOS | V1-A5 10 |
| A5.2.1 AGREGADOS PÉTREOS Y LLENANTE MINERAL | V1-A5 10 |
| A5.2.1.1 Tamaño máximo admisible | V1-A5 10 |
| A5.2.1.2 Número de fracciones para elaborar las mezclas de diseño | V1-A5 10 |
| A5.2.1.3 Dosificación de los agregados | V1-A5 11 |
| A5.2.1.4 Gravedades específicas de los agregados pétreos | V1-A5 13 |
| A5.2.2 LIGANTE ASFÁLTICO | V1-A5 18 |
| A5.2.2.1 Gravedad específica | V1-A5 18 |
| A5.2.2.2 Temperatura requerida para la mezcla del cemento asfáltico con los agregados | V1-A5 19 |
| A5.2.2.3 Manera de calentar el asfalto para elaborar las probetas | V1-A5 20 |
| A5.3 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS | V1-A5 20 |
| A5.3.1 CONTENIDOS DE LIGANTE POR UTILIZAR PARA LOS TANTEOS DEL DISEÑO | V1-A5 20 |
| A5.3.2 CANTIDAD DE MEZCLA POR PREPARAR SIMULTÁNEAMENTE | V1-A5 21 |
| A5.3.3 ORDEN DE ADICIÓN DE LOS MATERIALES AL ELEMENTO DE MEZCLADO | V1-A5 22 |
| A5.3.4 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA Y TIEMPO DE LA MISMA | V1-A5 22 |
| A5.3.5 NÚMERO DE PROBETAS PARA CADA CONTENIDO DE LIGANTE | V1-A5 23 |
| A5.3.6 ACONDICIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS ANTES DE SU COMPACTACIÓN | V1-A5 23 |
| A5.4 COMPACTACIÓN DE LAS MEZCLAS | V1-A5 24 |
| A5.4.1 TEMPERATURA DEL MOLDE Y DE LA BASE DEL MARTILLO DE COMPACTACIÓN | V1-A5 24 |
| A5.4.2 TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN | V1-A5 24 |
| A5.4.3 PEDESTAL DE COMPACTACIÓN | V1-A5 25 |
| A5.4.4 MATERIAL POR COLOCAR ENTRE EL MOLDE Y LA MEZCLA | V1-A5 25 |
| A5.4.5 MÉTODO Y TIEMPO DE COMPACTACIÓN | V1-A5 25 |
| A5.4.6 NÚMERO DE GOLPES POR CARA | V1-A5 25 |
| A5.5 TRATAMIENTO INICIAL DE LAS PROBETAS COMPACTADAS | V1-A5 26 |
| A5.5.1 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO | V1-A5 26 |
| A5.5.2 EXTRACCIÓN DE LA PROBETA | V1-A5 26 |
| A5.5.3 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS PROBETAS (G_{MB}) | V1-A5 26 |
| A5.6 ENSAYO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS | V1-A5 27 |
| A5.6.1 TRATAMIENTO PREVIO DE LAS PROBETAS | V1-A5 27 |
| A5.6.1.1 Baño de agua | V1-A5 27 |
| A5.6.1.2 Tiempo transcurrido entre la salida del baño y el fin del ensayo de estabilidad y flujo | V1-A5 28 |
| A5.6.1.3 Temperatura de las mordazas | V1-A5 28 |
| A5.6.2 MEDIDA DE LA ESTABILIDAD Y DEL FLUJO | V1-A5 28 |
| A5.6.2.1 Condiciones de la máquina de ensayo y de los elementos auxiliares | V1-A5 28 |
| A5.6.2.2 Método de registro | V1-A5 28 |
| A5.6.2.3 Corrección de la estabilidad medida | V1-A5 29 |
| A5.6.2.4 Repetitividad y reproducibilidad de los valores de estabilidad y flujo | V1-A5 29 |
| A5.7 CÁLCULOS | V1-A5 30 |
| A5.7.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LAS PROBETAS COMPACTADAS (G_{MB}) | V1-A5 30 |
| A5.7.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA DE CADA MEZCLA (G_{MT}) | V1-A5 31 |
| A5.7.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA MEDIDA (G_{MM}) Y GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA (G_{SE}) | V1-A5 32 |
| A5.7.4 ASFALTO ABSORBIDO POR LOS AGREGADOS PÉTREOS (P_{BA}) | V1-A5 34 |
| A5.7.5 CÁLCULOS VOLUMÉTRICOS | V1-A5 35 |
| A5.7.5.1 Volumen bulk de los agregados | V1-A5 36 |
| A5.7.5.2 Volumen de vacíos con aire | V1-A5 36 |
| A5.7.5.3 Volumen de asfalto efectivo | V1-A5 36 |
| A5.7.5.4 Volumen de vacíos en los agregados (VMA) | V1-A5 37 |
| A5.7.5.5 Volumen de vacíos llenos de asfalto | V1-A5 37 |
| A5.7.6 ASFALTO EFECTIVO (PORCENTAJE EN MASA) | V1-A5 38 |
| A5.7.7 ESTABILIDAD Y FLUJO | V1-A5 38 |
| A5.8 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO EN LA MEZCLA | V1-A5 39 |

VOLUMEN 1

Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

| | | |
|--------------|---|-----------------|
| A5.8.1 | DETERMINACIÓN DEL RANGO EN EL QUE SE CUMPLEN LAS EXIGENCIAS DE LA ESPECIFICACIÓN | V1-A5 39 |
| A5.8.2 | EJEMPLO NUMÉRICO | V1-A5 40 |
| A5.8.3 | ASPECTOS A CONSIDERAR PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE ÓPTIMO DEFINITIVO EN UN DISEÑO MARSHALL | V1-A5 45 |
| A5.8.3.1 | Efecto de los vacíos en los agregados minerales (VMA) | V1-A5 45 |
| A5.8.3.2 | Efecto de la energía de compactación | V1-A5 47 |
| A5.8.3.3 | Efecto de la compactación secundaria | V1-A5 48 |
| A5.8.3.4 | Efecto de los vacíos con aire | V1-A5 49 |
| A5.8.3.5 | Efecto de los vacíos llenos de asfalto | V1-A5 49 |
| A5.8.3.6 | Espesor de la película de asfalto | V1-A5 51 |
| A5.8.3.7 | Influencia de la estructura del pavimento | V1-A5 52 |
| A5.8.3.8 | Influencia del clima | V1-A5 53 |
| A5.8.3.9 | Influencia de las condiciones del proyecto | V1-A5 53 |
| A5.8.3.10 | Guía general para el ajuste de la mezcla | V1-A5 53 |
| A5.9 | VERIFICACIONES ADICIONALES A LA MEZCLA ESCOGIDA COMO ÓPTIMA | V1-A5 54 |
| A5.9.1 | EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD | V1-A5 54 |
| A5.9.2 | EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AHUELLAMIENTO | V1-A5 55 |
| A5.10 | CONSIDERACIÓN FINAL | V1-A5 56 |
| A5.11 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | V1-A5 56 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----------|
| <i>Figura A5-1 Diferentes volúmenes del agregado pétreo</i> | V1-A5 14 |
| <i>Figura A5-2 Volúmenes calculados según la gravedad específica utilizada (A5.3)</i> | V1-A5 16 |
| <i>Figura A5-3 Prueba del picnómetro para determinar la gravedad específica del ligante</i> | V1-A5 19 |
| <i>Figura A5-4 Ejemplo de curva reológica de un cemento asfáltico</i> | V1-A5 19 |
| <i>Figura A5-5 Mezcladora típica para la elaboración de mezclas de concreto asfáltico en el laboratorio</i> | V1-A5 23 |
| <i>Figura A5-6 Acondicionamiento de la mezcla en el horno antes de su compactación</i> | V1-A5 24 |
| <i>Figura A5-7 Probeta Marshall sellada al vacío</i> | V1-A5 31 |
| <i>Figura A5-8 Ejemplo de ecuación de variación de G_{mm} con el contenido de asfalto</i> | V1-A5 34 |
| <i>Figura A5-9 Mezcla suelta para hallar G_{mm} por el método de sellado al vacío</i> | V1-A5 34 |
| <i>Figura A5-10 Relaciones volumétricas y de masa en una probeta Marshall</i> | V1-A5 36 |
| <i>Figura A5-11 Formas típicas de las curvas de comportamiento de una mezcla compactada en el método Marshall</i> | V1-A5 40 |
| <i>Figura A5-12 Curvas de comportamiento de la mezcla en el ensayo Marshall</i> | V1-A5 42 |
| <i>Figura A5-13 Contenidos de asfalto que satisfacen los criterios de diseño</i> | V1-A5 45 |
| <i>Figura A5-14 Curva cuyo fondo está bajo el nivel mínimo admisible de VMA</i> | V1-A5 46 |
| <i>Figura A5-15 Variación de los VMA con la energía de compactación Marshall</i> | V1-A5 47 |
| <i>Figura A5-16 Variación de los vacíos con aire con la energía de compactación</i> | V1-A5 48 |
| <i>Figura A5-17 Efecto de la compactación sobre los vacíos con aire de la mezcla</i> | V1-A5 48 |
| <i>Figura A5-18 Efecto que impone la limitación de los vacíos llenos de asfalto</i> | V1-A5 51 |
| <i>Figura A5-19 Inexistencia de un espesor claramente definido de la película de asfalto efectivo en la mezcla compactada</i> | V1-A5 52 |
| <i>Figura A5-20 Ensayo de la probeta a tensión indirecta</i> | V1-A5 55 |
| <i>Figura A5-21 Cámara para el ensayo de pista de laboratorio y probeta ensayada</i> | V1-A5 56 |

Página en blanco

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----------------|
| <i>Tabla A5-1 Ensayos requeridos sobre la mezcla y las probetas compactadas para la ejecución de un diseño Marshall</i> | <i>V1-A5 9</i> |
| <i>Tabla A5-2 Granulometrías de los materiales</i> | <i>V1-A5 11</i> |
| <i>Tabla A5-3 Granulometría combinada</i> | <i>V1-A5 12</i> |
| <i>Tabla A5-4 Influencia del tipo de gravedad específica utilizada sobre los diversos volúmenes de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas (A5.2)</i> | <i>V1-A5 17</i> |
| <i>Tabla A5-5 Criterio de comprobación por rigidez del diseño Marshall</i> | <i>V1-A5 38</i> |
| <i>Tabla A5-6 Formulario sugerido para presentar los datos de un diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall</i> | <i>V1-A5 43</i> |
| <i>Tabla A5-7 Guía para el ajuste de la mezcla</i> | <i>V1-A5 54</i> |

Página en blanco

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|------------------|----------|
| [Ecuación A5-1] | V1-A5 12 |
| [Ecuación A5-2] | V1-A5 12 |
| [Ecuación A5-3] | V1-A5 15 |
| [Ecuación A5-4] | V1-A5 18 |
| [Ecuación A5-5] | V1-A5 20 |
| [Ecuación A5-6] | V1-A5 31 |
| [Ecuación A5-7] | V1-A5 32 |
| [Ecuación A5-8] | V1-A5 33 |
| [Ecuación A5-9] | V1-A5 34 |
| [Ecuación A5-10] | V1-A5 35 |
| [Ecuación A5-11] | V1-A5 36 |
| [Ecuación A5-12] | V1-A5 36 |
| [Ecuación A5-13] | V1-A5 36 |
| [Ecuación A5-14] | V1-A5 37 |
| [Ecuación A5-15] | V1-A5 37 |
| [Ecuación A5-16] | V1-A5 37 |
| [Ecuación A5-17] | V1-A5 38 |

Página en blanco

ANEXO 5. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL

A5.1 INTRODUCCIÓN

Las mezclas densas de gradación continua elaboradas en caliente constituyen la unidad de obra más empleada en los trabajos de construcción, mantenimiento periódico, refuerzo, rehabilitación y reconstrucción de las calzadas flexibles de las carreteras de la red vial nacional no concesionada. Su elaboración y puesta en obra se deben realizar de acuerdo con el Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto.

El numeral 450.4 de este Artículo establece que tales mezclas se deben diseñar por el método Marshall y fija los criterios para la definición preliminar del porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla a partir de los resultados del diseño.

Si bien el Artículo 450 menciona las normas de ensayo INV por emplear para la ejecución de la mayoría de las pruebas sobre las probetas compactadas y de los cálculos requeridos para realizar el diseño y determinar ese óptimo (Tabla A5-1), no se presenta allí, como tampoco dentro de las normas de ensayo del Instituto, el procedimiento a seguir para determinar ese porcentaje óptimo de asfalto. La finalidad de este Anexo es, en consecuencia, presentar el procedimiento completo para el diseño de una mezcla en caliente de gradación continua empleando el método Marshall.

Tabla A5-1 Ensayos requeridos sobre la mezcla y las probetas compactadas para la ejecución de un diseño Marshall

| Ensayo | Normas de ensayo |
|--|------------------|
| Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos | INV E-733 |
| Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas absorbentes empleando especímenes recubiertos con una película de parafina | INV E-734 |
| Gravedad específica máxima de mezclas asfálticas para pavimentos | INV E-735 |
| Gravedad específica máxima y densidad máxima de las mezclas asfálticas para pavimentación mediante el método de sellado automático por vacío | INV E-803 |
| Porcentaje de vacíos con aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas | INV E-736 |
| Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall | INV-E 748 |
| Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall sobre probetas de 152.4 milímetros (6 pulgadas) de diámetro | INV E-800 |

A5.2 TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES BÁSICOS

Se da por sentado, ante todo, que tanto los agregados pétreos como el llenante mineral y el ligante bituminoso a emplear en la fabricación de la mezcla satisfacen los requisitos de calidad indicados en los numerales 450.2.1 y 450.2.2 del Artículo 450.

A5.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

A5.2.1.1 Tamaño máximo admisible

El método Marshall original solamente aplica al diseño de mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados cuyas partículas pasen en su totalidad el tamiz de 25 mm (1"), pues el empleo de partículas de mayor tamaño disminuye la homogeneidad de las probetas de tamaño normal (2 ½" × 4") y, con ello, la repetitividad y la reproducibilidad de los resultados.

Con el paso de los años, se desarrolló un método Marshall modificado para permitir la elaboración de diseños de mezclas empleando agregados pétreos con tamaño máximo nominal hasta de 38 mm (1.5"). El método fue acogido tanto por el Instituto del Asfalto como por las entidades de normalización reconocidas. Las condiciones de preparación y de ensayo de las probetas que se elaboran para diseñar una mezcla con base en esta modificación se describen en la norma INV E-800.

A5.2.1.2 Número de fracciones para elaborar las mezclas de diseño

La norma INV E-748 recomienda que los agregados pétreos se dividan en las fracciones que se indican a continuación, cuya selección depende del tamaño máximo del agregado por emplear en la mezcla:

- 25.0 mm a 19.0 mm (1" a ¾")
- 19.0 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8")
- 9.5 mm a 4.75 mm (3/8" a No. 4)
- 4.75 mm a 2.36 mm (No. 4 a No. 8)
- pasa 2.36 mm (No. 8)

Por su parte, para las mezclas que contengan agregados de mayor tamaño, la norma INV E-800 recomienda las porciones que se indican a continuación:

- 50.0 mm a 37.5 mm (2" a 1 ½")
- 37.5 mm a 25.0 mm (1 ½" a 1")
- 25.0 mm a 19.0 mm (1" a ¾")
- 19.0 mm a 9.50 mm (¾" a 3/8")
- 9.50 mm a 4.75 mm (3/8" a No. 4)
- 4.75 mm a 2.36 mm (No. 4 a No. 8)

- pasa 2.36 mm (No. 8)

Aunque todos los diseños de mezclas combinan diversas fracciones de agregados, el número de ellas y sus tamaños no se suelen ajustar al listado anterior, sino que se acomodan a la cantidad de materiales disponibles en la planta de procesamiento de los agregados para conseguir la gradación exigida por la especificación. Esta práctica se puede considerar normal y aceptable, si se tiene en cuenta que, por ejemplo, la norma INV E-800 indica que las fracciones definitivas dependerán de los tamaños disponibles en la planta de producción, lo que se ajusta más a la realidad de la obra.

A5.2.1.3 Dosificación de los agregados

Los agregados suministrados al laboratorio deberán ser representativos de los acopiados en la obra, pues a partir de ellos es que se determinan sus proporciones para obtener una granulometría combinada que se encuentre dentro del huso exigido para la mezcla por elaborar.

Normalmente, se intenta que la curva granulométrica de la mezcla de agregados se ajuste a la que pasa por el centro del huso exigido, para lo cual se comenzará realizando un tanteo para encontrar la proporción de cada uno de los materiales disponibles que permita reproducir esa curva. Existen muchos procedimientos para realizar ese tanteo inicial. En la antigua norma MOP D 152-64 se describen varios de ellos (A5.1).

Supóngase, a los efectos de explicar uno de los procedimientos usuales, que se dispone de tres materiales: un agregado grueso, un agregado fino y un llenante mineral cuyas granulometrías representativas se muestran en la Tabla A5-2, con los cuales se desea obtener un material combinado que encaje en la franja MDC-19 del Artículo 450 de las especificaciones del Instituto, la cual se incluye en la misma tabla, así como la gradación deseada, que corresponde al centro de dicha franja.

Tabla A5-2 Granulometrías de los materiales

| | Porcentaje que pasa | | | | | | | |
|---------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| Tamiz (mm) | 19.0 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2.00 | 0.425 | 0.180 | 0.075 |
| Tamiz (US) | ¾" | ½" | 3/8" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 80 | No. 200 |
| Grueso | 100 | 78 | 58 | 21 | 2.5 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |
| Fino | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 | 35 | 20 | 6.5 |
| Llenante | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 82 |
| Franja MDC-19 | 100 | 80-95 | 70-88 | 49-65 | 29-45 | 14-25 | 8-17 | 4-8 |
| Deseada | 100 | 87.5 | 79 | 57 | 37 | 19.5 | 12.5 | 6 |

Al observar las granulometrías de los tres materiales disponibles se aprecia que hay una separación bastante clara entre los agregados grueso y fino en el tamiz No. 10 y que la mayor proporción de arena proviene del agregado fino. En consecuencia, el primer paso consiste en determinar las proporciones aproximadas para combinar los agregados grueso y fino de manera que, aproximadamente, un 37 % pase por el tamiz No.10 (valor deseado).

El porcentaje necesario de agregado grueso para producir la cantidad deseada de “pasa” en un tamiz cualquiera (en este caso el No. 10), se puede calcular con la siguiente expresión, aplicable únicamente a la mezcla de dos agregados:

$$X = \frac{F - S}{F - C} \times 100 \quad [\text{Ecuación A5-1}]$$

Donde:

X = porcentaje necesario de gruesos en la combinación

S = porcentaje que se desea que pase un tamiz dado

F = porcentaje de agregado fino que pasa ese tamiz

C = porcentaje de gruesos que pasa ese tamiz

Para el caso propuesto:

$$X = \frac{80 - 37}{80 - 2.5} \times 100 = 55 \% \text{ de gruesos} \quad [\text{Ecuación A5-2}]$$

Si se usaran exclusivamente 55 % de gruesos y 45 % de finos, el agregado fino produciría $0.45 \times 6.5 = 2.9$ % de material que pasa el tamiz No. 200. Sin embargo, como en la gradación deseada el pasante por el tamiz No. 200 es 6 %, la diferencia $6 - 2.9 = 3.1$ % se deberá completar con la adición del llenante mineral. Con base en lo anterior, se necesitarían $3.1/0.82 = 3.8$ %, aproximadamente 4 % de llenante (82 % es el pasante de llenante mineral por el tamiz No. 200).

Por lo tanto, las proporciones tentativas de mezcla se pueden ajustar así: 55 % de agregado grueso, 41 % de agregado fino y 4 % de llenante. La granulometría resultante de esta mezcla se determina como se muestra en la Tabla A5-3, donde a las granulometrías originales de grueso, fino y llenante, se les aplican los porcentajes 55, 41 y 4, respectivamente.

Tabla A5-3 Granulometría combinada

| | Porcentaje que pasa | | | | | | | |
|----------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| Tamiz (mm) | 19.0 | 12.5 | 9.5 | 4.75 | 2.00 | 0.425 | 0.180 | 0.075 |
| Tamiz (US) | ¾" | ½" | 3/8" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 80 | No. 200 |
| Grueso – 55 % | 55 | 42.9 | 31.9 | 11.6 | 1.4 | 0.3 | 0.2 | 0 |
| Fino – 41 % | 41 | 41 | 41 | 41 | 32.8 | 14.4 | 8.2 | 2.7 |
| Llenante – 4 % | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3.6 | 3.3 |
| Mezcla – 100 % | 100 | 87.9 | 76.9 | 56.6 | 38.2 | 18.7 | 12 | 6 |
| Deseada | 100 | 87.5 | 79 | 57 | 37 | 19.5 | 12.5 | 6 |
| Franja MDC-19 | 100 | 80-95 | 70-88 | 49-65 | 29-45 | 14-25 | 8-17 | 4-8 |

Al comparar la granulometría de la mezcla teórica con la deseada se puede observar que queda ajustada con suficiente aproximación, sobre todo si se tiene en cuenta que lo que se

persigue es encajar una curva en la franja especificada, de acuerdo con las condiciones particulares de la mezcla que se proyecta y de la disponibilidad de materiales, de manera que la buena calidad de la mezcla sea compatible con la manera más económica de obtenerla.

A5.2.1.4 Gravedades específicas de los agregados pétreos

La gravedad específica es la relación entre la masa de un volumen determinado de una sustancia y la masa de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. Los valores de las gravedades específicas de los agregados son necesarios para elaborar el diagrama de componentes que describe las propiedades de volumen de las mezclas compactadas. A los agregados pétreos se les pueden definir cuatro gravedades específicas requeridas para el correcto análisis volumétrico de las probetas asfálticas compactadas (Nota 1) (Tabla A5-1):

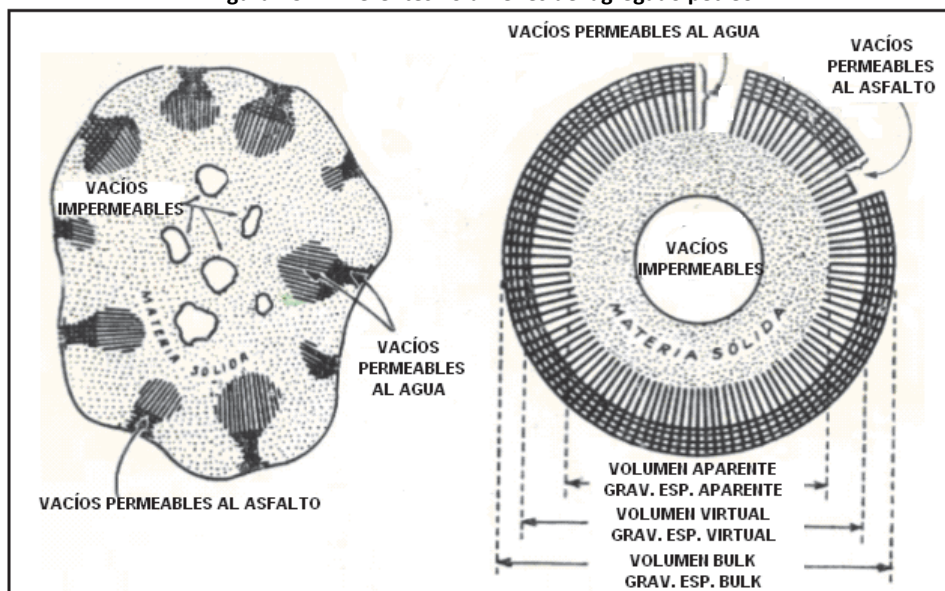
Gravedad específica bulk o bruta (G_{sb}), la cual se determina relacionando la masa del agregado con su volumen bruto, es decir, incluyendo tanto el volumen sólido como el de los vacíos permeables al agua.

Gravedad específica bulk (o bruta) en condición saturada y superficialmente seca (G_{sb}^{SSS}), la cual relaciona la masa del agregado más la del agua que ocupa sus vacíos superficiales, con el volumen bruto del agregado.

Gravedad específica aparente (G_{sa}), la cual relaciona la masa del agregado con su volumen aparente, es decir, el volumen sólido excluyendo los vacíos permeables al agua.

Gravedad específica efectiva, virtual o impregnada (G_{se}), la cual relaciona la masa del agregado con su volumen efectivo, que es el compuesto por el volumen sólido más los vacíos superficiales que son permeables al agua pero no al asfalto.

Figura A5-1 Diferentes volúmenes del agregado pétreo



Nota 1 – Las denominaciones que se dan en este Anexo a las diferentes gravedades específicas de los agregados han sido las acostumbradas por los ingenieros de pavimentos del país durante largo tiempo. Las normas de ensayo más recientes del Instituto Nacional de Vías (INV E-222 e INV E-223) presentan unas denominaciones diferentes, tomadas de las normas ASTM utilizadas como referencia. En consecuencia, aunque en desarrollo de este Anexo se seguirá utilizando la denominación acostumbrada, en la tabla que se muestra a continuación se presenta la equivalencia entre las dos denominaciones, con el fin de evitar confusiones en caso de que la información sobre las gravedades específicas sea entregada con apego a las normas de ensayo de 2013:

| Símbolo | Denominación usual | Denominación normas de ensayo de 2013 |
|---------------|--|---|
| G_{sb} | Gravedad específica bulk o bruta | Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno (SH) |
| $G_{sb\ SSS}$ | Gravedad específica bulk (o bruta) en condición saturada y superficialmente seca | Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS) |
| G_{sa} | Gravedad específica aparente | Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) |
| G_{se} | Gravedad específica efectiva, virtual o impregnada | - |

Durante los primeros años de aplicación del método Marshall, los cálculos volumétricos de las probetas compactadas se realizaban utilizando la gravedad específica aparente de los agregados (G_{sa}). Con ella y con la gravedad específica del ligante se calculaba el “*peso específico máximo teórico*” o “*gravedad específica máxima teórica*” (G_{mt}), que se comparaba con la gravedad específica de la probeta compactada (G_{mb}), mediante la expresión $[1-(G_{mb}/G_{mt})]\times 100$, para obtener el volumen de vacíos con aire en la mezcla compactada.

Este procedimiento, que apareció descrito por última vez en el manual MS 2 del Instituto del Asfalto de diciembre de 1959, ignoraba la porosidad del agregado pétreo y daba lugar al

cálculo de un volumen de vacíos con aire de la mezcla compactada mayor que el verdadero, cuya incidencia práctica no era otra que la fabricación de mezclas excedidas de asfalto, con los consecuentes riesgos de exudación y de falta de estabilidad en el campo y, sobre todo, el riesgo de deslizamiento vehicular bajo la condición de superficie húmeda.

El error fue corregido a comienzos de la década de los sesenta, cuando James Rice desarrolló un ensayo para determinar la “*gravedad específica máxima teórica medida*” (G_{mm}), o simplemente “*gravedad específica máxima medida*” de las mezclas asfálticas, cuyo valor permitía calcular la gravedad específica efectiva del agregado pétreo y, consecuentemente, el verdadero volumen de vacíos con aire en la mezcla compactada. El cálculo correcto de la composición volumétrica exigía, también, la determinación de la gravedad específica bulk promedio de los agregados pétreos (Nota 2, Nota 3).

Nota 2 – Tratándose tanto del ligante asfáltico como del llenante mineral (material menor al tamiz No. 200), no se puede recurrir al cálculo de las gravedades específicas bulk. En el primer caso, porque no existe dicha gravedad específica y en el segundo, porque no se conoce un ensayo aceptado para su determinación. Por tal motivo, en estos dos casos particulares se opera con la gravedad específica aparente.

Nota 3 – La gravedad específica bulk promedio de los agregados se calcula con la siguiente expresión general:

$$G_{sb} = \frac{1}{\frac{P_1}{100} \frac{1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{100} \frac{1}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{100} \frac{1}{G_{sbn}}} \quad \text{[Ecuación A5-3]}$$

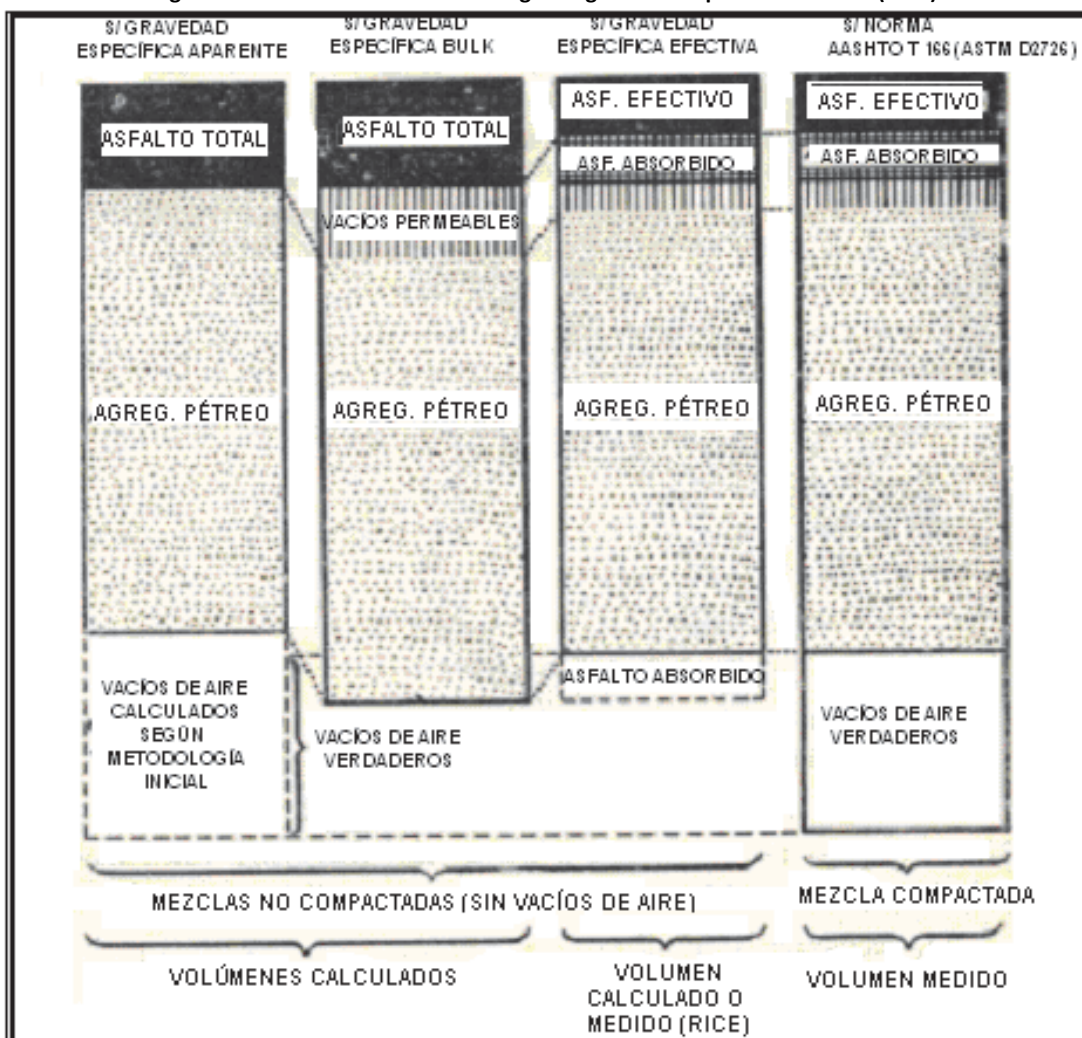
Donde:

P_1, P_2, \dots, P_n = porcentaje en que interviene cada uno de los agregados (incluido el llenante mineral), en la formación del agregado combinado

$G_{sb1}, G_{sb2}, \dots, G_{sbn}$ = gravedad específica bulk de cada uno de los agregados, según normas INV E-222 e INV E-223 (en el caso del llenante mineral se emplea la gravedad específica aparente, norma INV E-128)

En 1965, el Ministerio de Obras Públicas de Colombia adoptó la nueva metodología con motivo de la publicación de las normas de diseños y especificaciones de materiales para carreteras de la entidad (A5.1). Sin embargo, el documento no contó con la claridad suficiente en relación con la gravedad específica de los agregados que se debía emplear en los cálculos, lo que generó frecuentes confusiones y, eventualmente, condujo a cálculos erróneos (la norma MOP D 153-64 mencionaba en algunos casos el “*peso específico*”, sin aclarar cuál de ellos y, en su última página, decía que era «*preciso cuidar de (sic) que los pesos específicos hallados sean “bulk” o “aparentes”, según se necesiten para el método de diseño particular seguido*»). Además, el ejemplo de diseño de mezcla incluido en la norma MOP D 154-64, si bien utilizaba el “*peso específico bulk promedio de los agregados*”, ignoraba por completo la absorción de asfalto en el cálculo volumétrico, lo que conducía a un error exactamente opuesto al que se cometía cuando se usaba la metodología anterior, pues los vacíos con aire que ahora se calculaban resultaban inferiores a los verdaderos (Ver Figura A5-2).

Figura A5-2 Volúmenes calculados según la gravedad específica utilizada (A5.3)



La Tabla A5-4, tomada del manual MS 2 del Instituto del Asfalto, permite apreciar la influencia que tiene el tipo de gravedad específica de los agregados utilizada, sobre los resultados de los cálculos de los diferentes volúmenes de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas (los valores que se consideran reales son los de la primera fila).

Tabla A5-4 Influencia del tipo de gravedad específica utilizada sobre los diversos volúmenes de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas (A5.2)

| Gravedad específica de los agregados, empleada en el cálculo | ¿Se considera la absorción de asfalto por parte de los agregados? | Propiedades de vacíos de la mezcla compactada | | |
|--|---|---|---------------------|------------------------------|
| | | Vacíos en los agregados minerales (%) | Vacíos con aire (%) | Vacíos llenos de asfalto (%) |
| Bulk 2.651 | Sí | 13.6 | 1.1 | 92 |
| Bulk 2.651 | No | 13.6 | -0.8 | 106 |
| Bulk SSS 2.716 | Sí | 15.6 | 3.2 | 79 |
| Bulk SSS 2.716 | No | 15.6 | 1.3 | 92 |
| Aparente 2.834 | No | 19.1 | 4.9 | 74 |
| Efectiva 2.708 | No | 15.4 | 1.1 | 93 |

Considerando las confusiones y errores a los cuales conducía la aplicación de la norma MOP D 154-64, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte adoptó en 1978 la simplificación propuesta por Egberto Tagle a la metodología de cálculo del manual MS 2 del Instituto del Asfalto de 1963, mediante la cual se podía calcular el porcentaje en peso del asfalto absorbido, sin necesidad de determinar previamente la gravedad específica efectiva de los agregados. De ella se presenta una descripción detallada más adelante.

En relación con las gravedades específicas, en muchos diseños realizados en el país se han cometido una gran cantidad de imprecisiones que se han traducido en cálculos incorrectos de los vacíos de las mezclas compactadas, cuya tendencia depende de la manera como se hayan presentado esas imprecisiones. Una confusión frecuente ha sido la derivada de diferencias en la terminología técnica, por cuanto en la tecnología del hormigón y en las normas NTC176 y 237 de ICONTEC se da el nombre de “*densidad aparente*” a lo que en el diseño de las mezclas asfálticas se ha denominado “*gravedad específica bulk*” y el de “*densidad nominal*” a la llamada “*gravedad específica aparente*”.

También, se ha detectado que, de manera asidua, se pasa por alto la proporción de asfalto que absorben los agregados lo que, como ya se mencionó, conduce a calcular unos vacíos con aire inferiores a los verdaderos, obteniéndose, en no pocos casos, valores negativos de ellos que llevan a la paradoja de obtener en los cálculos unos porcentajes de asfalto efectivo superiores a los porcentajes de asfalto añadidos.

Las normas de ensayo de materiales del Instituto incluyen un procedimiento, tomado de la normativa española, consistente en la determinación de la gravedad específica del conjunto de agregados combinados empleando aceite de parafina (INV E-244), el cual se basa en el principio de que la absorción de dicho aceite por parte de los agregados es similar a su absorción de asfalto. Se considera que esta gravedad específica es similar a la “*efectiva*” y evita la engorrosa determinación de la “*gravedad específica máxima medida*” (G_{mm}) como paso previo para el cálculo de la absorción de asfalto y de la composición volumétrica verdadera de la mezcla compactada.

En el diseño volumétrico de la mezcla según el Nivel 1 de la metodología SUPERPAVE se recomienda una expresión que parece poco exacta para el cálculo de la gravedad específica efectiva de los agregados (A5.4):

$$G_{se} = G_{sb} + 0.8 (G_{sa} - G_{sb})$$

[Ecuación A5- 4]

El documento llega a mencionar, inclusive, que al aplicar la fórmula “*el factor puede ser ajustado a discreción del diseñador. Los agregados absorbentes pueden requerir valores cercanos a 0.5 o 0.6*”.

Ejemplo: Determinación de la gravedad específica bulk de los agregados

Los agregados cuya mezcla se presenta en la Tabla A5-3 tienen las siguientes gravedades específicas:

Grueso (bulk) = 2.685

Fino (bulk) = 2.657

Llenante (aparente) = 2.700

En consecuencia la gravedad específica bulk promedio de los agregados mezclados en las proporciones indicadas en la Tabla A5-3, será:

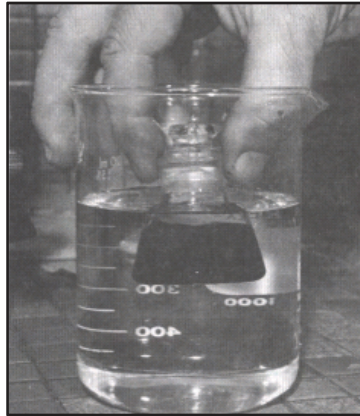
$$G_{sb} = \frac{1}{\frac{55}{100} \frac{1}{2.685} + \frac{41}{100} \frac{1}{2.657} + \frac{4}{100} \frac{1}{2.700}} = 2.674$$

A5.2.2 Ligante asfáltico

A5.2.2.1 Gravedad específica

El valor de la gravedad específica del cemento asfáltico se requiere para el cálculo volumétrico de la mezcla compactada. El procedimiento para determinarla con ayuda de un picnómetro se presenta en la norma INV E-707 (equivalente a las normas AASHTO T 228 y ASTM D 70) (Figura A5-3).

Figura A5-3 Prueba del picnómetro para determinar la gravedad específica del ligante

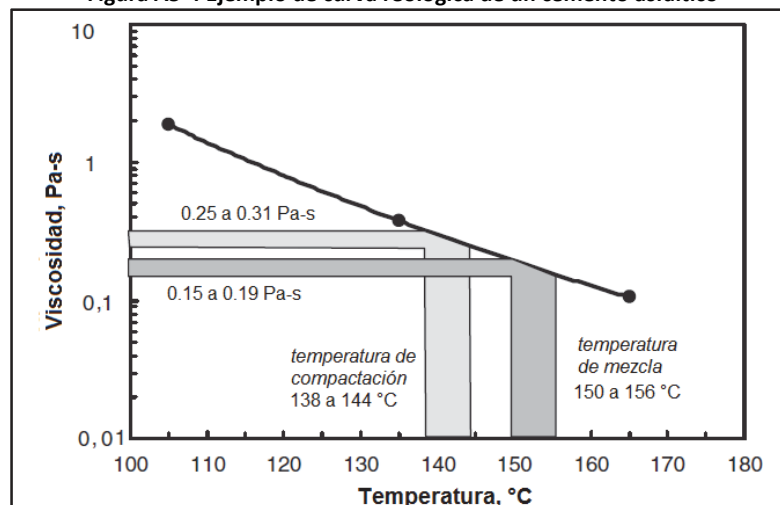


A5.2.2.2 Temperatura requerida para la mezcla del cemento asfáltico con los agregados

De acuerdo con las normas de ensayo, la temperatura del ligante en el momento de su mezcla con el agregado pétreo deberá ser tal, que presente una viscosidad de 170 ± 20 cP (0.17 ± 0.02 Pa-s) cuando se empleen cementos asfálticos convencionales (Nota 4). Viscosidades menores propician el escurrimiento del ligante, en tanto que viscosidades mayores impiden la correcta envuelta de los agregados, dando lugar a probetas menos densas y de menor estabilidad. La determinación de esta temperatura requiere la elaboración de la denominada curva reológica del asfalto (Figura A5-4). Las normas del ensayo Marshall establecen que en el instante de comenzar la mezcla, la temperatura de los agregados no deberá superar la del ligante en más de 28°C .

Nota 4 – Este rango de viscosidad puede resultar inaplicable en el caso de los asfaltos modificados. El usuario deberá contactar a los fabricantes, para establecer los rangos convenientes de temperaturas de mezcla y compactación al emplear dichos productos.

Figura A5-4 Ejemplo de curva reológica de un cemento asfáltico



A5.2.2.3 Manera de calentar el asfalto para elaborar las probetas

Ni en la sexta edición del manual MS 2 del Instituto del Asfalto ni en la norma INV E-748 o en la ASTM D 6926 que le sirvió de referencia, se especifica un procedimiento para calentar el ligante asfáltico antes de mezclarlo con los agregados en el laboratorio. El manual MS 2 solamente recomienda no mantenerlo durante más de una hora a la temperatura de mezcla antes de ser usado.

A5.3 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS

A5.3.1 Contenidos de ligante por utilizar para los tanteos del diseño

El Instituto del Asfalto establece que para una combinación particular de agregados pétreos y asfalto, se prepare y compacte un conjunto de mezclas con diferentes contenidos de ligante, de manera que las curvas que se elaboren con los resultados de los ensayos presenten relaciones bien definidas y permitan establecer el contenido óptimo de asfalto en la mezcla.

De acuerdo con dicha entidad, los tanteos se deben planear con incrementos de $\frac{1}{2}$ por ciento (0.5 %) en el contenido de ligante con respecto al peso de la mezcla, empleando al menos dos porcentajes por encima y dos por debajo del valor óptimo esperado de diseño. Este último se puede estimar de tres maneras: (i) por experiencia; (ii) realizando la prueba del equivalente centrífugo de queroseno y (iii) empleando una fórmula basada en la superficie específica del agregado. El procedimiento de uso corriente en Colombia es el primero. El segundo método, utilizado dentro del diseño de mezclas asfálticas de acuerdo con la antigua norma MOP D 156-64 (A5.1) no se emplea en el país desde hace bastante tiempo, en tanto que la fórmula recomendada por el Instituto del Asfalto para la alternativa (iii) es la siguiente:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

[Ecuación A5-5]

Donde:

P = porcentaje aproximado de asfalto para diseño, en relación con el peso de la mezcla

a = porcentaje (expresado como entero) de material retenido en el tamiz No. 8

b = porcentaje (expresado como entero) de material que pasa el tamiz No. 8 y es retenido en el tamiz No. 200

c = porcentaje que pasa el tamiz No. 200

K = 0.15, si el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 11 y 15%

0.18, si el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 6 y 10%

0.20, si el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 es 5% o menos

F= 0 a 2% basado en la absorción de los agregados. A falta de información, se sugiere adoptar un valor igual a 0.7%

A5.3.2 Cantidad de mezcla por preparar simultáneamente

Dice la norma INV E-748 que *“en varias bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesan sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de una o más probetas, de forma que cada probeta resulte con una altura de 63.5 ± 2.5 mm ($2 \frac{1}{2} \pm 0.1$ ") (aproximadamente 1200, 2400 o 3600 g para 1, 2 o 3 probetas)”. El Instituto del Asfalto indica, además, que se deben tomar 1200 g de agregados para hacer una probeta de prueba y realizar una corrección en la cantidad, si la altura de la probeta compactada difiere de $2.5" \pm 0.05"$ (63.5 mm ± 1.27 mm). En Colombia ha sido costumbre emplear un total de 1200 g de ingredientes (agregados + llenante mineral + asfalto) para elaborar cada probeta, y muy rara vez se elaboran las probetas de prueba requeridas para efectuar los ajustes de cantidades para corregir su espesor.*

Aunque la norma da la posibilidad de que las mezclas se preparen en las cantidades necesarias para elaborar una probeta o el juego de tres probetas requerido por cada porcentaje de ligante, es recomendable preparar cada vez únicamente las cantidades requeridas para confeccionar una probeta, pues ello evita problemas de variabilidad en las porciones y facilita el control de la temperatura de compactación.

En el caso de las mezclas con agregados de mayor tamaño, que exijan la aplicación de la norma INV E-800, ésta indica que *“en bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de forma que ésta resulte con una altura de 95.2 ± 2.54 mm (3.75 ± 0.10 ") (en total se requieren, aproximadamente, 4050 g)”.*

Ejemplo – Determinación de las cantidades de ingredientes para elaborar una probeta Marshall de 4" de diámetro por aproximadamente 2.5" de altura, con 5.0 % de asfalto respecto de la masa de la mezcla, para la combinación de agregados mostrada en la Tabla A5-3

Solución:

Empleando 1200 g de agregados:

Agregado grueso = $1200 \times 0.55 = 660.0$ g

Agregado fino = $1200 \times 0.41 = 492.0$ g

Llenante = $1200 \times 0.04 = 48.0$ g

Cemento asfáltico = $(1200/0.95) - 1200 = 63.1$ g

Empleando 1200 g de ingredientes:

Agregado grueso = $1200 \times 0.55 \times 0.95 = 627.0$ g

Agregado fino = $1200 \times 0.41 \times 0.95 = 467.4 \text{ g}$

Llenante = $1200 \times 0.04 \times 0.95 = 45.6 \text{ g}$

Cemento asfáltico = $1200 \times 0.05 = 60.0 \text{ g}$

A5.3.3 Orden de adición de los materiales al elemento de mezclado

Las normas INV E-748 y E-800 indican que se deben mezclar primero los agregados en seco (no indica el orden en el cual se deben introducir al recipiente de mezcla) y después se forma un cráter en el agregado mezclado, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de ligante, encontrándose todos los ingredientes a la temperatura apropiada para mezclar. Esta descripción permite inferir que la adición de asfalto al agregado caliente se hace por gravedad. Este método de aplicación no simula adecuadamente el que se realiza a presión en forma película fina en la planta, el cual produce un envejecimiento del ligante que no es reproducido en el laboratorio.

Parece recomendable incorporar los agregados en orden del mayor tamaño al menor, mezclarlos y, por último, agregar el asfalto. Si la mezcla requiere llenante de aporte, algunos organismos recomiendan añadirlo sin calentar, luego de que los agregados grueso y fino hayan sido envueltos por el ligante, con el fin de prevenir problemas de falta de envoltura de las partículas más gruesas. Ni el manual MS 2 ni las normas del Instituto presentan una recomendación en relación este aspecto.

A5.3.4 Elaboración de la mezcla y tiempo de la misma

Las normas permiten realizar la mezcla de manera manual o mecánica, aunque privilegian el segundo procedimiento (Figura A5-5). El manual MS 2 del Instituto del Asfalto dice que *“los materiales se mezclan preferiblemente con mezcladora mecánica o, en su defecto, a mano con espátula”* y en las normas INV E-748 y E-800 dice que *“se recomienda que la operación de mezclado de los materiales se realice con una mezcladora mecánica capaz de producir, en el menor tiempo posible, una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si el mezclado se realiza a mano, este proceso se debe realizar en un recipiente metálico y colocado sobre una placa de calefacción o estufa, para evitar el enfriamiento de los materiales, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales”*.

En relación con el tiempo de mezclado, la norma INV E-748 indica que el mezclado se deberá realizar *“lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea en un término no mayor de 60 s si la cantidad de mezcla es la necesaria para elaborar una sola probeta o de 120 s si la bachada es múltiple”*. La norma INV E-800 solamente dice que *“se mezclan los materiales lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea”*.

Se debe verificar, en todos los casos, que la temperatura al finalizar la mezcla no sea inferior a la establecida por las normas para la compactación, pues no se permite recalentar la mezcla para compactarla.

Figura A5-5 Mezcladora típica para la elaboración de mezclas de concreto asfáltico en el laboratorio



A5.3.5 Número de probetas para cada contenido de ligante

El manual MS 2 y las normas de ensayo del Instituto recomiendan que, como mínimo, se elaboren 3 probetas para cada contenido de asfalto añadido. Nunca se deben elaborar menos de 3, para tener la oportunidad de efectuar descartes cuando de los datos de alguna de las probetas del juego discrepen notoriamente de los obtenidos con las otras dos.

A5.3.6 Acondicionamiento de las mezclas antes de su compactación

En el manual MS 2, publicado en la última década del siglo anterior, el Instituto del Asfalto indica lo siguiente sobre el particular: *“En el momento no existe ningún procedimiento normalizado o recomendado para el envejecimiento o curado de la mezcla antes de la compactación Marshall. Varios métodos han sido propuestos; sin embargo, aún no se ha alcanzado una opinión de consenso”*.

La norma INV E-748 de 2013 establece que las bachadas sencillas (para una sola probeta) sean colocadas en un horno ventilado, dentro de recipientes metálicos cerrados, a una temperatura de 8 a 11° C (15 a 20 °F) por encima de la establecida para la compactación, durante un período comprendido entre 1 y 2 horas. Además, que en el caso de bachadas múltiples, ellas se coloquen sobre una superficie limpia y no absorbente, realizando en seguida una mezcla manual y cuarteando para producir las porciones para confeccionar cada una de las probetas, colocando cada una en un recipiente y procediendo luego como en el caso de las bachadas sencillas.

La norma INV E-800 solamente indica que si la mezcla contiene agregados absorbentes, se deberá colocar durante 4 horas en un recipiente cubierto, dentro de un horno mantenido a

la temperatura de mezcla. Parece conveniente someter estas mezclas al mismo tratamiento de acondicionamiento recomendado en la norma INV E-748 (Nota 6).

Nota 5 – El acondicionamiento de las mezclas antes de la compactación puede dar lugar a especímenes con propiedades diferentes a las que presentan aquellos que se compactan inmediatamente después de la operación de mezclado. El procedimiento Marshall original no incluía el período de acondicionamiento. Tampoco está considerado en las normas de ensayo del Instituto anteriores a 2013.

Ninguna de las dos normas INV describe la manera como se deben colocar las bachadas en el horno para su acondicionamiento. La norma AASHTO R 30 prescribe extenderlas en una capa uniforme cuyo espesor varíe entre 25 y 50 mm (Figura A5-6).

La inclusión de un período de acondicionamiento es consecuente con la realidad de las mezclas elaboradas a escala industrial, pues trata de simular la manera como transcurre la vida de una mezcla real en la obra entre su elaboración en la planta y su compactación en la carretera.

Figura A5-6 Acondicionamiento de la mezcla en el horno antes de su compactación



A5.4 COMPACTACIÓN DE LAS MEZCLAS

A5.4.1 Temperatura del molde y de la base del martillo de compactación

La norma INV E-748 establece que la temperatura de estos elementos se deberá encontrar en el rango de 90 °C a 150 °C. La norma INV E-800 fija prácticamente el mismo rango de temperatura (93.3 a 148.9 °C). Este intervalo parece muy amplio en relación con los que se establecen para la mezcla y la compactación de los materiales.

A5.4.2 Temperatura de compactación

Las normas indican que la mezcla se debe compactar a una temperatura que corresponda a una viscosidad del asfalto de 280 ± 30 cSt (0.28 ± 0.03 Pa-s). Se debe respetar dicha temperatura, obtenida a través de la curva reológica del asfalto (figura A.5.4), por cuanto en Colombia existe la costumbre de compactar las mezclas en el laboratorio a 130 °C o,

inclusive, a temperaturas menores. Se debe tener en cuenta, además, que este rango solamente aplica a las mezclas que se preparen con asfaltos convencionales.

A5.4.3 Pedestal de compactación

Las normas indican, con toda claridad, tanto el material con el cual debe estar construido como las dimensiones de este elemento, así como las características del dispositivo de sujeción del molde al pedestal. Este requisito pretende fijar un soporte universal que brinde siempre las mismas condiciones de referencia para la compactación.

Este requisito es frecuentemente pretermitido, en especial en los laboratorios de obra. La omisión incide sobre la densidad y la estabilidad de las probetas compactadas, motivo por el cual el uso del pedestal normalizado es inexcusable.

A5.4.4 Material por colocar entre el molde y la mezcla

Las normas establecen la obligación de colocar un papel de filtro circular en el fondo del molde antes de verter la mezcla y otro sobre la superficie de ésta, antes de comenzar la compactación. No indican, sin embargo, las propiedades de él. Esta disposición se aplica en Colombia (aunque lo usual es colocar discos de papel periódico). Algunos ingenieros y técnicos consideran que, quizás, convendría colocar un material menos absorbente.

A5.4.5 Método y tiempo de compactación

La compactación, que es dinámica, se deberá realizar conforme se indica en el numeral de 5.6 de la norma INV E-748 o en el 4.6 de la norma INV E-800, según corresponda.

Respecto del tiempo permitido para la compactación completa de una probeta, las normas no lo especifican. Parecería necesario que se especificara la velocidad de la compactación, así como el tiempo máximo para completarla. También, debería existir algún control sobre la temperatura de la probeta al término de la operación de compactación.

A5.4.6 Número de golpes por cara

El número de golpes por cara que se debe aplicar para compactar cada probeta depende de la intensidad del tránsito de la vía para la cual se hace el diseño de la mezcla y está especificado en la Tabla 450.10 del Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto.

A5.5 TRATAMIENTO INICIAL DE LAS PROBETAS COMPACTADAS

A5.5.1 Tiempo de enfriamiento

La norma INV E-748 establece que el enfriamiento de las probetas recién compactadas se realice al aire (con ayuda de ventiladores si se considera necesario), hasta que se garantice que la probeta no sufrirá deformaciones al extraerla del molde. También, se permite el uso de agua, si el molde está adecuadamente protegido con un plástico. La norma no indica un tiempo mínimo para esta operación. La norma INV E-800 solamente menciona el enfriamiento al aire.

Nota 6 – Una encuesta realizada hace algún tiempo en varios laboratorios indicó que, en la mayoría de ellos, el molde se dejaba enfriar al aire. Los lapsos fueron enormemente variables y abarcaron un rango entre 30 minutos y 24 horas. Una recomendación aceptable sería que la extracción se produjera cuando la probeta tuviera una temperatura por debajo de la especificada para la determinación de la estabilidad y el flujo (60 °C). Los laboratorios que empleaban el enfriamiento por medio de agua reportaron tiempos entre 3 y 25 minutos y usaban este procedimiento durante las operaciones del control de fabricación de la mezcla en planta, pero nunca durante el diseño de la mezcla.

A5.5.2 Extracción de la probeta

Las normas INV indican que las probetas se deben extraer de los moldes con ayuda de un extractor, el cual está debidamente especificado. Se debe impedir expresamente la práctica de algunos laboratorios, consistente en la extracción de la probeta aplicándole golpes con el martillo de compactación.

A5.5.3 Determinación de la gravedad específica bulk de las probetas (G_{mb})

El manual MS 2 del Instituto del Asfalto indica que los pasos para determinar la gravedad específica bulk se deben realizar tan pronto como los especímenes se hayan enfriado a temperatura ambiente. Las normas vigentes en el Instituto exigen que ellos se adelanten tras una noche de reposo de las probetas por fuera del molde.

La gravedad específica bulk se debe determinar de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-733 sobre probetas en condición saturada y superficialmente seca; según la norma INV E-734 sobre probetas parafinadas, o mediante el método de sellado automático por vacío, de acuerdo con la norma INV E-802.

En relación con el tiempo que debe permanecer la probeta en el agua para las pesadas en condición sumergida y SSS, la norma INV E-733 establece que debe oscilar entre 3 y 5 minutos. El baño de agua se deberá encontrar a 25 °C. Sin embargo, si la temperatura del espécimen difiere de la del baño en más de 2 °C, el espécimen se deberá sumergir en el baño entre 10 y 15 minutos en cambio de 4 ± 1 minutos. Cada espécimen se debe sumergir y pesar individualmente.

Ejemplo: Determinación de la gravedad específica bulk de probetas (G_{mb}) elaboradas con 3.5 % de cemento asfáltico respecto de la masa de la mezcla

Tres probetas fueron ensayadas de acuerdo con la norma INV E-733, con los resultados que se muestran en las columnas segunda a cuarta de la siguiente tabla:

| Probeta | Peso seco al aire (g) A | Peso sumergida en agua (g) C | Peso al aire SSS (g) B |
|---------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 3.5 – 1 | 1240.6 | 726.4 | 1246.3 |
| 3.5 – 2 | 1238.7 | 723.3 | 1242.6 |
| 3.5 – 3 | 1240.1 | 724.1 | 1245.9 |

Teniendo en cuenta que la gravedad específica bulk se determina con la expresión:

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C}$$

La gravedad específica bulk de la probeta 3.5 – 1 será:

$$G_{mb} = \frac{1240.6}{1246.3 - 726.4} = 2.386$$

Aplicando la misma expresión a las otras dos probetas, sus valores de G_{mb} serán 2.385 y 2.377, con lo que se obtiene una gravedad específica bulk promedio de:

$$G_{mb} = \frac{2.386 + 2.385 + 2.377}{3} = 2.383$$

A5.6 ENSAYO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS

A5.6.1 Tratamiento previo de las probetas

A5.6.1.1 Baño de agua

En el caso de la norma INV E-748, la temperatura exigida para el baño de agua previo al ensayo de estabilidad y flujo es 60 ± 1 °C. Respecto del tiempo de inmersión, la norma establece un intervalo de 30 a 40 minutos. Se permite, alternativamente, colocar las probetas en un horno a la misma temperatura durante un lapso de 120 a 130 minutos.

Para las probetas de mayor tamaño (norma INV E-800), el tiempo de permanencia de la probeta en el baño se extiende a 45-60 minutos o a 3 horas en el caso del horno.

A5.6.1.2 Tiempo transcurrido entre la salida del baño y el fin del ensayo de estabilidad y flujo

Las normas indican que no deben transcurrir más de 30 segundos entre la remoción de la probeta del baño de agua y la falla de la misma en la máquina de ensayo. Con ello se intenta garantizar que la probeta se ensaya a una temperatura de 60 °C, a la cual están referenciadas las especificaciones de diseño sobre estabilidad y flujo.

Considerando que el tiempo requerido para fallar la probeta oscila entre 4 y 5 segundos, se dispone tan sólo de 25 segundos para las actividades previas: extracción de la probeta del baño u horno, secado superficial si estaba en el baño, colocación entre las mordazas de ensayo e instalación de éstas en la máquina de prueba y ajuste a ceros. Por lo tanto, es imprescindible que el baño de agua o el horno se encuentren cerca de la máquina de prueba Marshall y que el operador sea ágil.

A5.6.1.3 Temperatura de las mordazas

De acuerdo con las normas, la temperatura de las mordazas de ensayo debe oscilar entre 70 y 100 °C (aproximadamente entre 21 y 38 °C).

A5.6.2 Medida de la estabilidad y del flujo

A5.6.2.1 Condiciones de la máquina de ensayo y de los elementos auxiliares

La velocidad de deformación especificada es 2 pulgadas/minuto (50.8 mm/minuto). Es necesario verificar que la máquina mantenga constante esta velocidad. Respecto de las mordazas, se debe asegurar que el bisel del borde interno sea de 45°. Muchas mordazas elaboradas en talleres locales no certificados omiten esta circunstancia, lo que restringe la deformación de la probeta y altera totalmente los resultados del ensayo.

A5.6.2.2 Método de registro

Las normas permiten realizar la prueba de estabilidad-flujo con dos tipos de equipos: (1) el método tradicional, que emplea un marco de carga con un anillo de carga y un dial para medir la deformación (flujo) de las probetas (Método A), y (2) un registrador de carga-deformación combinado con una celda de carga y un transductor diferencial lineal variable (TDLV) u otro dispositivo de registro automático de la deformación (Método B). Este último presenta simultáneamente la carga y la deformación y tiene la ventaja de que anula el error del operador y permite analizar las características de deformación. Sin embargo, el equipo resulta costoso para los laboratorios de obra.

La estabilidad es el valor de máxima carga en el instante de falla de la probeta. Respecto del flujo, si se emplea el Método A (Ver numeral 2.2), el flujo será la deformación registrada por

el dial de deformación en el instante de la falla. En el caso del método B, las normas de ensayo indican el procedimiento para establecerlo.

A5.6.2.3 Corrección de la estabilidad medida

Los valores medidos de estabilidad deben ser corregidos cuando el espesor de la probeta es diferente de 2.5" (63.5 mm) en el caso de la norma INV E-748 o de 3.25" (95.2 mm) cuando se emplee la norma INV E-800. Los factores de corrección se presentan en el numeral 7.1 de la primera norma y en el numeral 5.3 de la segunda.

A5.6.2.4 Repetitividad y reproducibilidad de los valores de estabilidad y flujo

Las experiencias planificadas para establecer la precisión del procedimiento de ensayo para determinar la estabilidad y el flujo son escasas. Una encuesta realizada por un ingeniero español entre laboratorios de diversos países en relación con el ensayo de probetas de 2.5" de espesor indicó que, en el caso de la estabilidad, los valores medios de repetitividad variaban entre 15 % y 20 %, en tanto que la reproducibilidad oscilaba en un rango más amplio, entre 8 % y 50 %. Respecto del flujo, la información recabada indicó que la repetitividad variaba de 0.4 mm a 0.8 mm y la reproducibilidad de 0.8 mm a 2.0 mm (A.5.5).

La norma INV E-748 presenta los valores que se muestran a continuación en relación con la estabilidad de probetas de 2.5" de espesor.

| Ensayo y tipo de índice | Coefficiente de variación (% del promedio) (1s %) | Rango aceptable entre 2 resultados (% del promedio) (d2s %) |
|------------------------------|--|--|
| Precisión un solo operador | 6 | 16 |
| Precisión entre laboratorios | 16 | 43 |

En cuanto al flujo, presenta los siguientes resultados:

| Ensayo y tipo de índice | Coefficiente de variación (% del promedio) (1s %) | Rango aceptable entre 2 resultados (% del promedio) (d2s %) |
|------------------------------|--|--|
| Precisión un solo operador | 9 | 26 |
| Precisión entre laboratorios | 20 | 58 |

Por su parte, la norma INV E-800 presenta los siguientes valores en relación con las probetas de 3.75" de espesor:

| Ensayo y tipo de índice | Coefficiente de variación (% del promedio) (1s %) | Rango aceptable entre dos resultados de ensayo (% del promedio) (d2s %) |
|---------------------------------------|--|---|
| <i>Precisión de un solo operador:</i> | | |
| Estabilidad | 12.3 | 34.8 |
| Flujo | 16.7 | 47.2 |
| <i>Precisión multilaboratorio:</i> | | |
| Estabilidad | 15.3 | 43.3 |
| Flujo | 23.7 | 67.0 |

Los elevados rangos de 2 resultados obtenidos en diferentes laboratorios, indican que este ensayo no se debe realizar para programas de aceptación de mezclas comparando los resultados obtenidos en varios laboratorios.

A5.7 CÁLCULOS

Los resultados de los cálculos que requiere el diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall se acostumbra presentar en forma de tabla, siguiendo el modelo elaborado hace más de 50 años por el Instituto del Asfalto, con las adaptaciones que se han venido requiriendo debido a la actualización que han tenido algunos de los conceptos del método durante el transcurso del tiempo. En dicha tabla, cuyo formato básico emplean casi todos los laboratorios del país, los valores se van colocando y calculando ordenadamente de izquierda a derecha, de manera que su diligenciamiento presenta gran facilidad, sobre todo cuando la tabla se encuentra formateada en una hoja electrónica. No obstante, para que este trabajo sea adecuado, es necesario que los datos de entrada para los diferentes cálculos sean realmente los apropiados. Algunos comentarios para proceder adecuadamente, se presentan a continuación.

A5.7.1 Gravedad específica bulk de las probetas compactadas (G_{mb})

Su cálculo se puede realizar mediante los procedimientos descritos en las normas de ensayo INV E-733 e INV E-734. El formato está diseñado solamente para realizar el cálculo de acuerdo con la primera de las normas citadas, es decir, empleando especímenes saturados y superficialmente secos (SSS) para la determinación del volumen. Según la norma INV E-733, este procedimiento *“no se deberá utilizar en especímenes de mezclas abiertas o con vacíos intercomunicados y/o que absorban más del 2 % de agua respecto al volumen”*. En tal caso, la determinación se deberá realizar recubriendo los especímenes con parafina, de acuerdo con la norma INV E-734.

Un procedimiento reciente para determinar la gravedad específica bulk de las probetas compactadas es el descrito en la norma INV E-802, mediante el cual el volumen de la probeta se determina luego de someterla a un proceso de sellado automático mediante vacío (Figura A5-7).

Nota 7 – La gravedad específica bulk determinada por el método descrito en la norma INV E-802 puede ser menor que la obtenida a través de la norma INV E-733. Como resultado de ello, los vacíos con aire calculados a partir de estos valores de gravedad específica pueden ser mayores que los determinados usando dicha norma. Estas diferencias pueden ser más pronunciadas en el caso de mezclas de gradación gruesa.

Figura A5-7 Probeta Marshall sellada al vacío



A5.7.2 Gravedad específica máxima teórica de cada mezcla (G_{mt})

Conocida también como “*peso específico máximo teórico*”, es la gravedad específica que, en teoría, presentaría la mezcla compactada de agregados y asfalto si se lograran eliminar totalmente de ella los vacíos con aire. El hecho de que sea “*teórica*” obedece a que su cálculo supone que los agregados no contienen poros superficiales y que, en consecuencia, no absorben ninguna cantidad de asfalto. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{sb}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad \text{[Ecuación A5-6]}$$

Donde:

P_s = porcentaje de agregados respecto del peso total de la mezcla

G_{sb} = gravedad específica bulk del agregado combinado

P_b = porcentaje de asfalto respecto del peso total de la mezcla

G_b = gravedad específica del asfalto

Este valor fue el utilizado por el Instituto del Asfalto en los años iniciales del método para calcular los vacíos con aire de la mezcla compactada y condujo a errores en su cómputo, tanto mayores, cuanto más absorbentes eran los agregados, razón por la cual su cálculo fue suspendido por ese organismo en 1963. Sin embargo, en el formato de cálculo Marshall empleado por el Instituto Nacional de Vías aún se mantiene sin que ello constituya error, pues la entidad utiliza la simplificación propuesta por Egberto Tagle, la cual hace un uso correcto de la G_{mt} para calcular los vacíos con aire verdaderos, evitando la necesidad de calcular la gravedad específica efectiva de los agregados pétreos (G_{se}).

Ejemplo: Determinación de la gravedad específica máxima teórica (G_{mt}) de una mezcla elaborada con 3.5 % de cemento asfáltico respecto de la masa de ella

Para la gravedad específica bulk del agregado combinado según el ejemplo del numeral A.5.2.1.4 (2.674), y suponiendo que la gravedad específica del asfalto, obtenida en un ensayo realizado de acuerdo con la norma INV E-707, es 1.030, la gravedad específica máxima teórica (G_{mt}) de la mezcla será:

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{96.5}{2.674} + \frac{3.5}{1.030}} = 2.533$$

A5.7.3 Gravedad específica máxima medida (G_{mm}) y gravedad específica efectiva (G_{se})

La G_{mm} se determina mediante el procedimiento de ensayo INV E-735 (Método Rice) y su finalidad es determinar la máxima gravedad específica real de una mezcla de agregados y asfalto, sin vacíos de aire, y teniendo en cuenta la eventual absorción de asfalto por parte de los agregados.

En su versión actual del método de diseño Marshall, el Instituto del Asfalto recomienda realizar por triplicado la prueba Rice para un contenido de asfalto de la mezcla cercano al “*óptimo esperado*” y calcular, a partir del G_{mm} promedio, la gravedad específica efectiva (G_{se}) de los agregados pétreos con la expresión:

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}}{1} \quad \text{[Ecuación A5-7]}$$

Donde:

P_{mm} = porcentaje en peso de la mezcla suelta = 100

P_b = porcentaje de asfalto respecto del peso total de la mezcla

G_{mm} = gravedad específica máxima medida de la mezcla

G_b = gravedad específica del asfalto

Ejemplo: Determinación de la gravedad específica efectiva (G_{se}) de la mezcla elaborada con 3.5 % de cemento asfáltico respecto de la masa de la mezcla

Suponiendo que un ensayo Rice realizado sobre esta mezcla dio como resultado una gravedad específica máxima medida (G_{mm}) de 2.570, la gravedad específica efectiva del agregado combinado será:

$$G_{se} = \frac{100 - 3.5}{\frac{100}{2.570} - \frac{3.5}{1.030}} = 2.717$$

Considerando la constancia de la gravedad específica efectiva (G_{se}), la siguiente fórmula resulta aplicable para calcular la gravedad específica máxima medida para cualquier contenido de asfalto en la mezcla:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad \text{[Ecuación A5-8]}$$

Donde P_s es el porcentaje de agregados respecto del peso total de la mezcla, y los demás términos son los mismos definidos atrás.

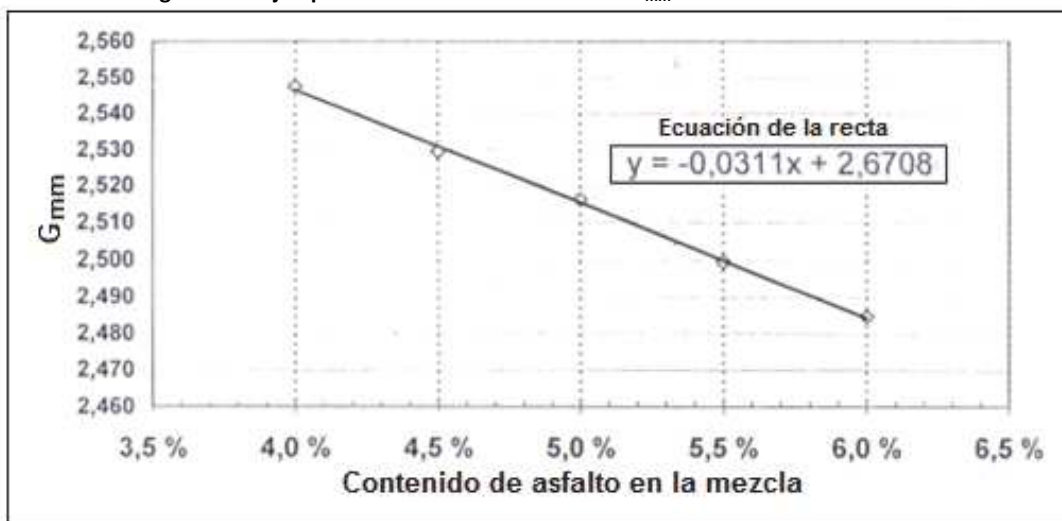
Nota 8 – El resultado de la gravedad específica máxima de una mezcla asfáltica mediante la norma INV E-735 (método Rice) se ve muy afectado si quedan burbujas de aire atrapado dentro del agua que interviene en la ejecución del ensayo. Por lo tanto, realizar una sola prueba y, a partir de ella, calcular las gravedades específicas máximas mediante la aplicación de una fórmula como lo recomienda el Instituto del Asfalto, puede generar bastante incertidumbre.

El procedimiento utilizado tradicionalmente por el MOPT y posteriormente en el Invías, consistente en realizar la prueba sobre las mezclas elaboradas con todos los contenidos de asfalto utilizados, aunque más dispendioso, permite detectar fácilmente cualquier imprecisión y repetir la prueba sobre las mezclas cuyos valores no estén razonablemente ajustados a los otros, lo que se advierte porque los porcentajes de asfalto absorbido se apartan sustancialmente del entorno reducido de absorción que presenta el agregado en las demás mezclas.

La ejecución del ensayo Rice se puede obviar si se determina en el laboratorio la gravedad específica de los agregados en aceite de parafina (G_{sp}), según la norma INV E-244, teniendo en cuenta que dicho valor se considera igual a G_{se} . En tal caso, basta hacer los reemplazos en la ecuación A5-8 para determinar la gravedad específica máxima medida (G_{mm}), para cualquier contenido de ligante en la mezcla.

En los laboratorios colombianos se acostumbra realizar el ensayo Rice sobre las mezclas elaboradas con todos los porcentajes de asfalto empleados para la elaboración de probetas y, después, definir matemáticamente una recta de correlación, a partir de la cual se determinan los valores de G_{mm} utilizados para los cálculos de absorción y vacíos requeridos para los cálculos volumétricos que exige el método (Figura A5-8). Este procedimiento es absolutamente válido, siempre y cuando las determinaciones de laboratorio hayan sido correctas. Ello se puede verificar fácilmente, calculando la G_{mm} para un contenido de asfalto igual a cero (ordenada al origen). El valor calculado debe coincidir con la G_{se} y, por lo tanto, encontrarse entre los valores de las gravedades específicas aparente (G_{sa}) y bulk (G_{sb}) del agregado pétreo. Si ello no acontece, es evidente que se han presentado errores en las determinaciones de la G_{mm} .

Figura A5-8 Ejemplo de ecuación de variación de G_{mm} con el contenido de asfalto



Existe otra manera para hallar el valor G_{mm} , y es sometiendo la mezcla suelta a sellado por vacío en un equipo dispuesto al efecto al efecto (Figura A5-9). El método, de gran rapidez en su ejecución (sólo tarda 5 minutos), se describe en la norma de ensayo INV E-803.

Figura A5-9 Mezcla suelta para hallar G_{mm} por el método de sellado al vacío



A5.7.4 Asfalto absorbido por los agregados pétreos (P_{ba})

Este asfalto, que no ocupa los vacíos de la mezcla (VMA), se calcula en porcentaje respecto del peso de los agregados. La expresión del Instituto del Asfalto para calcularlo es la siguiente:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b \quad \text{[Ecuación A5-9]}$$

Siendo G_{sb} la gravedad específica bulk del agregado pétreo.

En el formulario de cálculo elaborado en el antiguo MOPT y en uso por parte del Instituto, no se emplea dicha expresión por cuanto, como se mencionó atrás, se aplica una simplificación propuesta por Egberto Tagle, la cual evita el cálculo de la gravedad específica efectiva del agregado. Esta expresión, cuya aplicación conduce al mismo resultado que la del Instituto del Asfalto, es la siguiente:

$$P_{ba} = 10000 \times \frac{G_{mm} - G_{mt}}{G_{mm} \times G_{mt} \times (100 - P_b)} \times G_b \quad [\text{Ecuación A5- 10}]$$

Ejemplo: Determinación del asfalto absorbido (P_{ba}) por los agregados en la mezcla elaborada con 3.5 % de cemento asfáltico, de acuerdo con las gravedades específicas obtenidas en los ejemplos anteriores

Aplicando la fórmula del Instituto del Asfalto:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b = 100 \times \frac{2.717 - 2.674}{2.717 \times 2.674} \times 1.03 = 0.61 \%$$

Empleando la fórmula de Egberto Tagle:

$$P_{ba} = 10000 \times \frac{G_{mm} - G_{mt}}{G_{mm} \times G_{mt} \times (100 - P_b)} \times G_b = 10000 \times \frac{2.570 - 2.533}{2.570 \times 2.533 \times (100 - 3.5)} \times 1.03 = 0.61 \%$$

A5.7.5 Cálculos volumétricos

Consisten en la determinación de la distribución volumétrica de las tres fases de una muestra de mezcla asfáltica compactada: agregados pétreos (incluyen el asfalto absorbido); asfalto efectivo y aire (Figura A5-10). El cálculo correcto de estos volúmenes exige: (i) que los vacíos en los agregados minerales (VMA) se determinen en términos de la gravedad específica bulk de los agregados (G_{sb}) y (ii) que los vacíos con aire se calculen con base en la gravedad específica efectiva (G_{se}), la cual está relacionada directamente con la gravedad específica máxima medida. Una inadecuada consideración de estos criterios tiene un efecto dramático sobre los valores obtenidos, tal como se muestra en la Tabla A5-4.

A5.7.5.1 Volumen bulk de los agregados

$$V_{sb} = \frac{(100 - P_b) \times G_{mb}}{G_{sb}} \quad [\text{Ecuación A5-11}]$$

A5.7.5.2 Volumen de vacíos con aire

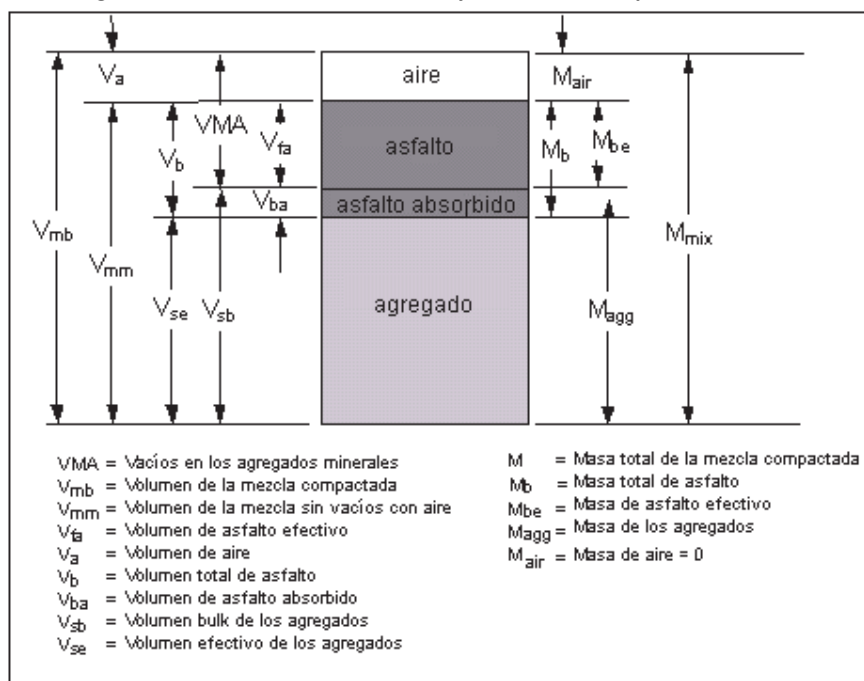
$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100 \quad [\text{Ecuación A5-12}]$$

A5.7.5.3 Volumen de asfalto efectivo

Parte del asfalto incorporado es sujetado firmemente en los poros microscópicos de la superficie de las partículas del agregado y no presta contribución a la durabilidad de la mezcla. La cantidad que se absorbe depende del tipo de agregado. El término “*asfalto efectivo*” se usa para describir la cantidad de ligante asfáltico que no es absorbido por el agregado y que, efectivamente, contribuye a ligar las partículas minerales (Figura A5-1).

$$V_{fa} = 100 - V_{sb} - V_a \quad [\text{Ecuación A5-13}]$$

Figura A5-10 Relaciones volumétricas y de masa en una probeta Marshall



A5.7.5.4 Volumen de vacíos en los agregados (VMA)

El Instituto del Asfalto presenta la expresión:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad \text{[Ecuación A5-14]}$$

En el formulario del antiguo MOPT, la determinación se realiza a través de la ecuación:

$$VMA = 100 - V_{sb} \quad \text{[Ecuación A5-15]}$$

A5.7.5.5 Volumen de vacíos llenos de asfalto

$$VLA = \frac{V_{fa}}{VMA} \times 100 \quad \text{[Ecuación A5-16]}$$

Ejemplo: Cálculos volumétricos de las probetas elaboradas con 3.5 % de cemento asfáltico, de acuerdo con los datos obtenidos en los ejemplos previos

Volumen bulk de los agregados:

$$V_{sb} = \frac{(100 - P_b) \times G_{mb}}{G_{sb}} = \frac{(100 - 3.5) \times 2.383}{2.674} = 86.0 \%$$

Vacíos con aire:

$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100 = \left[1 - \frac{2.383}{2.570} \right] = 7.3 \%$$

Volumen de asfalto efectivo:

$$V_{fa} = 100 - V_{sb} - V_a = 100 - 86.0 - 7.3 = 6.7 \%$$

Volumen de vacíos en los agregados:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} = 100 - \frac{2.383 \times 96.5}{2.674} = 14.0 \%$$

o

$$VMA = 100 - V_{sb} = 100 - 86.0 = 14.0 \%$$

Volumen de vacíos llenos de asfalto:

$$VLA = \frac{V_{fa}}{VMA} \times 100 = \frac{6.7}{14.0} \times 100 = 47.9 \%$$

A5.7.6 Asfalto efectivo (porcentaje en masa)

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}(100 - P_b)}{100} \quad [\text{Ecuación A5-17}]$$

Ejemplo: Determinación del asfalto efectivo (P_{be}) de la mezcla elaborada con 3.5 % de cemento asfáltico, como porcentaje del peso de la mezcla

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} \times (100 - P_b)}{100} = 3.5 - \frac{0.61 \times (100 - 3.5)}{100} = 2.91 \%$$

A5.7.7 Estabilidad y flujo

Siempre que los espesores de las probetas Marshall difieran de 2.5" o 3.75" (63.5 mm o 95.2 mm) según la norma de ensayo utilizada (INV E-748 o INV E-800), las estabildades medidas se deberán corregir multiplicándolas por factores que se encuentran en tablas incluidas en dichas normas. Los valores corregidos de estabilidad de las probetas elaboradas con cada contenido de asfalto (descartando alguno si se considera que no es representativo del conjunto) se promedian y ese promedio será el valor de estabilidad de las probetas compactadas con el contenido de asfalto correspondiente. Se debe determinar, así mismo, el valor promedio del flujo de las probetas elaboradas con cada contenido de asfalto.

El Instituto Nacional de Vías incluye también, como criterio de diseño de la mezcla, la "rigidez Marshall" (relación estabilidad/flujo). La aplicación de este criterio obedece a la interpretación reológica de la prueba y lo que busca es impedir la combinación de estabildades bajas con flujos altos (así cumplan individualmente los criterios de diseño), con la intención de evitar mezclas deformables, sobre todo en climas cálidos; así como estabildades muy altas con flujos bajos que pueden dar lugar a mezclas muy rígidas y propensas al agrietamiento sobre soportes deformables. La Tabla A5-5 muestra los requisitos que sobre el particular establece el Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción vigentes del Instituto.

Tabla A5-5 Criterio de comprobación por rigidez del diseño Marshall

| Relación E/F | Unidades | Categoría de tránsito | | |
|--------------|----------|-----------------------|---------|---------|
| | | NT1 | NT2 | NT3 |
| INV E-748 | kgf/mm | 200-400 | 300-500 | 300-600 |
| | kN/mm | 2.0-4.0 | 3.0-5.0 | 3.0-6.0 |
| INV E-800 | kgf/mm | - | 450-750 | 450-900 |
| | kN/mm | - | 4.5-7.5 | 4.5-9.0 |

A5.8 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO EN LA MEZCLA

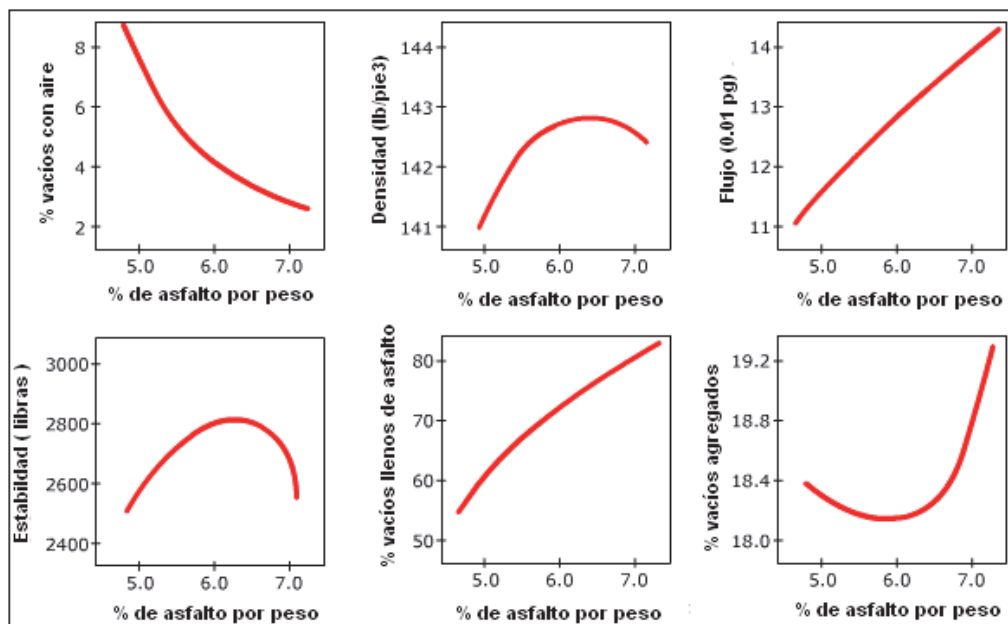
El objetivo del método Marshall es el establecimiento de una fórmula de trabajo que permita obtener una mezcla asfáltica que presente las siguientes propiedades:

- suficiente asfalto, para asegurar su durabilidad
- suficiente estabilidad, para soportar las cargas del tránsito sin distorsiones ni desplazamientos
- un contenido mínimo de vacíos con aire, para que los incrementos en la temperatura de servicio y la acción amasante del tránsito automotor no generen exudaciones ni pérdidas de estabilidad
- un contenido máximo de vacíos con aire, que limite la permeabilidad de la mezcla al aire y a la humedad
- suficiente trabajabilidad, para poderla colocar en obra sin que sufra segregaciones y sin sacrificar la estabilidad y el comportamiento
- en el caso de mezclas para capa de rodadura, una apropiada textura superficial para suministrar resistencia al deslizamiento bajo la condición de superficie húmeda.

A5.8.1 Determinación del rango en el que se cumplen las exigencias de la especificación

No existe un contenido de asfalto único que maximice las diferentes propiedades de comportamiento; por lo tanto, el “*óptimo*” se suele escoger como aquel que, satisfaciendo todos los criterios del diseño de la entidad (Tabla 450.10 del Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto), refleje mejor las propiedades deseadas. Para seleccionar este óptimo resulta conveniente realizar una representación gráfica de la manera como varían las siguientes propiedades con el contenido de asfalto en la mezcla: (i) peso unitario; (ii) estabilidad Marshall; (iii) vacíos con aire; (iv) vacíos en los agregados minerales; (v) vacíos llenos de asfalto y (vi) flujo (Figura A5-11).

Figura A5-11 Formas típicas de las curvas de comportamiento de una mezcla compactada en el método Marshall



El Instituto del Asfalto indica que, como punto de partida, se determine el rango de contenidos de asfalto dentro del cual se cumplen todos los criterios de las especificaciones de diseño y, si resulta posible, se elija el porcentaje de asfalto que corresponda al valor medio del rango admisible de vacíos con aire y, a continuación, se verifique el cumplimiento de los demás criterios de diseño.

Al efectuar estas verificaciones no se deben pasar por alto las correspondientes a la relación llenante/ligante y a la concentración del llenante exigidas por la especificación aplicable del Instituto. La consistencia del sistema ligante-llenante está relacionada con la viscosidad del asfalto y, para un valor fijo de ésta, depende de la cantidad y de las características del llenante mineral. La máxima flexibilidad de la mezcla se produce cuando la dispersión ligante-llenante se deforma con un fluir viscoso, lo que exige una baja concentración del llenante mineral. Si la concentración de éste crece por encima del nivel crítico, el fluir del sistema deja de ser viscoso para convertirse en plástico, haciendo perder flexibilidad a la mezcla y haciendo posible la aparición de unas fisuras superficiales que el tránsito no cierra.

A5.8.2 Ejemplo numérico

La Tabla A5-6 presenta el modelo de formulario en el cual se pueden presentar los resultados de los cálculos necesarios para el dibujo de las curvas de comportamiento de la mezcla en el método Marshall. Dentro de ella aparecen los valores de un ensayo sobre una mezcla MDC-19 para capa de rodadura en una carretera con un nivel de tránsito NT 3, valores que están relacionados con los ejemplos presentados a lo largo del numeral A5.7.

La Tabla 450.10 del Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto establece para este tipo de mezcla y uso previsto, los siguientes requisitos:

- Estabilidad mínima: 9000 N
- Flujo: 2.0 a 3.5 mm (8 a 14 centésimas de pulgada)
- Vacíos con aire: 4 a 6 %
- Vacíos en los agregados minerales: mínimo 15 %
- Vacíos llenos de asfalto: 65 a 75 %

Observando los resultados de la Tabla A5-6 y las curvas de la Figura A5-12, se encuentra que estos parámetros cumplen sus requisitos en los siguientes rangos de contenido de asfalto (Figura A5-13):

- Estabilidad mínima: 3.5 a 5.5 %
- Flujo: 3.8 a 5.5 %
- Vacíos con aire: 4.8 a 4.8 %
- Vacíos en los agregados minerales: ninguno
- Vacíos llenos de asfalto: 4.4 a 5.0 %

Considerando que la exigencia sobre los vacíos en los agregados minerales no se cumple con ningún contenido de asfalto, se concluye la necesidad de realizar un nuevo diseño, haciendo los ajustes necesarios en los agregados para que los VMA se puedan satisfacer simultáneamente con los demás requisitos del diseño.

Figura A5-12 Curvas de comportamiento de la mezcla en el ensayo Marshall

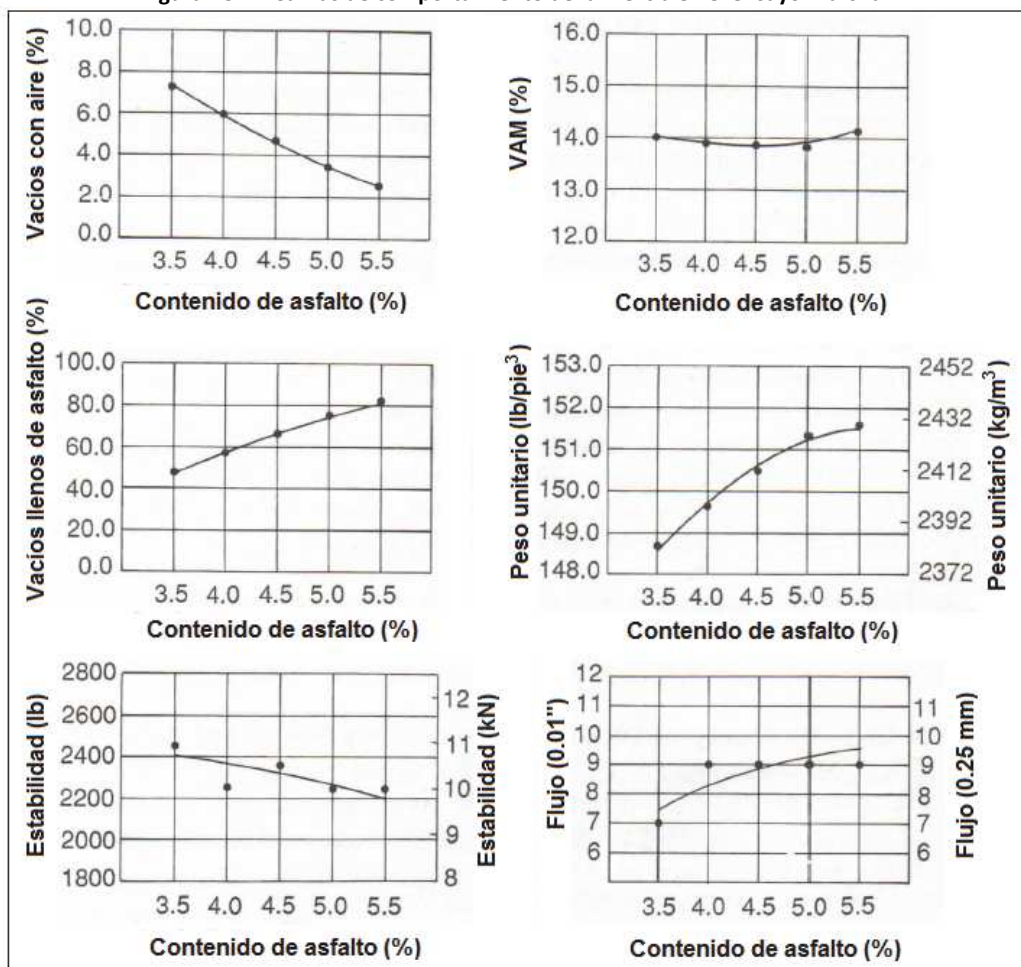


Tabla A5-6 Formulario sugerido para presentar los datos de un diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall

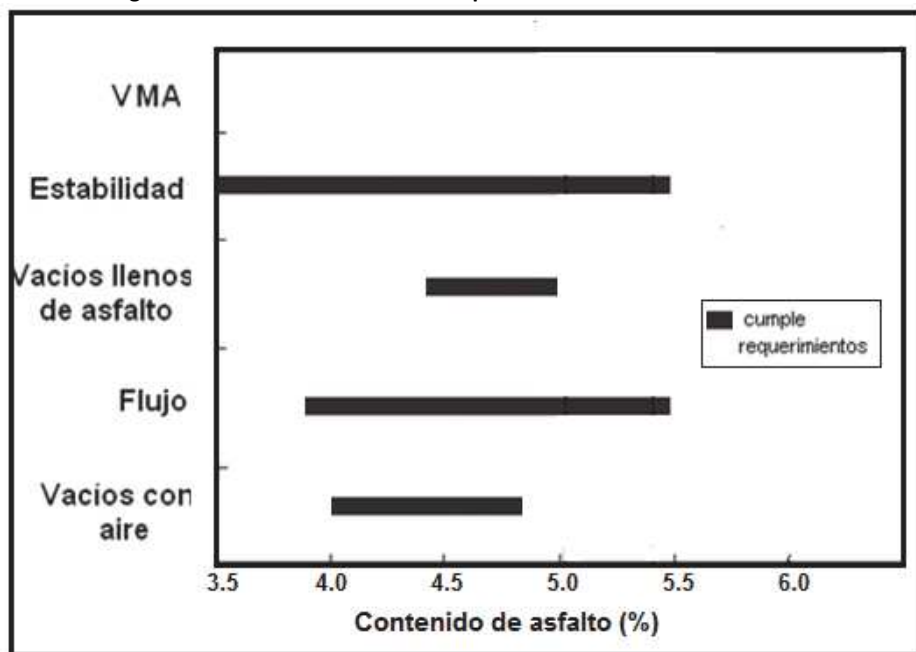
| Proyecto: | | Compactación: 75 golpes/cara | | | | | | | Cemento asfáltico: 60-70 | | Gravedad específica del asfalto: 1.030 | | | Gravedad específica de los agregados: 2.674 | | | | |
|----------------------------------|----------------------|------------------------------|---------|--------|-----------------------------|----------------|---------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--|---------|--------------------------------|---|-------------------------|-----------------|-----------|------------|
| % asfalto en masa Muestra No. | Espesor probeta (mm) | Masa (g) | | | Gravedad específica probeta | | | Asfalto absorbido (%) | Volumen (%) | | | | | Asfalto efectivo (% masa) | Peso unitario (lb/pie³) | Estabilidad (N) | | Flujo (mm) |
| | | Seca | En agua | SSS | Bulk | Máxima teórica | Máxima medida | | Agregado | Aire | Asfalto efectivo | VMA | Vacios llenos de asfalto | | | Medida | Corregida | |
| a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | p | q | r | s |
| | | | | | $\frac{c}{e-d}$ | | | $\frac{(h-g) 10^4}{g h (100-a)}$ | $\frac{(100-a) f}{G_{sb}}$ | $\left[1-\frac{f}{h}\right] 100$ | $100-j-k$ | $100-j$ | $\left[\frac{l}{m}\right] 100$ | $a-\frac{i(100-a)}{100}$ | 62,4 f | | | |
| 3.5 - A | 63.5 | 1240.6 | 726.4 | 1246.3 | 2.386 | | | | | | | | | | | 10853 | 10853 | 2.0 |
| 3.5 - B | 63.5 | 1238.7 | 723.3 | 1242.6 | 2.385 | | | | | | | | | | | 10764 | 10764 | 1.8 |
| 3.5 - C | 63.5 | 1240.1 | 724.1 | 1245.9 | 2.377 | | | | | | | | | | | 11165 | 11165 | 1.8 |
| Promedio | | | | | 2.383 | 2.533 | 2.570 | 0.61 | 86.0 | 7.3 | 6.7 | 14.0 | 47.9 | 2.91 | 148.7 | | 10927 | 1.9 |
| 4.0 - A | 63.5 | 1244.3 | 727.2 | 1246.6 | 2.396 | | | | | | | | | | | 9697 | 9697 | 2.4 |
| 4.0 - B | 63.5 | 1244.6 | 727.0 | 1247.6 | 2.391 | | | | | | | | | | | 10052 | 10052 | 2.4 |
| 4.0 - C | 63.5 | 1242.6 | 727.9 | 1244.0 | 2.408 | | | | | | | | | | | 10275 | 10275 | 2.0 |
| Promedio | | | | | 2.398 | 2.514 | 2.551 | 0.60 | 86.1 | 6.0 | 7.9 | 13.9 | 56.8 | 3.42 | 149.6 | | 10008 | 2.3 |
| 4.5 - A | 63.5 | 1249.3 | 735.8 | 1250.2 | 2.429 | | | | | | | | | | | 10764 | 10764 | 2.4 |
| 4.5 - B | 63.5 | 1250.8 | 728.1 | 1251.6 | 2.389 | | | | | | | | | | | 10720 | 10720 | 2.4 |
| 4.5 - C | 63.5 | 1251.6 | 735.3 | 1253.1 | 2.417 | | | | | | | | | | | 10408 | 10408 | 2.4 |
| Promedio | | | | | 2.412 | 2.495 | 2.531 | 0.60 | 86.1 | 4.7 | 9.2 | 13.9 | 66.2 | 3.93 | 150.5 | | 10630 | 2.4 |
| 5.0 - A | 63.5 | 1256.7 | 739.8 | 1257.6 | 2.427 | | | | | | | | | | | 10186 | 10186 | 2.4 |
| 5.0 - B | 63.5 | 1258.7 | 742.7 | 1259.3 | 2.437 | | | | | | | | | | | 9741 | 9741 | 2.4 |
| 5.0 - C | 63.5 | 1258.4 | 737.5 | 1259.1 | 2.413 | | | | | | | | | | | 9964 | 9964 | 2.4 |
| Promedio | | | | | 2.425 | 2.476 | 2.510 | 0.58 | 86.2 | 3.4 | 10.4 | 13.8 | 75.4 | 4.45 | 151.3 | | 9963 | 2.4 |
| 5.5 - A | 63.5 | 1263.8 | 742.6 | 1264.3 | 2.422 | | | | | | | | | | | 9830 | 9830 | 2.4 |
| 5.5 - B | 63.5 | 1258.8 | 741.4 | 1259.4 | 2.430 | | | | | | | | | | | 10230 | 10230 | 2.5 |
| 5.5 - C | 63.5 | 1259.0 | 742.5 | 1259.5 | 2.435 | | | | | | | | | | | 9830 | 9830 | 2.4 |
| Promedio | | | | | 2.429 | 2.458 | 2.492 | 0.59 | 85.9 | 2.5 | 11.6 | 14.1 | 81.3 | 4.94 | 151.6 | | 9963 | 2.4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

VOLUMEN 1
Aspectos Informativos

Instituto Nacional de Vías
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Página en blanco

Figura A5-13 Contenidos de asfalto que satisfacen los criterios de diseño



A5.8.3 Aspectos a considerar para determinar el porcentaje óptimo definitivo en un diseño Marshall

Si en el ejemplo que se acaba de presentar se hubiera podido encontrar un rango de contenido de asfalto en el que se cumplieran todas las exigencias de las especificaciones, dentro de él se escogería un porcentaje óptimo de asfalto preliminar, que pudiera o no ser el definitivo, que es aquél que da lugar a la mezcla más económica que satisfaga todos los criterios de calidad del método.

Algunas propiedades de la mezcla resultan más críticas que otras bajo distintas circunstancias, tales como el clima, el nivel del tránsito, el equipo de construcción disponible, etc., por lo que no resulta recomendable pensar en la optimización de uno solo de los criterios del diseño. Por ello, hay que considerar diferentes aspectos, antes de establecer el contenido óptimo definitivo de ligante de diseño.

A5.8.3.1 Efecto de los vacíos en los agregados minerales (VMA)

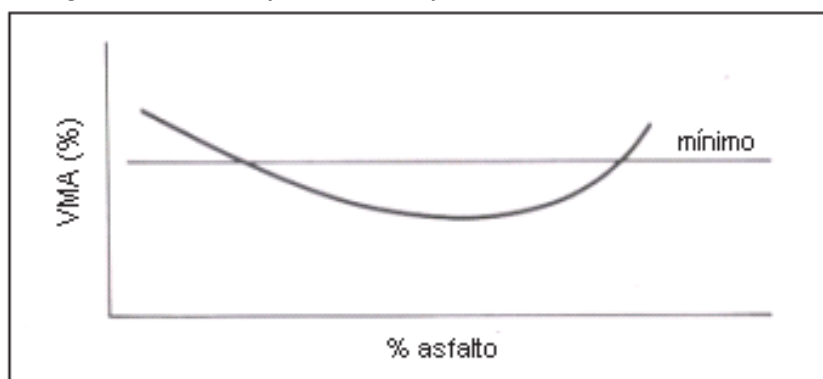
Los VAM tienen por función garantizar que en la mezcla compactada exista el espacio necesario para ubicar una cantidad de ligante suficiente, sin que se presenten exudaciones y conservando un esqueleto granular suficientemente resistente para soportar las cargas del tránsito. En teoría, los VMA deberían ser inmodificables, por cuanto al adicionar más cemento asfáltico, éste simplemente debería ocupar el espacio de los vacíos con aire. Sin embargo, ello no sucede en la realidad porque, al agregar asfalto, la mezcla se hace más

trabajable y se compacta con mayor facilidad, lo que permite acomodar la misma masa en un volumen menor. Pero, a partir de cierto punto, los VMA comienzan a aumentar, porque el asfalto tiende a desplazar al agregado, haciendo que la curva que representa a este parámetro tenga una forma en “U” característica.

El Instituto del Asfalto recomienda evitar contenidos de asfalto a la derecha de los VMA mínimos, así ellos cumplan el criterio de diseño, porque se puede producir una tendencia de la mezcla a exudar o a presentar flujo plástico en servicio. Recomendamos, como ideal, un punto a la izquierda del mínimo, pero cercano a éste, siempre y cuando se cumplan todos los requisitos. Un valor muy a la izquierda del mínimo representa una mezcla seca y propensa a la segregación.

Si el fondo de la curva cae bajo los VMA mínimos admisibles (Figura A5-14), se debe modificar la fórmula de trabajo (no se recomienda adoptar valores de asfalto en los extremos de la curva, por los motivos indicados en el párrafo anterior). La solución para aumentar los VMA consiste en alejar la curva granulométrica de aquella de máxima densidad. Una manera consiste en crear una discontinuidad en la curva, reduciendo la cantidad retenida entre dos tamices consecutivos, si ello lo permite la especificación. Otra manera, es acudiendo al agregado fino, pues éste es el que más ayuda a aumentar los VMA; sin embargo, la adición de arena natural pasante por el tamiz No. 30 debilita el esqueleto granular del agregado y produce mezclas deformables, por lo que esta solución no es recomendable. Por último, el llenante mineral es el ingrediente que tiene los mayores VMA debido a su gran área superficial, pero su adición no suele lograr el aumento de los VMA en la mezcla, ya que normalmente actúa como extendedor de asfalto. En cambio, su reducción hacia el límite inferior de la especificación, sí tiende a maximizar la cantidad de VMA que se puede obtener. En este caso se debe controlar, sin embargo, que la relación llenante/ligante no resulte demasiado baja.

Figura A5-14 Curva cuyo fondo está bajo el nivel mínimo admisible de VMA



Existen otras dos maneras de buscar un incremento en los VMA de una mezcla de concreto asfáltico: modificando la textura o la forma de las partículas. Las texturas rugosas (aumento de caras fracturadas) generan más fricción entre las partículas y resisten la compactación,

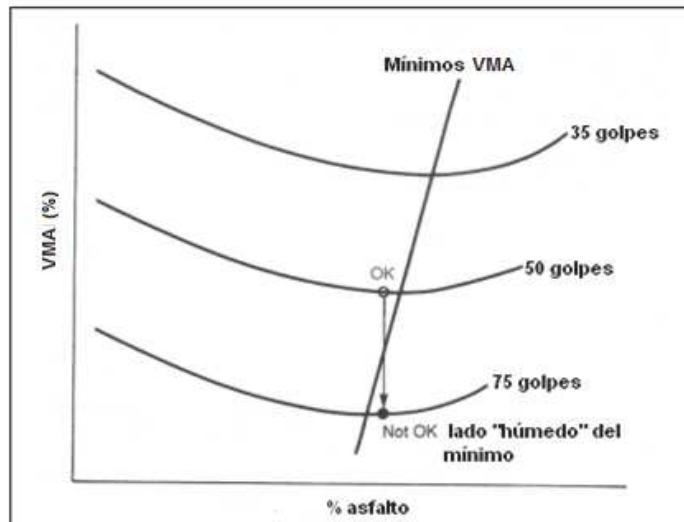
dando lugar a valores mayores de VMA. Respecto de la forma, las partículas cúbicas no se empaquetan de una manera tan ajustada como las planas. Sin embargo, este efecto no se aprecia siempre bien bajo la compactación dinámica Marshall, debido a que en esta prueba las partículas no tienen la libertad de rotar en el molde que si pueden tener en un compactador giratorio o en la compactación en el terreno.

Si, como en el caso del ejemplo presentado en el numeral A5.8.2, con ningún contenido de asfalto se logran cumplir los VMA mínimos admisibles, se justifica un rediseño y/o un cambio de agregados, tal como se indicó antes.

A5.8.3.2 Efecto de la energía de compactación

Para un determinado contenido de asfalto, tanto los vacíos con aire como los VMA decrecen con el aumento en la energía de compactación. Pero no sólo ellos cambian. También lo hace el contenido de asfalto para el mínimo valor de los VMA (Figura A5-15). Si la mezcla se diseña, por ejemplo, con 50 golpes por cara y el tránsito real sobre el pavimento es excesivo (representado mejor por la curva de 75 golpes/cara), el mismo contenido de asfalto pasará al lado derecho de la curva y la mezcla se vuelve susceptible al ahuellamiento.

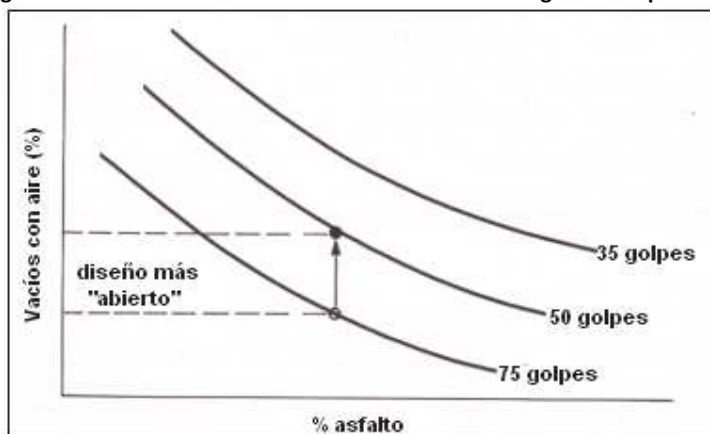
Figura A5-15 Variación de los VMA con la energía de compactación Marshall



Si, por el contrario, la mezcla se diseña con 75 golpes por cara y el tránsito real es muy inferior al previsto, el porcentaje final de vacíos con aire resultará mucho mayor que lo planeado (Figura A5-16) y la mezcla será permeable al aire y al agua. A causa de ello, endurecerá prematuramente y se hará frágil y quebradiza, o habrá desprendimientos de partículas por pérdida de poder adhesivo del asfalto.

En consecuencia, es muy importante que el esfuerzo de compactación en la etapa de diseño simule adecuadamente el tránsito que hará uso de la vía.

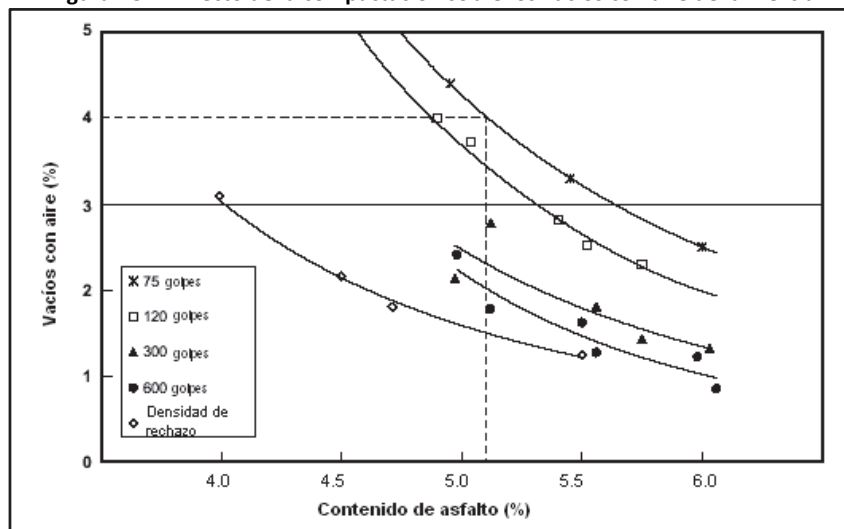
Figura A5-16 Variación de los vacíos con aire con la energía de compactación



A5.8.3.3 Efecto de la compactación secundaria

La subestimación de la compactación adicional producida por un tránsito muy agresivo puede hacer que, en la realidad de la obra, los vacíos con aire alcancen valores menores de 3 %, lo que aumenta el riesgo de deformación plástica de la mezcla. Poniendo como ejemplo las curvas de la Figura A5-17, si se usó una compactación de 75 golpes por cara, el contenido de ligante para 4 % de vacíos con aire es 5.15 %. Sin embargo, si la intensidad o la canalización del tránsito es tal que produce una compactación secundaria equivalente a una energía de compactación de 120 o 300 golpes/cara, los vacíos con aire para este contenido de ligante se reducen a 3.3 % y 2.2 %, respectivamente. La gráfica muestra que, inclusive, los vacíos con aire pueden descender hasta 1.5 % cuando la compactación es muy alta, equivalente a la densidad de rechazo.

Figura A5-17 Efecto de la compactación sobre los vacíos con aire de la mezcla



La figura permite apreciar el beneficio que produce el hecho de que el Instituto Nacional de Vías haya adoptado un rango más alto que el recomendado por el Instituto del Asfalto en los vacíos con aire admisibles para las mezclas destinadas a vías de tránsito pesado (4 % a 6 %, en lugar de 3 % a 5 %). El contenido de asfalto de diseño para 5 % de vacíos con aire sería, aproximadamente, 4.75 %, valor para el cual los vacíos con aire permanecen por encima de 3 %, inclusive para compactaciones equivalentes a 300 golpes Marshall por cara.

El concepto de la densidad de rechazo (ver curva inferior de la Figura A5-17) ha sido empleado por algunas agencias para diseñar la mezcla de manera que retenga un mínimo de 3% vacíos con aire, aunque vaya a estar expuesta a un tránsito extremadamente pesado y canalizado, para minimizar el riesgo de falla por deformación plástica. La norma de ensayo INV E-809 presenta un procedimiento para determinar esta densidad.

A5.8.3.4 Efecto de los vacíos con aire

Los vacíos con aire de diseño de la mezcla corresponden a los esperados en la vía luego de varios años de servicio. Ellos se logran si la mezcla se diseñó con la energía adecuada y si la compactación en obra produjo aproximadamente 8 % de vacíos con aire. Si las mezclas en servicio se consolidan a niveles de vacíos con aire inferiores a 3 %, existe el riesgo de que se presenten exudaciones, ahuellamientos u ondulaciones en la carpeta. Si, por el contrario, el contenido final de vacíos es muy alto, la mezcla puede resultar permeable, dura y quebradiza.

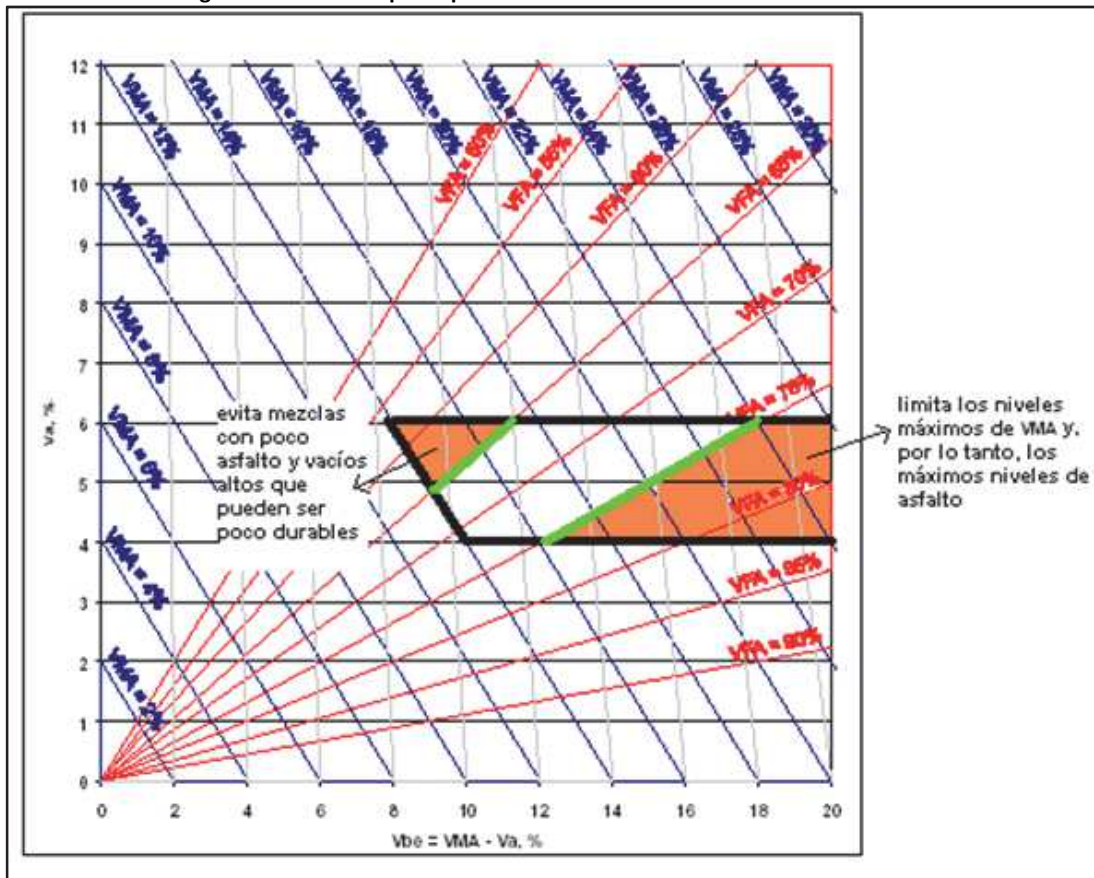
En consecuencia, el objetivo en el diseño de la mezcla es buscar un contenido de vacíos con aire cercano al punto medio admisible (con una tolerancia de 0.5 %, preferiblemente hacia el lado bajo del rango) y verificar que en la planta se reproduzca adecuadamente la fórmula de trabajo del laboratorio.

A5.8.3.5 Efecto de los vacíos llenos de asfalto

Debido a que los VMA y los vacíos con aire definen perfectamente la composición volumétrica de los vacíos de la mezcla compactada, cabe preguntarse cuál es la razón para especificar, también, los vacíos llenos de asfalto. Ello tiene por objeto limitar los niveles máximos de VMA y, consecuentemente, los niveles máximos de asfalto. También, restringe los vacíos con aire admisibles cerca del valor mínimo de los VAM (

Figura A5-18). En consecuencia, el criterio de los vacíos llenos de asfalto tiene por finalidad brindar un factor de seguridad adicional en el diseño y en la construcción de la mezcla.

Figura A5-18 Efecto que impone la limitación de los vacíos llenos de asfalto

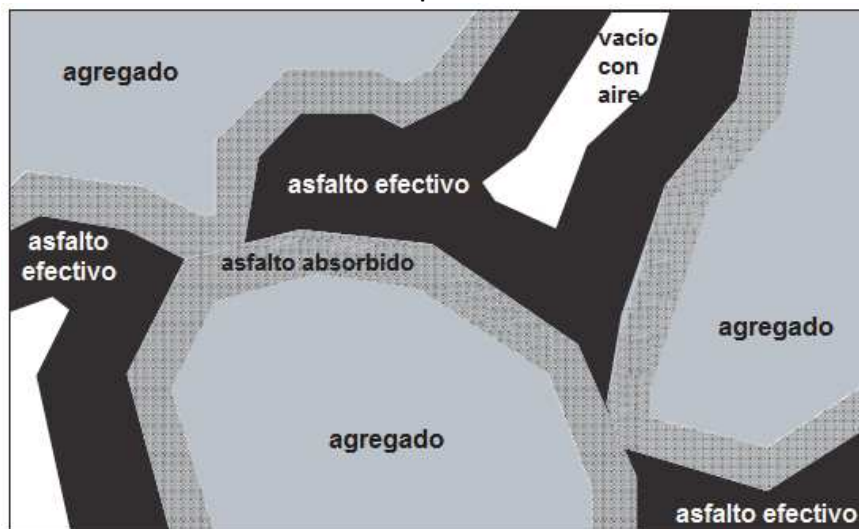


A5.8.3.6 Espesor de la película de asfalto

Una verificación adicional para establecer contenido óptimo de asfalto en la mezcla consiste en la estimación del espesor promedio de la película de ligante que envuelve los agregados (IPL), según la norma INV E-741.

En una mezcla asfáltica compactada, el asfalto se encuentra como una fase simple y homogénea que mantiene juntas las partículas del agregado mineral, no existiendo una película de asfalto físicamente definible dentro de ella (Figura A5-19). En consecuencia, el espesor de película sólo tiene sentido físico cuando la mezcla se encuentra en estado suelto. La película lubrica las partículas del agregado suelto, facilitando las posteriores operaciones de extensión y compactación de la mezcla.

Figura A5-19 Inexistencia de un espesor claramente definido de la película de asfalto efectivo en la mezcla compactada



Valores bajos del espesor de película suelen ser indicativos de mezclas difíciles de colocar y compactar, propensas a sufrir problemas de durabilidad. Ello no quiere decir, sin embargo, que exista una relación directa entre el bajo espesor de la película y la falta de durabilidad. Esta se produce a causa de la segregación y/o la pobre compactación generadas por la escasa trabajabilidad resultante del reducido espesor de ligante en la mezcla suelta. En ese orden de ideas, resulta recomendable establecer un espesor mínimo de película. El Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto lo fija en 7.5 μm .

Se debe tener presente, sin embargo, que si el espesor de la película de ligante es excesivo, la mezcla tendrá demasiado asfalto y será propensa a la exudación y al ahuellamiento. Por tal motivo, pareciera necesario establecerle un límite superior, de manera de establecer un compromiso entre la trabajabilidad y la resistencia al ahuellamiento de la mezcla. Aunque a la fecha el Instituto no ha establecido un valor límite superior para este parámetro, algunos autores recomiendan que éste sea de 9 μm , pareciendo existir consenso en el sentido de que valores superiores a 10 μm deberían ser evitados.

En cualquier caso, en el momento de definir el óptimo de ligante el diseñador deberá tener cuidado de impedir que se presenten conflictos involuntarios entre el espesor de película especificado y los requerimientos simultáneos en relación con los VMA, los vacíos con aire o la granulometría del agregado.

A5.8.3.7 Influencia de la estructura del pavimento

Los modelos matemáticos de evaluación de pavimentos son generalmente verificados en relación con tres criterios para las condiciones de tránsito y clima esperadas: (i) deformación

de la mezcla; (ii) fatiga de la mezcla; (iii) deformación de la subrasante. Si alguno de ellos no se cumple, se deben modificar el diseño de la mezcla y/o los espesores del pavimento. En general, las mezclas en el rango alto de contenido de asfalto son menos susceptibles al agrietamiento y las mezclas en el rango bajo son menos susceptibles al ahuellamiento.

A5.8.3.8 Influencia del clima

Los diseños de mezclas asfálticas sólo suelen considerar este efecto mediante la selección del grado del asfalto por utilizar, de acuerdo con el tránsito en la zona del proyecto. La Tabla 450.8 del Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto, es un ejemplo de ello.

En climas cálidos se buscan asfaltos más viscosos para obtener una mayor estabilidad en la adhesión del asfalto y la trabazón de agregados. En este caso son deseables, además, contenidos de asfalto en la parte baja del rango en el que se cumplan todos los requisitos del diseño. En climas moderados y fríos se exigen asfaltos menos viscosos para producir mezclas menos susceptibles al agrietamiento. En este caso, se recomiendan contenidos de asfalto hacia la parte superior del rango, para lograr una mezcla con mayor flexibilidad.

A5.8.3.9 Influencia de las condiciones del proyecto

Las áreas de tránsito más intenso demandan contenidos de asfalto bajos dentro del rango aceptable (Ver Figura A5-17). Mezclas a ser usadas en áreas con grandes concentraciones de carga, velocidades bajas o pendientes elevadas, demandan gran cuidado y se deben diseñar del lado bajo del rango, compactándolas a las mayores energías posibles e impidiendo el tránsito sobre ellas hasta que se encuentren completamente frías (ello permite que el asfalto contribuya a la estabilidad de la mezcla y no actúe como lubricante).

A5.8.3.10 Guía general para el ajuste de la mezcla

Aunque la selección del óptimo definitivo requiere un alto grado de criterio del ingeniero, quien debe valorar y ponderar todos los factores que se acaban de citar, la bibliografía incluye algunas recomendaciones generales que resultan de utilidad. Un ejemplo de ellas se muestra en la Tabla A5-7.

Tabla A5-7 Guía para el ajuste de la mezcla

| | Estabilidad satisfactoria | Estabilidad baja |
|---------------------------------------|--|--|
| Vacíos con aire bajos | Reducir el contenido de asfalto, el de llenante, o ambos Modificar la combinación de agregados para obtener más VMA | Aumentar el contenido de llenante y/o disminuir el contenido de asfalto Aumentar la cantidad y/o angulosidad del agregado |
| Vacíos con aire satisfactorios | No se requiere ajuste | Reducir el contenido de asfalto y/o aumentar el de llenante Aumentar la cantidad y/o angulosidad del agregado |
| Vacíos con aire altos | Aumentar el contenido de asfalto, el de llenante, o ambos | |

A5.9 VERIFICACIONES ADICIONALES A LA MEZCLA ESCOGIDA COMO ÓPTIMA

A5.9.1 Evaluación de la susceptibilidad a la humedad

Las características de adhesión entre el asfalto y el agregado pétreo son muy complejas y no están aun cabalmente comprendidas. A la fecha se han desarrollado muchas pruebas de laboratorio con el propósito de estudiar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas al agua. La precisión de la mayoría de ellas es limitada, debido a la naturaleza subjetiva de los resultados. En el intento de obtener resultados más objetivos, se han ideado pruebas de inmersión mecánica, que miden el cambio de una determinada propiedad de la mezcla compactada a causa de la acción del agua. Aunque estos procedimientos constituyen ensayos de durabilidad y no de diseño, sus resultados suelen ser tenidos en cuenta para ajustar la fórmula de trabajo, siempre que ellos rebasen ciertos límites que ofrezcan un indicio de la presencia de problemas de compatibilidad entre el agregado y el asfalto.

Tradicionalmente, el Instituto Nacional de Vías empleó el ensayo de inmersión-compresión (norma INV E-738) para valorar este efecto. En dicha prueba se establece una relación entre las resistencias a compresión no confinada de probetas sometidas a inmersión y de probetas sometidas a un proceso de curado en seco. Las probetas curadas en húmedo son sumergidas durante 4 días a 49 °C o durante 24 horas a 60 °C.

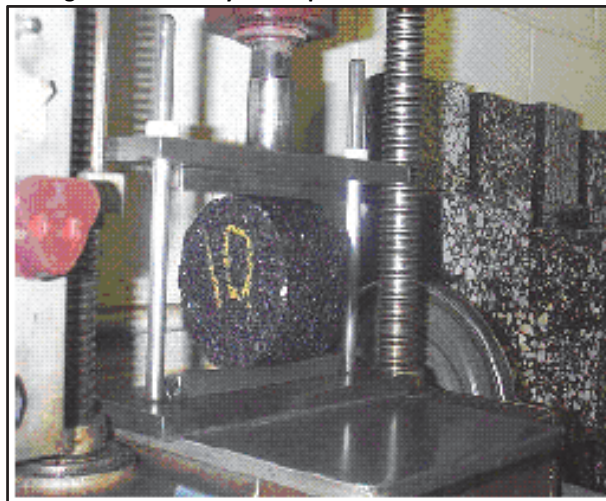
Dado que el ensayo de inmersión compresión resulta muy dispendioso para los laboratorios de obra, el Instituto lo sustituyó por el Lottman modificado (norma INV E-725) desde el año 2007. El ensayo consiste en compactar seis probetas con el contenido óptimo de asfalto y con una energía tal, que su contenido de vacíos con aire sea, aproximadamente, 7 %. Un subgrupo de tres probetas es para el control en seco. El otro subgrupo de tres se acondiciona saturando las probetas al vacío hasta alcanzar un grado de saturación entre 50 y 80 %, sumergiéndolas luego en agua a 60 °C por 24 horas. Después, todas las probetas son sometidas a compresión a 25 °C hasta la falla a lo largo de 2 generatrices opuestas, con una velocidad de deformación de 50.8 mm/minuto (2"/minuto) (Figura A5-20). Los valores promedio de resistencia a tensión de los especímenes acondicionados deben ser, por lo

menos, 80 % de los obtenidos con las probetas de control, para considerar que la mezcla será resistente a la humedad. Si las probetas fallan en el cumplimiento de este requisito, el diseñador deberá modificar la mezcla. Para ello existen varias posibilidades:

- Incrementar el contenido de asfalto (siempre que no afecte otras propiedades)
- Usar un asfalto de mayor viscosidad
- Adicionar cal o un aditivo mejorador de adherencia
- Cambiar la fórmula de trabajo, mejorando la gradación y la densidad, o
- Cambiar los agregados que presenten características hidrofílicas

El Instituto del Asfalto considera que, de todas maneras, los resultados de estos (y otros) ensayos de compatibilidad no brindan resultados absolutos por cuanto, ocasionalmente, se han obtenido en el laboratorio resultados no satisfactorios sobre mezclas que han presentado un excelente comportamiento en las obras reales.

Figura A5-20 Ensayo de la probeta a tensión indirecta



A5.9.2 Evaluación de la susceptibilidad al ahuellamiento

Debido a que el diseño Marshall no considera la propensión de la mezcla al ahuellamiento bajo carga repetida, esta posibilidad se debe evaluar a través de algún ensayo de simulación. El procedimiento que exigen las especificaciones del Instituto es el ensayo de pista de laboratorio descrito en la norma INV E-756. Consiste en la compactación, por vibración, de una probeta prismática de mezcla de 50 mm de espesor, la cual se introduce en una cámara térmica a 60 °C donde se somete a la acción de una rueda maciza de caucho que aplica una presión de 9 kg/cm², a razón de 42 pasadas por minuto durante dos horas, determinándose la deformación que va sufriendo durante dicho lapso (Figura A5-21). La velocidad de deformación en el intervalo comprendido entre los minutos 105 y 120 no debe exceder el valor fijado por la especificación (< 15 µm/minuto si la temperatura ambiente de la zona donde se colocará la mezcla es superior a 24 °C y < 20 µm/minuto si la temperatura

ambiente es igual o inferior a 24 °C), para considerar que la mezcla es resistente al ahuellamiento.

Figura A5-21 Cámara para el ensayo de pista de laboratorio y probeta ensayada



Si se excede el valor de deformación admisible, el diseñador se deberá plantear una o varias de las siguientes alternativas:

- Disminuir el contenido de asfalto
- Modificar la fórmula de trabajo, para obtener un esqueleto más grueso
- Emplear agregados pétreos de mayor dureza
- Utilizar un asfalto convencional de mayor viscosidad o un asfalto modificado

A5.10 CONSIDERACIÓN FINAL

El ingeniero deberá tener siempre en cuenta que un diseño Marshall es algo más que hacer unos ensayos normalizados y verificar que un determinado contenido de asfalto encaje dentro de unos criterios de diseño consignados en una tabla de especificaciones. Es necesario, además, ponderar todos los factores que pueden afectar el comportamiento de la mezcla en la obra y tener en cuenta que las especificaciones de construcción admiten una tolerancia de 0.3 % en el contenido de asfalto de las mezclas de gradación continua, por lo que el porcentaje óptimo de asfalto por escoger deberá tener en cuenta, también, esta posibilidad.

A5.11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A5.1 Ministerio de Obras Públicas, “*Normas de diseños y especificaciones de materiales para carreteras*”, Tomo IV, Bogotá D. E., abril de 1965

A5.2 Asphalt Institute, *“Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types”*, MS-2, Sixth Edition, Lexington

A5.3 Egberto Félix Tagle, *“Nuevas fórmulas para calcular el asfalto absorbido y determinar vacíos verdaderos en mezclas bituminosas en base al contenido efectivo de asfalto”*, Comisión Permanente del Asfalto, Decimosexta Reunión del Asfalto, Buenos Aires, 1969

A5.4 Federal Highway Administration, *“Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave”*, Publication No. FHWA-SA-95-003, February 1995

A5.5 Luis Valero Alonso, *“El ensayo Marshall y sus aplicaciones”*, Vigésima Segunda Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, San Juan, Argentina, Noviembre de 1980

A5.6 Advanced Asphalt Technologies, LLC, *“A manual for design of hot mix asphalt with commentary”*, NCHRP Report 673, Transportation research Board, Washington D.C., 2011

A5.7 Instituto Nacional de Vías, *“Normas de ensayo de materiales para carreteras”*, Bogotá D.C., 2013

FE DE ERRATAS

Manual de Mantenimiento de Carreteras

| | |
|------------|---|
| DICE | Derecho de vía |
| DEBE DECIR | Fajas de retiro obligatorio o áreas de reserva o de exclusión |



MINTRANSPORTE



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN