

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DEFINIR TRABAJOS DE
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.**

ERIKA TATIANA ANGARITA CANTILLO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2015**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DEFINIR TRABAJOS DE
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.**

ERIKA TATIANA ANGARITA CANTILLO

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero civil

Director

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA

Ingeniero Civil, PhD.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Miryam por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y enseñanzas, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Carlos por el ejemplos de perseverancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y conquistar los sueños, por su paciencia y por su amor.

A mi hermano por brindarme siempre su colaboración y a toda mi familia por ser la fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida.

A Todos mis amigos por compartir los buenos y malos momentos y acompañarme en esta trayectoria de aprendizaje y conocimiento.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
1.1. CUANTIFICACIÓN DEL ESTADO DE DETERIORO.....	15
1.2. VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.....	16
1.3. ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE TRÁNSITO EN EL FUTURO DEL PAVIMENTO.....	16
1.4. ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.	17
2. ESTADO DEL ARTE.....	18
2.1. EVALUACIÓN DEL DETERIORO.....	18
2.2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.	19
2.3. EVALUACIÓN DE LA CARGA DE TRÁNSITO.....	21

2.4. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO.....	22
3. DESARROLLO DETALLADO DE LA METODOLOGÍA.....	23
3.1. EVALUACIÓN DEL DETERIORO.....	23
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO.....	24
3.3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE LAS CAPAS.....	24
3.4. EVALUACIÓN MECÁNICA DE TODA LA ESTRUCTURA.	25
3.4.1. Número estructural con base en los espesores.	25
3.4.2. Deflexión.	25
3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	26
3.5.1. Diagrama de flujo.....	27
3.6. ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN.	40
3.6.1. Mantenimiento.	40
3.6.2. Capas delgadas.....	40

3.6.3. Capas de refuerzo.	41
3.6.4. Reconstrucción.	41
4. CONCLUSIONES	43
5. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFIA	45

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Esquema típico de una viga Benkelman.....	20
Figura 2. Esquema típico de un deflectómetro de impacto.....	21
Figura 3. Diagrama de flujo, primera parte del escenario.	27
Figura 4. Diagrama de flujo, segunda parte del escenario.....	29
Figura 5. Modelo formato de seguimiento. Fallas presentes.	39
Figura 6. Modelo formato de seguimiento. Resultado del PCI y análisis.	39

LISTA DE TABLAS

Pág

Tabla 1. Calificación del pavimento según el PCI.....	23
---	----

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO.....	47
ANEXO A. TABLA RESUMEN DE TIPOS DE DAÑOS.	47
ANEXO B. EJEMPLO FORMATO DE SEGUIMIENTO.	51

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DEFINIR TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.*

AUTOR: ANGARITA CANTILLO, Erika Tatiana**

PALABRAS CLAVES: PCI, número estructural, deflexión, falla funcional, falla estructural, mantenimiento, capa delgada, capa de refuerzo, reconstrucción.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de esta investigación es sugerir un procedimiento para determinar el estado estructural de un pavimento flexible y definir una estrategia de intervención adecuada a las características presentes. Esta investigación se basa en el atraso de la infraestructura vial en Colombia. El mal estado de las vías origina baja competitividad y genera un atraso social y económico; es por esto que surge la necesidad de encontrar soluciones oportunas. En la presente investigación se muestran una breve descripción de las fallas más comunes en los pavimentos y las actividades de mantenimiento y rehabilitación. Se introduce la metodología PCI para evaluar el deterioro superficial y parámetros como la deflexión, espesor de las capas y calidad de los materiales para determinar el estado estructural.

En el artículo se describe una metodología para definir trabajos de restauración que involucran un mantenimiento mayor o menor, la reparación de daños existentes, la utilización de capas delgadas, y la adición de un refuerzo o la reconstrucción total del pavimento. El procedimiento considera la identificación de los efectos en una vía por inspección visual, la condición superficial y estructural del pavimento, y el estado de los materiales que conforman la estructura del pavimento.

Finalmente, se muestra un diagrama de flujo para precisar el método más acertado a usar en la corrección de los daños presentes teniendo en cuenta la evaluación estructural y funcional.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: CASTAÑEDA, Eduardo Alberto. Ing. Civil, PhD. - UIS.

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGICAL PROPOSAL TO DEFINE REHABILITATION WORKS ASPHALTIC PAVEMENT.*

AUTHOR: ANGARITA CANTILLO, Erika Tatiana**

KEYWORDS: PCI, structural number, deflection, functional failure, structural failure, maintenance, thin layer, reinforcing layer, reconstruction.

DESCRIPTION:

The objective of this research is to suggest a method to determine the structural state of a flexible pavement and define an appropriate strategy to the characteristics present intervention. This research is based on the delay of road infrastructure in Colombia. The poor state of the roads causes low competitiveness and generates backwardness social and economic, that is why there is a need to find appropriate solutions. In this research a brief description of the most common failures on pavements and maintenance activities and rehabilitation. PCI methodology is introduced to evaluate parameters as the surface deterioration and the deflexión, layer thickness and materials quality to determine the structural state.

In the article describes a methodology to define restoration works involving maintenance higher or lower, repair existing damage, the use of thin layers, and the addition of a reinforcing or total reconstruction of the pavement. The procedure considers the identification of the effects on a track by visual inspection, surface condition and structural of the pavement, and the state of the materials that make up the pavement structure.

Finally, a flow chart is shown to clarify the more accurate use in the correction of damage present taking into account the structural and functional assessment.

* Work Degree.

** Physicomechanical Faculty of Engineering. School of Civil Engineering. Director: CASTAÑEDA, Eduardo Alberto. Ing. Civil, PhD. - UIS.

INTRODUCCION

La infraestructura vial es un factor determinante en el desarrollo social, económico y cultural de un país. La vida de servicio de un pavimento está afectada por un deterioro continuo y permanente desde el momento en que concluye su construcción. Lo cual, compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. Existen diferentes motivos que causan fallas en los pavimentos flexibles, entre estas, se pueden mencionar el diseño deficiente por errores en la estimación del tránsito o calidad de materiales seleccionados, deficiencias en el proceso constructivo, factores climáticos imprevistos, insuficientes estructuras de drenaje, fin del periodo de diseño original y ausencia o insuficiencia de acciones de mantenimiento y/o rehabilitación.

Una vía deteriorada puede ser reparada utilizando métodos de rehabilitación como sobrecarpetas de varios espesores, reciclado de las capas superiores o la completa reconstrucción.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una metodología que permita establecer las obras de mantenimiento de un pavimento debe considerar los siguientes aspectos:

- Cuantificación del estado de deterioro del pavimento.
- Valoración de la capacidad estructural reincidente.
- Estimación de la carga de tránsito en el futuro del pavimento.
- Alternativa para el mejoramiento de la condición estructural y funcional del pavimento.

1.1. CUANTIFICACIÓN DEL ESTADO DE DETERIORO.

Se selecciona la metodología de PCI porque se considera que es la metodología más completa para evaluación y calificación objetiva de pavimentos dentro de los modelos de gestión vial disponibles en la actualidad. Es de fácil implementación y no requiere herramientas especializadas. El PCI es un índice numérico que se basa en los valores deducidos de cada daño de acuerdo a la cantidad y severidad reportada. Varía de 0-100, donde 0 es la peor condición y 100 equivale a un pavimento en perfecto estado.

Cuando el PCI se encuentra en el rango de 70 a 100 el pavimento tiene “excelente” calificación debido a que presenta muy pocas fallas. Esto puede ser porque el pavimento fue bien diseñado y no ha cumplido su vida útil, o pudo haber sido diseñado para soportar mayor carga que la que ha transitado, por lo tanto no se han generado daños significativos.

Cuando el PCI es igual a 70 el pavimento se considera aún como “buen pavimento” pero ya no está en excelente estado. En este punto la cantidad, extensión y severidad de las fallas comienzan a generar problemas de transitabilidad. Por este motivo en el presente proyecto se considera que las

vías con PCI menores a 70 advierten que el pavimento necesita un trabajo de rehabilitación mayor.

Aunque el PCI tiene en cuenta las fallas estructurales y funcionales al momento de evaluar un pavimento, deja por fuera un factor importante como lo es la rugosidad. El IRI, Índice Internacional de Rugosidad, describe las vibraciones del vehículo causadas por la irregularidad del perfil y es linealmente proporcional a la rugosidad de la vía. Se expresa en unidades de pendiente, medidas por la acumulación de suspensión de un vehículo en movimiento recorriendo un cierto tramo.

1.2. VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.

La evaluación no destructiva es una herramienta eficaz en la calificación de la capacidad estructural del pavimento. Para valorar la capacidad estructural con base en el espesor del pavimento se selecciona el método de la guía AASTHO 93 calculando el número estructural.

Una estructura de pavimento debe tener un espesor adecuado, por este motivo se deben realizar ensayos de los materiales que conforman las capas para un buen funcionamiento de la estructura. Los espesores de las capas dependen del tránsito que va a soportar el pavimento, de la dureza del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas

1.3. ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE TRÁNSITO EN EL FUTURO DEL PAVIMENTO.

El estudio del tránsito se realice por medio de censos de volumen y clasificación. Los volúmenes de tránsito indican la cantidad de vehículos circulantes en diversos periodos de tiempo. Así se podrá establecer el volumen de vehículos pesados que usará la vía a reconstruir, así como los espectros de cargas transportadas por los vehículos. Al establecerse la tasa de crecimiento

estimada para cada una de las categorías se obtiene el volumen de vehículos pesados esperables, es decir la solicitud de la obra.

Los análisis detallados del tránsito son indispensables en los diseños en los que se proyectan estrategias a mediano o largo plazo.

En los casos de estrategias a corto plazo rara vez se utilizan análisis elaborados. En estos casos solo es necesaria la información actual sin establecer ningún tipo de estimación futura, buscando establecer y planificar los trabajos para reducir las alteraciones y las congestiones durante las etapas constructivas.

1.4. ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.

El paso del tiempo, el incremento del tráfico y el efecto abrasivo son algunas de las causas del deterioro visible en la capa de rodadura, más específicamente sobre la textura y el aspecto decorativo del pavimento. Sin embargo, si se implementan técnicas de reparación en el momento oportuno y de manera adecuada, se puede garantizar un buen resultado, desempeño y durabilidad en el pavimento de concreto.

Existen muchas opciones disponibles para rehabilitar una carretera, pero lo difícil es determinar cuál de ellas es la mejor. La observación superficial y el análisis estructural serán importantes para entender el mecanismo de falla. Debe llevarse a cabo una investigación que permita adquirir un adecuado nivel de entendimiento sobre el comportamiento del pavimento existente. La cual, debe incluir aspectos como: la viabilidad de los métodos de rehabilitación, el tráfico, el periodo de diseño las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos locales para realizar las tareas pueden tener una influencia significativa en la ejecución del proyecto.

2. ESTADO DEL ARTE

Para el diseño de obras de mantenimiento de un pavimento se debe hacer la evaluación Funcional y estructural del mismo. Se deben estudiar las condiciones superficiales de la vía y el estado del paquete estructural que la compone. Los métodos de evaluación incluyen la auscultación visual, la determinación del porcentaje de daños existentes, la evaluación del estado estructural, y el análisis del tránsito, para dar un diagnóstico de la evolución estructural del pavimento y a su vez que se pueda hacer una interpretación del estado de la vía. A continuación se presentan algunos antecedentes relacionados al tema de investigación.

2.1. EVALUACIÓN DEL DETERIORO.

Para la clasificación de los tipos de daño en los pavimentos flexibles existen diferentes metodologías como las denominadas VIZIR y PCI (Pavement Condition Index).

La condición del pavimento por el método VIZIR se define mediante el índice de deterioro superficial (Is), el cual es un valor adimensional que se calcula a partir del porcentaje de longitud afectada por daños estructurales, con respecto a la longitud total del segmento vial estudiado, este debe ser corregido en función a la extensión y calidad de los trabajos de bacheo realizados en el pavimento evaluado obteniendo así, un Índice de deterioro superficial el cual califica el segmento vial en un rango del 1 al 7, donde un pavimento con calificación de 1 está en buen estado y uno con una calificación 7 se encuentra en estado deficiente.

La metodología del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual en el cual se establece la clase, la severidad y la extensión de cada daño presente en el pavimento. Se utiliza para obtener una calificación de la integridad de una sección específica del pavimento de la carretera. La

información obtenida ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. El intervalo del PCI es entre 0 y 100. Un índice igual a cero corresponde a un pavimento con una mala calificación, sin embargo, esto no necesariamente significa que no se puede conducir.

2.2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

La revisión bibliográfica muestra que las pruebas no destructivas como los ensayos de deflexión no presentan una determinación exacta de las características de los materiales del pavimento, ni de los espesores de sus capas. Por consiguiente, se ha reconocido siempre como una buena práctica el uso de ensayos destructivos.

De acuerdo con la guía AASTHO 93 la capacidad de resistencia de un pavimento se expresa en términos del espesor representado por su número estructural SN. La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas dimensionadas según sus características propias. El resultado es la combinación la capacidad aportada por cada una de las capas y permite determinar la suficiencia estructural con relación al espesor requerido para la vía evaluada.

Los ensayos de extracción de núcleos o apiques son pruebas destructivas que permiten obtener muestras tanto alteradas como inalteradas del pavimento. Los núcleos permiten observar el espesor de las capas y la condición de sus materiales, inclusive se pueden detectar problemas de adhesividad en las mezclas asfálticas. Las perforaciones por apiques, cuando se realizan en zonas falladas permiten establecer el origen de las fisuras que se reflejan en la superficie.

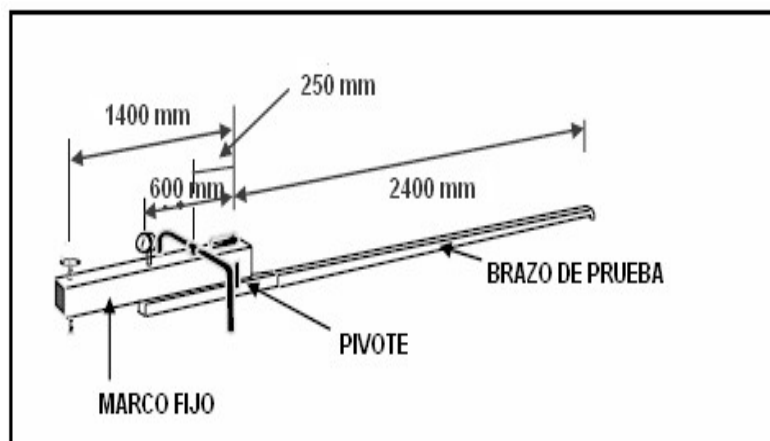
Las medidas de deflexión han formado parte integral de los procesos de evaluación estructural y rehabilitación de pavimentos asfálticos.

Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada.

La medición de la deflexión es efectuada mediante equipos tales como la viga Benkelman o el deflectómetro de impacto. Son ensayos no destructivos por lo tanto no alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

La viga Benkelman mide la deflexión máxima del pavimento bajo la acción de una carga estática o de una carga de muy lenta aplicación. El uso de la viga Benkelman presenta grandes ventajas debidas a su bajo costo y a la facilidad de uso. En Colombia ha sido gran utilizada para la evaluación de pavimentos asfálticos.

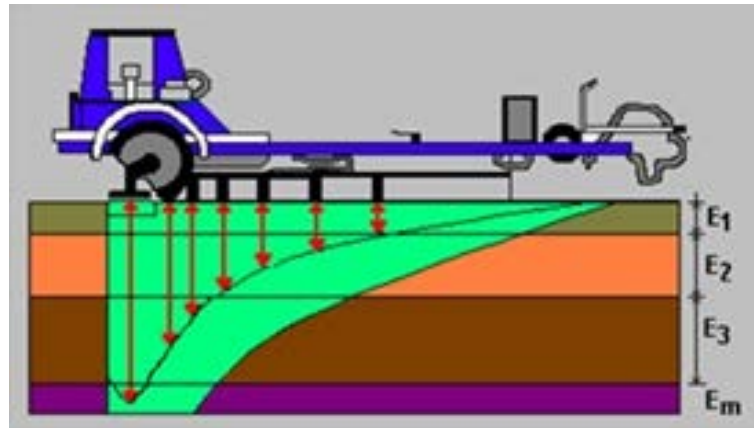
Figura 1 Esquema típico de una viga Benkelman.



Fuente: Tomado de Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. INVIAS.

El deflectómetro de impacto es un equipo ampliamente utilizado en el mundo para la evaluación del estado estructural de un pavimento. La principal ventaja es el análisis de la capacidad de soporte mediante el cálculo inverso de los módulos de rigidez de las capas de un pavimento a partir de los cuencos de deflexión registrados.

Figura 2. Esquema típico de un deflectómetro de impacto.



Fuente: Tomado de Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. INVIAS.

Las medidas de deflexión permiten programar estudios detallados en áreas localizadas donde las deflexiones sean excesivas para averiguar las causas de los deterioros de la estructura y las debilidades del soporte.

2.3. EVALUACIÓN DE LA CARGA DE TRÁNSITO.

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos.

La metodología AASTHO se puede emplear para obtener el tránsito de diseño para un pavimento en términos de sus ejes equivalentes. El diseño se basa en el número de pasadas totales de cargas de eje estándar durante todo el periodo de diseño y utiliza un factor de carga de eje equivalente que define el daño por pasada inducido a un pavimento por un eje en relación con el daño que generaría un eje simple estándar de 80kN y depende del tipo de pavimento, del espesor, la capacidad estructural y las condiciones finales a las que el pavimento se considera que ha fallado.

2.4. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO.

Las medidas de rehabilitación superficial resuelven problemas que se encuentran confinados a las capas superiores del pavimento, usualmente dentro de los 100 mm superiores, inconvenientes que están relacionados con el envejecimiento del asfalto y con el agrietamiento que se origina en la superficie debido a factores térmicos. Los métodos más comunes para tratar este tipo de problemas incluyen:

- Colocación, sobre la superficie existente, de una carpeta delgada (espesores inferiores a los 35 mm) de mezcla asfáltica.
- Fresado y reemplazo
- Fresado y conformación de material granular.
- Reciclar el material del pavimento existente (reciclaje poco profundo o superficial).

La rehabilitación para resolver problemas de la estructura del pavimento normalmente se trata como una solución a largo plazo. Al resolver los problemas estructurales, debe recordarse que la estructura del pavimento es la que tiene fallas y no necesariamente los materiales que la constituyen. Entre las operaciones más utilizadas para rehabilitación estructural se encuentran:

- Reconstrucción total implica todo y comenzar de nuevo. Cuando se tiene altos volúmenes de tráfico es preferible construir una vía alterna, para evitar problemas con el tráfico.
- Construcción de capas adicionales (sean de materiales granulares o de mezclas asfálticas) sobre la superficie existente.
- Reciclaje hasta la profundidad en que presentan los problemas, creando una capa gruesa y homogénea, con características de resistencia superiores.

3. DESARROLLO DETALLADO DE LA METODOLOGÍA

3.1. EVALUACIÓN DEL DETERIORO.

El presente documento se basará en la metodología PCI para la clasificación de los daños. La Tabla 1 muestra la calificación del pavimento por la metodología utilizada:

Tabla 1. Calificación del pavimento según el PCI.

RANGO	CALIFICACIÓN
85-100	Excelente
70-85	Muy Bueno
55-70	Bueno
40-55	Regular
25-40	Malo
10-25	Muy Malo
0-10	Fallado

Fuente: Pavement condition index (PCI). Luis Vásquez Varela. Modificado por el autor.

Para el cálculo del índice de condición del pavimento se tienen en cuenta los siguientes factores:

- 1) Tipo de falla:** Se determina por observación visual.
- 2) Severidad:** Indica el nivel de gravedad del daño. Describen diferentes características de progresión de las clases de defectos. Los niveles de severidad dependen de los diferentes métodos de evaluación.
- 3) Extensión:** Hace referencia a la dimensión que abarca el defecto en la sección del pavimento que está siendo evaluada.

En el Anexo A al final del documento se encuentra una tabla resumen con la descripción de los tipos de daños evaluados por la metodología PCI.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO.

La vida de un pavimento se expresa por el número de ejes de 80 kN que se prevén en el periodo de proyecto. En el presente documento se consideran tres niveles de tránsito:

- 1) NT1:** Nivel de tránsito 1. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño.

- 2) NT2:** Nivel de tránsito 2. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.5×10^6 y 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño.

- 3) NT3:** Nivel de tránsito 3. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es superior a 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño.

3.3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE LAS CAPAS.

La base y subbase granular son elementos estructurales del pavimento que junto con la capa asfáltica tienen como propósito distribuir las cargas del tránsito sobre la subrasante. Para satisfacer este propósito deben ser construidas con propiedades de resistencia internas necesarias. Para el análisis de la capacidad mecánica de las capas de un pavimento en servicio el uso de ensayos destructivos como sondeos con pruebas inalteradas con el fin de explorar las propiedades físicas de los suelos. Se debe planear una exploración preliminar para indicar las áreas con condiciones que requieran una investigación más detallada.

El tamaño y el tipo de las muestras dependen de los ensayos que se vayan a efectuar o del porcentaje de partículas gruesas en la muestra y de las limitaciones del equipo de ensayo por emplear. Las muestras se deberán enviar al laboratorio para realizar ensayos de identificación y clasificación.

Las especificaciones técnicas de construcción tradicional sirven de patrón para establecer si la calidad es la necesaria y responder la pregunta: ¿Los materiales cumplen especificaciones?

3.4. EVALUACIÓN MECÁNICA DE TODA LA ESTRUCTURA.

Comprende la capacidad del pavimento para soportar las cargas de tránsito durante el período de vida útil. Teniendo en cuenta el espesor de las capas y la deflexión del pavimento.

3.4.1. Número estructural con base en los espesores. La capacidad estructural es la habilidad de un pavimento de soportar cargas de tráfico repetitivas durante el tiempo. Para un pavimento nuevo, esta capacidad decrecerá con el tiempo y el deterioro de la estructura.

La capacidad estructural denotada por el número estructural SN depende del espesor del pavimento. El número estructural efectivo del pavimento existente SN_{ext} debe ser mayor al número estructural requerido SN_{req} para el tránsito presente en la vía.

3.4.2. Deflexión. La deflexión de un pavimento es el desplazamiento vertical de la estructura de un pavimento por la acción de cargas vehiculares. La forma y dimensiones del cuenco de la deflexión proveen información importante acerca de las características estructurales tanto del pavimento y de la subrasante. Si la deflexión es alta implica que la capacidad estructural del pavimento es débil, al contrario, si la deflexión es baja quiere decir que el pavimento tiene buena capacidad estructural.

El radio de curvatura de la línea elástica de deflexión determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al flexionar bajo las cargas, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

Bajas deflexiones y grandes radios de curvatura indican que el pavimento está en buen estado, en capas superiores e inferiores. Cumplen calidad, deflexión menor a admisible. Al contrario, altas deflexiones y pequeños radios de curvatura indica un pavimento insuficiente, no cumple calidad en capas superiores e inferiores (subrasante). Implica materiales inadecuados, capas con deficiente compactación o mal drenaje.

Cuando la deflexión es alta y el radio de curvatura es grande, el problema está en la subrasante por mala calidad del material o humedad excesiva. Las capas superiores tienen calidad satisfactoria por el gran radio de curvatura.

Un pavimento con deflexión y radio de curvatura bajos indica una capa superior de mala calidad. El problema no está en la subrasante.

3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Para definir los trabajos de rehabilitación se propone un diagrama de flujo que tiene en cuenta 5 aspectos para diagnosticar y corregir un pavimento, los cuales son los siguientes:

- 1)** Existencia o no de fallas estructurales: Como primera medida se hace la exploración visual en campo en la cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos.

- 2)** Determinación del índice de condición superficial: Un pavimento con un PCI entre 70 y 100 (incluye 70) se encuentra en un buen estado, por lo tanto solo será necesario un pequeño mantenimiento para mejorar la

calidad de este. Los valores del PCI menores a 70 advierten que el pavimento se encuentra en mal estado por lo tanto se requiere realizar trabajos de rehabilitación mayores que van desde la adición de una capa delgadas hasta la reconstrucción total.

- 3) Determinación del número estructural efectivo y requerido: Si el SN_{ext} es menor que el SN_{rec} significa que el pavimento existente es insuficiente, por lo tanto es necesario la adición de una capa que mejore la capacidad del pavimento. Si por el contrario el SN_{ext} es mayor que el SN_{rec} la estructura del pavimento es adaptada.
- 4) Cumplimiento de las especificaciones: Si los materiales de la estructura de pavimento no cumplen las especificaciones contenidas en el artículo los materiales no tienen la resistencia necesaria para soportar las cargas del tránsito, es decir, están contaminados y es necesario una reconstrucción total del pavimento. Si los materiales cumplen las especificaciones pueden ser utilizados mediante técnicas de reciclaje.
- 5) Análisis de la deflexión: El conocimiento de las deflexiones constituye un elemento importante para evaluar pavimentos flexibles. Dichas medidas deben asociarse a la observación directa de fallas, espesores de las capas del pavimento y las características de los materiales y de la capa subrasante con el fin de tomar la medida de corrección más adecuada en cada caso. Una deflexión excesiva quiere decir una deflexión mayor a la admisible.

3.5.1. Diagrama de flujo. A continuación se muestra el esquema propuesto en un diagrama de flujo:

Figura 3. Diagrama de flujo, primera parte del escenario.

Ejemplo Practico: En la evaluación de cierta vía se determinó que el pavimento tenía fallas estructurales que generaron una medida de PCI bajo, el número estructural es menor que el requerido y los diferentes ensayos cumplen las especificaciones. La deflexión es baja, por lo tanto, en la primera parte del diagrama se selecciona la letra **C** en la segunda parte se encuentran cuatro posibles opciones que pueden ser la número 3, **3**, **11**, **19**, **27** pero al seleccionar la letra C, la propuesta seleccionada para un pavimento con estas características es la 19.

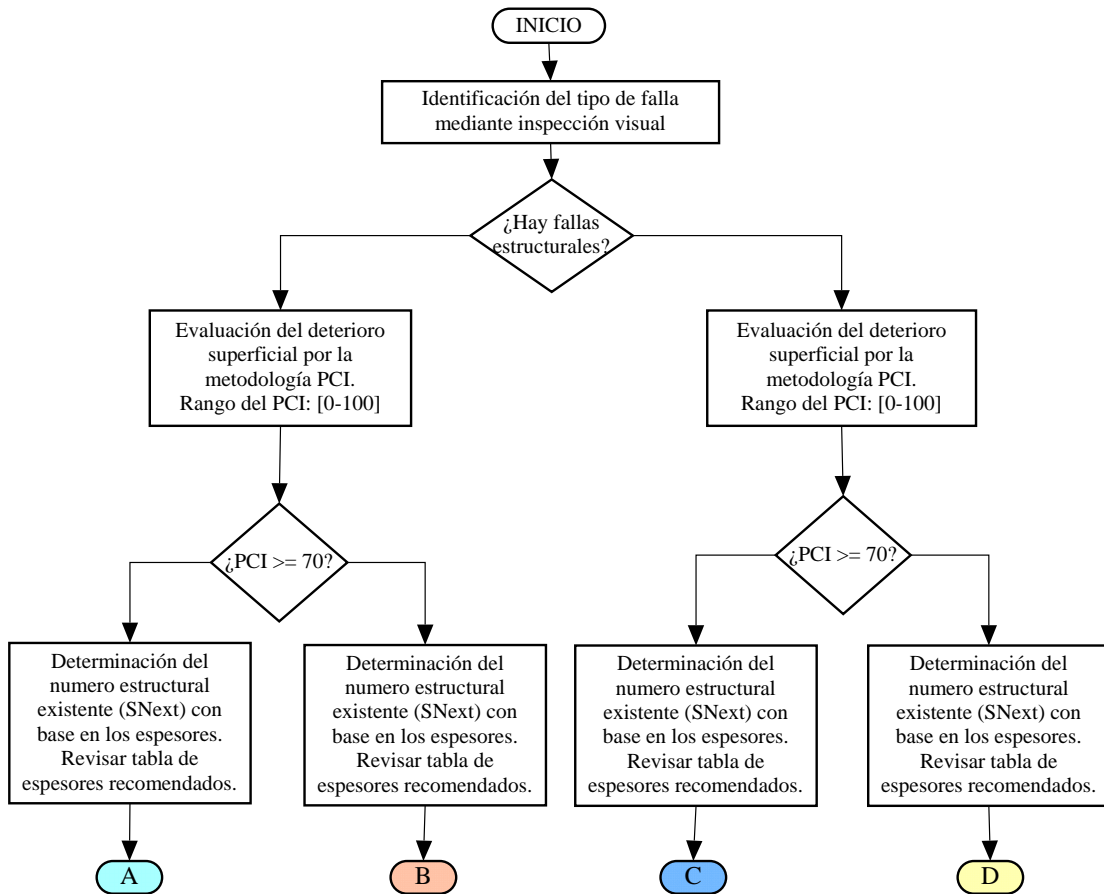
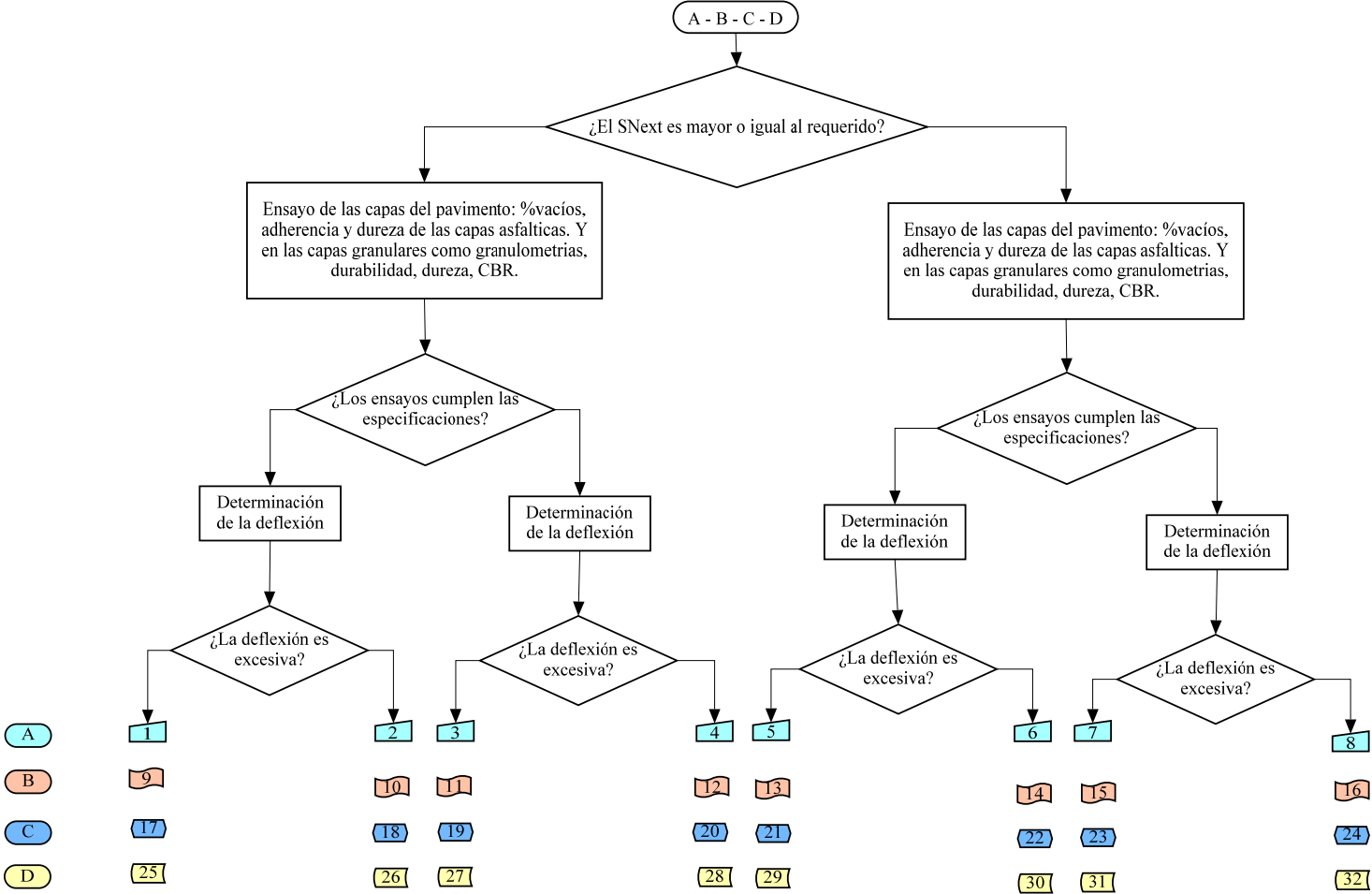


Figura 4. Diagrama de flujo, segunda parte del escenario.



Fuente: Realizada por el Autor.

Como resultado de seguir el diagrama de flujo se tienen treinta y dos recomendaciones sobre las tareas de mantenimiento o rehabilitación correspondientes a los resultados obtenidos en el diagrama, las cuales son:

1. Se trata de un pavimento sin fallas estructurales. El PCI menor a 70 indica un pavimento con fallas funcionales que ocupan gran extensión. El espesor del pavimento es insuficiente y los materiales están contaminados. Es un pavimento con capas asfálticas de baja calidad y bases pobres con capacidad estructural débil. La subrasante es de buena calidad y la deflexión es admisible. Se debe evaluar la posibilidad de utilizar los materiales existentes como materiales de Subbase y construir nuevas capas de base y asfálticas.
2. El pavimento tiene demasiadas fallas funcionales o fallas funcionales que ocupan una gran extensión del pavimento. El número estructural del pavimento es insuficiente. Los materiales están contaminados y la deflexión es excesiva. Estas características indican un mal pavimento y una mala subrasante, con capacidad estructural débil. Agregar una capa de refuerzo en estos casos puede no ser la mejor solución, se debe remover el pavimento y construir uno nuevo.
3. El pavimento tiene fallas funcionales de gran extensión que generan un valor bajo del PCI. Tiene buena capacidad estructural, la calidad de los materiales es buena, lo mismo la subrasante. Se debe determinar la rugosidad de la vía evaluando el IRI y la adherencia o fricción entre llantas y superficie de rodamiento con el fin de caracterizar mejor la condición del pavimento. La solución consiste en agregar una capa delgada que mejore la condición superficial del pavimento.
4. Es un pavimento que se encuentra fallado funcionalmente, el espesor no es suficiente por alguna o todas las capas. Los materiales de las capas

superiores están en buen estado pero la subrasante es mala. Hay que agregar una capa de refuerzo de gran espesor para darle al pavimento un espesor adecuado al tránsito que soportará.

5. El PCI bajo indica un mal pavimento. Tiene fallas funcionales, El espesor del pavimento es insuficiente los materiales están contaminados y la deflexión es baja. La solución para este caso es la remoción de las capas pobres y la reconstrucción del pavimento sobre la subrasante que se encuentra en buen estado.
6. Estos pavimentos tienen fallas únicamente funcionales en gran cantidad o gran extensión que generan un PCI elevado. El pavimento no tiene suficiente espesor, los materiales no cumplen las especificaciones y la deflexión es excesiva, estos factores indican un mal pavimento y una mala subrasante. Las bases son pobres, las capas asfálticas son de baja calidad y la subrasante no es elástica. El pavimento debe ser reconstruido.
7. El pavimento se encuentra en buen estado, en las capas superiores e inferiores. Pero las fallas funcionales son de gran extensión por lo tanto el PCI es bajo e indica un pavimento de mala calidad. El espesor es suficiente y la deflexión baja indica que el pavimento tiene buena subrasante y buena capacidad estructural. Se debe determinar la rugosidad de la vía evaluando el IRI y la adherencia o fricción entre llantas y superficie de rodamiento con el fin de caracterizar mejor la condición del pavimento. Para la rehabilitación de pavimentos con estas características es necesario utilizar una capa de nivelación que mejore la capacidad superficial del pavimento.
8. El pavimento tiene fallas funcionales de gran extensión que generan una condición superficial baja. Sin embargo los materiales de las capas superiores son de buena calidad. La deflexión excesiva indica mala subrasante por lo tanto la capacidad estructural es débil. Si la revisión del tránsito soportado es muy inferior al proyectado a futuro, esto explicaría la

ausencia de daños estructurales y se debe construir capas de refuerzo que aumenten su capacidad estructural.

- 9.** Pavimentos con fallas funcionales de poca extensión, ubicadas en sitios críticos, con espesor que con base en la carga de tránsito futuro, se ha juzgado insuficiente y sus materiales se encuentran contaminados. La deflexión es baja lo cual indica que la subrasante es buena. El PCI elevado muestra que probablemente no ha transitado una carga lo suficiente grande para causar daños mayores. Para corregir los daños presentes basta con un mantenimiento, sin embargo al cambiar las condiciones actuales de tránsito el pavimento va a fallar rápidamente por lo tanto es aconsejable un nuevo diseño o evaluar la posibilidad de utilizar los materiales existentes como materiales de Subbase y construir nuevas capas de base y asfálticas.
- 10.** El PCI mayor que 70 muestra un pavimento en buen estado, pero el espesor y los materiales no son adecuados, además la deflexión es excesiva, por lo tanto la subrasante es mala, es un pavimento mal diseñado, puede ser un pavimento nuevo por el que no hayan pasado suficientes vehículos que generen fallas mayores. Con un mantenimiento menor en los sitios críticos se pueden corregir las fallas existentes. El diseño del pavimento no es adecuado, por lo tanto sería mejor una reconstrucción total teniendo en cuenta el nivel del tránsito evaluar la posibilidad de utilizar los materiales existentes como materiales de Subbase y construir nuevas capas de base y asfálticas.
- 11.** Pavimento en buen estado, con muy pocas fallas funcionales ubicadas en sitios críticos que generan inconformidad al transitar. El espesor es insuficiente pero los materiales están en buen estado, incluyendo la subrasante que genera una deflexión baja. En pavimentos con estas características una capa de refuerzo sirve para generar un espesor suficiente. Un mantenimiento menor en los sitios críticos corrige las fallas presentes.

- 12.** El pavimento es bueno, existen fallas funcionales ubicadas en ciertos sitios que determinan un PCI elevado, el espesor del pavimento es insuficiente y los materiales cumplen las especificaciones, sin embargo la deflexión es excesiva, lo cual quiere decir que la subrasante no es buena. Para la corrección de estas fallas se puede utilizar una capa de refuerzo. Si la revisión del tránsito soportado es muy inferior al proyectado a futuro, esto explicaría la ausencia de daños estructurales y se debe construir capas de refuerzo que aumenten su capacidad estructural. En caso contrario se debería revisar la confiabilidad de los datos reunidos en campo porque no hay coherencia entre el comportamiento del pavimento y la caracterización del pavimento.
- 13.** Pavimento con muy pocas fallas funcionales y un espesor adecuado. Los materiales están contaminados, pero la deflexión es baja, lo cual indica que la subrasante es buena. Probablemente este recién construido o no han circulado muchas cargas de tránsito. Un pavimento con estas características es conveniente reforzarlo pronto, se puede adicionar una capa de refuerzo o retirar las capas superiores que no cumplen las especificaciones y reconstruir nuevamente el pavimento.
- 14.** El pavimento se encuentra con poca cantidad de fallas funcionales en sitios críticos de poca extensión. El espesor del pavimento es adecuado, los materiales están contaminados, además la excesiva deflexión señala una mala subrasante. La capacidad estructural de un pavimento en estas condiciones es débil. Para la solución será necesario recurrir a una capa de refuerzo, porque seguramente es un pavimento próximo a fallar gravemente.
- 15.** Pavimento en buen estado, espesores y materiales adecuados. El pavimento tiene solo fallas funcionales en muy poca cantidad. En ciertos sitios críticos. El pavimento tiene buena capacidad estructural y puede resultar ser un pavimento que aún le falta tiempo para cumplir su vida útil, o uno diseñado para resistir mayores cargas a las que han transitado. Como

solución basta con un mantenimiento menor en los sitios donde se encuentran los deterioros con el fin de aumentar la vida del pavimento. Se debe determinar la rugosidad de la vía evaluando el IRI y la adherencia o fricción entre llantas y superficie de rodamiento con el fin de caracterizar mejor la condición del pavimento. Si se encuentran deficiencias en IRI o en fricción se debe construir una nueva capa de rodamiento que no requiere mayor espesor.

- 16.** El PCI elevado indica que el pavimento se encuentra en buen estado. Tiene espesor y materiales adecuados, pero, la deflexión es excesiva, lo cual es señal de una mala subrasante. Esto genera que el pavimento tenga baja capacidad estructural, aunque los materiales estén en buen estado, la subrasante es mala. Para la corrección de un pavimento con estas características se puede adicionar una capa de refuerzo que vaya acompañada de la reparación de los deterioros presentes.
- 17.** El pavimento está en mal estado lo cual lo indica el PCI por debajo de 70. El espesor no es suficiente, los materiales están contaminados pero la subrasante está en buen estado por lo cual, genera una deflexión baja. En pavimentos con estas características lo mejor es remover las bases pobres y la capa asfáltica de baja calidad y reconstruir de nuevo el pavimento.
- 18.** El pavimento se encuentra fallado estructuralmente, hay deterioros superficiales en elevada cantidad. El espesor del pavimento es insuficiente, los materiales están contaminados y la deflexión es excesiva lo cual indica que la subrasante es débil, la capa asfáltica es de baja calidad y base bases granulares son pobres. El pavimento requiere reconstrucción total.
- 19.** El pavimento tiene fallas estructurales, posiblemente hayan fallas superficiales. El espesor es insuficiente pero los materiales están en buen estado. La deflexión es baja, indica que el problema no está en la subrasante si no en las capas superiores. Para la rehabilitación de un

pavimento con estas características es necesario una capa de refuerzo y se debe revisar la unión entre las capas.

- 20.** El pavimento se encuentra fallado estructuralmente, el pavimento fue construido con materiales apropiados que cumplen las especificaciones, posiblemente presente fallas funcionales, sin embargo, la subrasante es de mala calidad o tiene humedad excesiva. La capacidad estructural del pavimento es débil y su espesor no es suficiente. Para la rehabilitación de un pavimento con estas características es necesario reconstruir el pavimento desde la subrasante o utilizar una capa de refuerzo que aumente la capacidad estructural del pavimento, utilizar técnicas de reciclaje para aprovechar los materiales que cumplen
- 21.** Gran parte del pavimento se encuentra deteriorada. Presenta fallas estructurales y posiblemente fallas funcionales. Entre más bajo el PCI peor es el estado del pavimento. El espesor del pavimento es suficiente pero los materiales están contaminados. La deflexión es admisible lo cual indica que tiene buena subrasante. La solución para pavimentos con estas características es la reconstrucción total, teniendo en cuenta que se tiene buena subrasante
- 22.** Gran parte del pavimento se encuentra deteriorada. Presenta fallas estructurales y posiblemente fallas funcionales. Entre más bajo el PCI peor es el estado del pavimento. El espesor es suficiente pero los materiales están contaminados. Generalmente son causadas por bases pobres o capas asfálticas de baja calidad. Una deflexión excesiva advierte que la capacidad estructural del pavimento es débil. Los pavimentos que presentan estas características deben ser reconstruidos en su totalidad.
- 23.** Un PCI bajo indica un pavimento con gran extensión de fallas estructurales, pueden haber o no fallas funcionales que son corregidas al reparar las otras fallas. El espesor del pavimento, los materiales y la

subrasante son adecuados. Es necesario revisar los datos para determinar porque se genera un PCI tan bajo cuando los materiales son de buena calidad. Una de las causas posibles es que hayan circulado cargas superiores a las de diseño o que las deflexiones medidas no reflejen el verdadero comportamiento de la subrasante en cuyo caso la deflexión no se debería considerar para el dimensionamiento de las obras de rehabilitación y sería un caso como el que se describe, a continuación, en el numeral 24. Si la causa es la de una carga excesiva se debe considerar la reconstrucción o la reparación de los sectores deteriorados y la construcción de una capa de refuerzo

- 24.** El pavimento está en mal estado, tiene gran extensión de fallas estructurales que generan un PCI bajo, el espesor del pavimento y los materiales son adecuados, pero tiene mala subrasante que genera una deflexión excesiva. Es necesario revisar los datos y los espesores de cada una de las capas del pavimento, Un pavimento con estas características requiere ser reconstruido para corregir el defecto de la subrasante, y reciclar los materiales
- 25.** El pavimento está en buen estado según la calificación del PCI, tiene pocas fallas estructurales. El espesor es insuficiente y los materiales están contaminados, la deflexión es baja, por lo tanto la subrasante está bien y tiene buena capacidad estructural. Un mantenimiento menor corregirá las fallas presentes pero como los materiales no son adecuados el pavimento fallará de nuevo siendo necesaria una reconstrucción total.
- 26.** El PCI es elevado, el espesor del pavimento no es recomendable, los materiales están contaminados y la subrasante es de baja calidad lo cual lo indica la deflexión elevada. Es un pavimento por el que probablemente no han transitado vehículos muy pesados o vehículos que generen fuertes daños. Se deben corregir los deterioros de las zonas donde se encuentran las fallas mediante un mantenimiento menor.

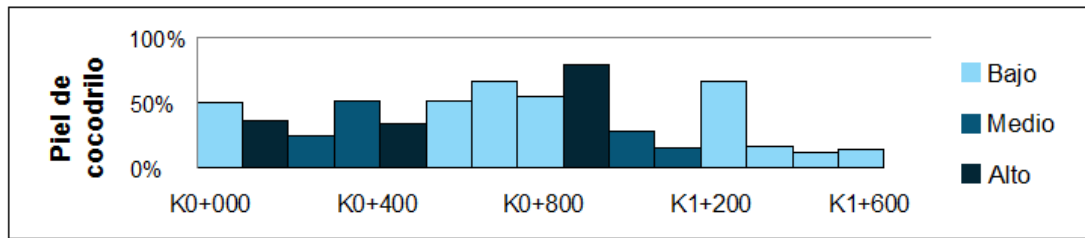
- 27.** El PCI es elevado, hay fallas estructurales en ciertas zonas no extensas. El espesor del pavimento no es el adecuado, pero los materiales y la subrasante cumplen las especificaciones. Probablemente las fallas se den por el espesor del pavimento así que lo ideal sería agregar una capa de refuerzo que aumente la capacidad estructural y de paso corrija las fallas presentes
- 28.** El pavimento tiene pocas fallas estructurales por lo tanto el PCI es elevado. El pavimento es bueno, pero la deflexión baja indica que la subrasante no es suficiente. El pavimento tiene poco espesor pero los materiales cumplen las especificaciones, es un pavimento que aún no ha deteriorado gravemente pero está próximo a fallarse. Un mantenimiento menor corregirá las fallas presentes, pero cuando el pavimento falle será necesario removerlo y reconstruirlo totalmente utilizando técnicas de reciclaje.
- 29.** El pavimento tiene un PCI elevado, pocas fallas estructurales, el espesor del pavimento es suficiente. Los materiales no cumplen las especificaciones pero la subrasante es buena. Un pavimento con materiales pobres tiene gran cantidad de deterioro, es probable que no hayan pasado suficientes vehículos que generen una carga suficientemente grande para generar mayores daños. Sería recomendable retirar los materiales inadecuados y reconstruir el pavimento. Sin embargo una solución a corto plazo es realizar un mantenimiento que corrija los defectos hasta ahora presentes.
- 30.** El pavimento tiene pocas fallas estructurales, ubicadas en sitios críticos, un espesor suficiente, pero los materiales y la subrasante no son las adecuadas. Un pavimento con estas características no ha recibido una carga que cause deterioros mayores, para corregir los defectos en los sitios críticos un mantenimiento menor es suficiente, sin embargo no es un pavimento que está bien diseñado y con el tiempo requerirá una reconstrucción.

- 31.** El pavimento tiene pocas fallas estructurales que generan un PCI mayor que 70, por lo tanto el pavimento está en buen estado. El espesor es suficiente, los materiales cumplen las especificaciones y la deflexión es baja lo cual indica una subrasante en buen estado, basta con un mantenimiento en el lugar donde se encuentran las fallas.
- 32.** El PCI mayor a 70 muestra un pavimento en buen estado, que tiene fallas estructurales en poca cantidad y ubicadas en sitios críticos, las especificaciones de los materiales están bien pero la subrasante no es buena, dando una curva de deflexión excesiva. Es necesario revisar de nuevo los datos, para corregir el problema de las fallas en los sitios críticos un mantenimiento menor sirve para solucionarlos.

3.5.2. Formato de seguimiento. Se propone realizar un formato tipo itinerario en el que se registren gráficamente los factores relevantes del diagrama de flujo. Los cuales son: Tipos de fallas, Índice de condición del pavimento (PCI), Número estructural, Especificaciones de los ensayos y Deflexión. De tal manera que, en el eje horizontal, se registre el punto de referencia inicial y final, así como las abscisas intermedias que den claridad de la ubicación de las fallas analizadas.

El formato está formado por cinco secciones. En la primera se muestran las diferentes fallas presentes en el pavimento, teniendo en cuenta el tipo, la extensión en porcentaje de área abarcada y el nivel de severidad en el cual se usan diferentes colores que van desde el más claro para el nivel de severidad bajo hasta el más oscuro para el nivel de severidad alto. Lo anterior se muestra en la figura 5.

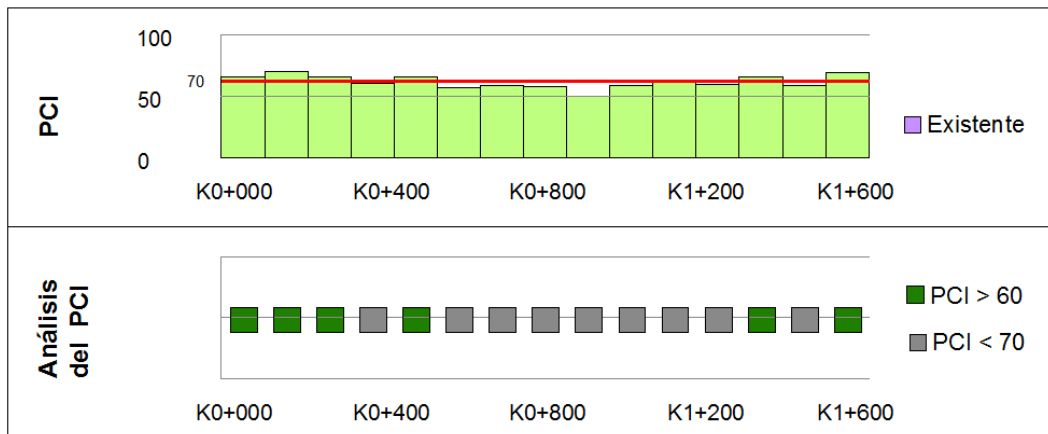
Figura 5. Modelo formato de seguimiento. Fallas presentes.



Fuente: realizado por el autor.

La segunda sección consta de dos partes en las que se muestra el Índice de condición del pavimento evaluado. En la parte inicial se registra el valor obtenido del PCI y en la parte final se analiza dicho valor tal como se requiere en el diagrama de flujo. Se establece un color verde cuando el PCI es bueno y un color gris cuando es menor que 70. Como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Modelo formato de seguimiento. Resultado del PCI y análisis.



Fuente: realizado por el autor.

En las siguientes secciones se registran los demás datos de la misma manera que en el análisis del PCI. Se otorga un color gris cuando el pavimento no cumple en espesores, en especificaciones o cuando la deflexión es excesiva. Y los colores rosa, marrón y naranja para los resultados contrarios.

Al final del documento se adjunta en el Anexo B un ejemplo completo del formato de seguimiento.

3.6. ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN.

Para corregir las fallas existentes en un pavimento y mejorar la capacidad estructural y funcional de una vía se proponen trabajos de restauración en función de: el tipo de falla, índice de condición del pavimento, espesor, especificaciones de ensayos y de la deflexión, los cuales se describen a continuación:

3.6.1. Mantenimiento. Las actividades de mantenimiento son realizadas para proteger y reducir la rata de deterioro, corregir fallas específicas o áreas deterioradas antes de alcanzar un estado crítico. Estas tareas incluyen sellado de grietas, bacheo, sello asfáltico localizado, nivelación localizada, fresado y/o texturación localizada.

Para un alto grado de deterioro puede resultar costoso y poco efectivo, en este caso se recurre a una capa de nivelación.

3.6.2. Capas delgadas. La aplicación de capas delgadas, constituye una manera simple y efectiva de cubrir los deterioros de una vía y restablecer una apariencia uniforme. Son útiles en pavimentos con un PCI bajo, que tengan un espesor adecuado y una deflexión admisible. Algunas de las técnicas utilizadas para adicionar capas delgadas son:

a) Tratamiento superficial

Aplicaciones consecutivas de una emulsión asfáltica de rotura rápida y capas de gravilla de tamaño uniforme. Se usa para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, así como para mejorar las características de fricción.

b) Slurry Seal

Restaura la textura superficial, sella los pavimentos que presentan un estado de oxidación muy avanzado, provee mayor resistencia al deslizamiento y corrige el desprendimiento de partículas.

c) Fog Seal

Suministra una superficie de rodamiento rejuvenecida, mejora el drenaje superficial y las características de fricción, además retarda la desintegración superficial del pavimento.

3.6.3. Capas de refuerzo. Se utiliza para corregir fallas funcionales o estructurales. La capacidad estructural de la capa de refuerzo colocada encima de un pavimento existente debe satisfacer la deficiencia entre la capacidad estructural requerida para soportar el tráfico futuro sobre un periodo de diseño especificado y la capacidad estructural efectiva.

Cuando se consideran daños la capa de refuerzo debe ir acompañada de reparación de daños como, sellado de fisuras, lechadas a presión, fresado, mejoras en subdrenaje, tratamientos superficiales, para asegurar un mejor desempeño.

Se debe considerar el bacheo de las áreas deterioradas antes de colocar la sobrecarpeta. Para las fisuras lineales se debe verificar si son solo superficiales o si afectan todas las capas existentes. En el primer caso es suficiente recurrir al bacheo, mientras en el segundo es conveniente realizar labores de bacheo, parcheo o sello de fisuras.

3.6.4. Reconstrucción. Retiro y remplazo total o parcial de la estructura de pavimento existente, conservando la explanación y el alineamiento de la vía. Se recurre a esta actividad cuando el pavimento ha cumplido su vida útil o los resultados de los ensayos muestran que los materiales están contaminados. Existen deformaciones permanentes que no están atribuidas a desplazamientos de las capas asfálticas, presentan abundantes ojos de pescado y fisuras de fatiga en elevada cantidad y pueden presentarse deformaciones.

Para la reconstrucción completa del pavimento se pueden usar componentes reciclados. El reciclado es la reutilización de materiales que conforman un pavimento existente para corrección de deficiencias superficiales y estructurales mediante procesos especiales que mejoran sus propiedades. Este proceso puede hacerse en obra o transportando el material a una planta.

4. CONCLUSIONES

- En el presente documento se realizó una propuesta metodológica para diseñar trabajos de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras. Es conveniente resaltar que para “diagnosticar” la condición de un pavimento y en consecuencia definir las acciones que conlleven a su mantenimiento y/o rehabilitación, será necesario realizar una recopilación de información relacionada con tránsito (tipo y cantidad) que soporta la vía, espesores y calidad de las capas que conforman la estructura de pavimento, condición de fricción de la capa de rodamiento, tipo(s) de suelo de fundación o sub-rasante, historial de trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación previamente realizados, estructuras de drenaje (tipo, ubicación, condición), aspectos climáticos, topografía, etc.
- Esta propuesta metodológica está enfocada a personas que no tengan gran conocimiento en el diseño de obras de rehabilitación en pavimentos asfálticos pero que por su desempeño laboral requiera desarrollar su experiencia en este campo.

5. RECOMENDACIONES

- Es importante para realizar un análisis completo, incluir en la metodología como se debe recolectar la información del sector vial, como antecedentes, análisis del tráfico, rugosidad del terreno, muestreos, perfil estratigráfico, condición de drenaje, entre otros, con el fin de obtener una información precisa de la evaluación del pavimento y seleccionar la técnica de rehabilitación adecuada a los requerimientos económicos y a los factores no monetarios.
- Para un mejor análisis se debe incluir recolección de información sobre el sitio donde se requiere realizar la obra de mantenimiento, condiciones económicas, materiales disponibles, y demás aspectos que limitan las actividades de rehabilitación.

BIBLIOGRAFIA

AVILA ESQUIVEL, Tania. Manual de auscultación visual de pavimentos MAV-2012. Montes de Oca: Universidad de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). 2012.

CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles. En: PC Pdf. Abril, 2002. Vol. 11. Viña del Mar, Chile: Colección de Documentos.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. INVIAS. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras. Bogotá D.C., 2003.

----- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Bogotá D.C., 2013.

----- / UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá D.C., 2006.

----- / UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA. Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado). Bogotá D.C., 2008.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos. Bogotá, D.C.: Ágora Editores, 2010.

MURILLO FEO. BEJARANO URREGO. Correlation between deflections measurements on flexible pavements obtained under static and dynamic load techniques. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris. [Online], September 2013. Available from Internet: www.geoengineer.org/online-library/pavements/





PADILLA RODRÍGUEZ, Alejandro. Mezclas Asfálticas. Trabajo de Grado. México D.F.: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) Departamento de Ingeniería de la Construcción (EC), 2004.

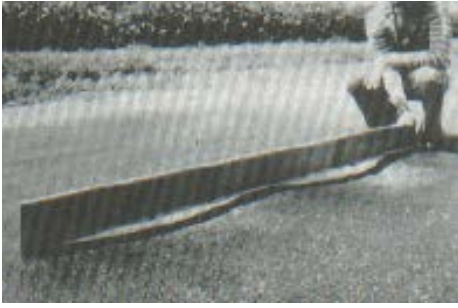



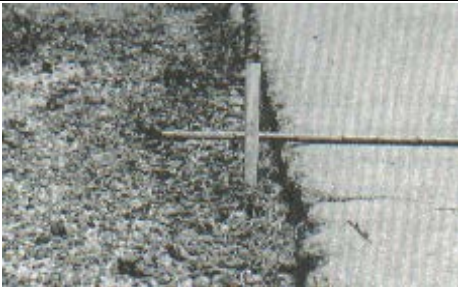
VÁSQUEZ VARELA, Luis. Pavement condition index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2002.


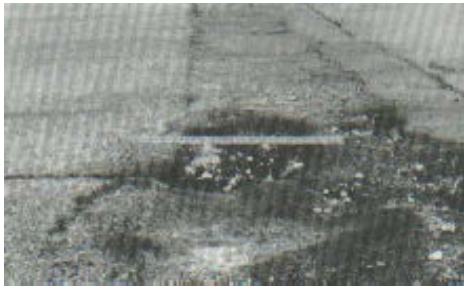
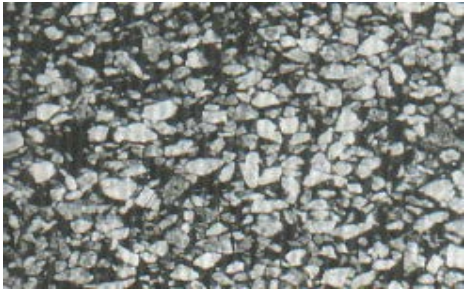


ANEXOS



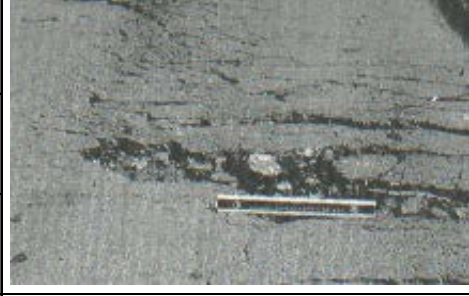


Finalmente se adjunta la tabla resumen con la descripción de los tipos de daños evaluados por la metodología PCI usados para el desarrollo del proyecto y un ejemplo del formato de seguimiento.

ANEXO A. TABLA RESUMEN DE TIPOS DE DAÑOS.

TIPO	DESCRIPCION	NIVEL DE SEVERIDAD	ESQUEMA
Piel de cocodrilo	Serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda.	Bajo: Grietas finas capilares y longitudinales	
		Medio: Presenta grietas ligeramente descascaradas	
		Alto: Grietas bien definidas, con los bordes descascarados	
Exudación	Película de material bituminoso en la superficie del pavimento la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa.	Bajo: Es detectable durante pocos días al año.	
		Medio: Es detectable durante pocas semanas al año.	
		Alto: Es detectable durante varias semanas del año.	
Grietas en bloque	Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares.	Bajo: Bloque con fisuras de abertura menor que 1mm, cerradas o con sello.	
		Medio: Bloques con abertura entre 1mm y 3mm, pueden presentar desportillamiento	
		Alto: Fisuras de abertura mayor que 3mm. Presentan desportillamiento en los bordes	
Abultamientos y Hundimientos	Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.	Bajo: Fisuras menores de 20 mm.	
		Medio: Fisuras entre 20 y 40mm. Presenta desprendimientos	
		Alto: Originan una calidad de tránsito de severidad alta.	

Corrugación	Serie de cimas y depresiones muy proximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la direccion de transito.	Bajo: Profundidad máxima menor que 10mm	
		Medio: Profundidad máxima entre 10mm y 20mm. Genera incomodidad al conductor	
		Alto: Profundidad máxima mayor que 20mm. Causa una vibración excesiva al conductor.	
Depresión	Son areas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente mas bajos que el pavimento a su alrededor.	Bajo: La maxima profundidad esta entre 13.0 y 25.0 mm.	
		Medio: La maxima profundidad esta entre 25.0 y 51.0 mm	
		Alta: Alcanza profundidades mayores a 51.0 mm	
Grietas de borde	Son grietas paralelas que generalmente estan a una distancia entre 0.3 y 0.6 m del borde exterior del pavimento.	Bajo: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentacion o desprendimiento	
		Medio: Grietas medias con algo de fragmentacion y desprendimiento.	
		Alto: Considerable fragmentacion o desprendimiento a lo largo del borde.	
Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto)	Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico.	Bajo: Grieta rellena de cualquier ancho.	
		Medio: Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.	
		Alto: Grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas de pavimento estan fracturadas	
Desnivel Carril/Berma	Es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma; este daño se debe a la erosion de la berma, el asentamiento de la misma, o la colocacion de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.	Bajo: La diferencia de nivel esta entre 25.0 y 51.0 mm	
		Medio: La diferencia de nivel esta entre 51.0 y 102.0 mm	
		Alto: La diferencia de nivel es mayor de 102.0 mm	

Grietas longitudinales y transversales	<p>Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción.</p> <p>Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción.</p>	<p>Bajo: Abertura de fisura menor que 1mm, cerradas o con sello en buen estado</p>	
		<p>Medio: Abertura de la fisura entre 1mm y 3mm, pueden presentarse fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes y</p>	
		<p>Alto: Abertura mayor que 3mm puede presentar deportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta</p>	
Parqueo	<p>Un parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente.</p>	<p>Bajo: El parche esta en buena condición.</p>	
		<p>Medio: El parche esta moderadamente deteriorado.</p>	
		<p>Alto: El parche esta muy deteriorado, requiere pronta sustitución</p>	
Pulimiento de agregados	<p>Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito.</p>	<p>No se define ningún tipo de severidad, sin embargo el grado de pulimento debera ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.</p>	
Huecos	<p>Son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.9 m y con forma de tazón.</p>	<p>Bajo: Diametro entre 102 y 203 mm, y profundidad de 12.7 a 25.4 mm</p>	
		<p>Medio: Diametro entre 203 y 457 mm y profundidad de 25.4 a 50.8 mm</p>	
		<p>Alto: Diametro entre 457 y 762 mm y profundidad mayor a 50.8 mm</p>	
Cruce de via ferrea	<p>Los defectos al cruce de via ferrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.</p>	<p>No se define ningún tipo de severidad, sin embargo el grado de pulimento debera ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.</p>	

Ahuellamiento	El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento.	Bajo: Profundidad media entre 6.0 a 13.0 mm	
		Medio: Profundidad media entre 13.0 a 25.0 mm	
		Alto: Profundidad media mayor a 25.0 mm	
Desplazamiento	Es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas de tránsito.	Bajo: No tiene una consecuencia importante en la calidad de rodaje	
		Medio: Produce incomodidad al rodaje	
		Alto: Produce un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje	
Grietas parabólicas	Son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el desplazamiento o la deformación de la superficie del pavimento.	Bajo: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm	
		Medio: Ancho promedio de la grieta entre 10.0 y 38.0 mm	
		Alto: Ancho promedio de la grieta mayor a 38.0 mm	
Hinchamientos	Se caracteriza por un pando hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial.	Bajo: Profundidad máxima menor que 10mm	
		Medio: Profundidad máxima entre 10mm y 20mm. Genera incomodidad al conductor	
		Alto: Profundidad máxima mayor que 20mm. Causa una vibración excesiva al conductor.	
Meteorización, desprendimiento o de agregados	Son la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado.	Bajo: Ha comenzado a perderse los agregados o el ligante	
		Medio: Se ha perdido los agregados o el ligante	
		Alto: Se ha perdido de forma considerable los agregados o el ligante	

Fuente: PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS. Modificado por el autor.

ANEXO B. EJEMPLO FORMATO DE SEGUIMIENTO.

