



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

**CÁLCULO DEL ÍNDICE DE
CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE EN LA AV. LUIS MONTERO,
DISTRITO DE CASTILLA**

Edgar Daniel Rodríguez Velásquez

Piura, 05 de Octubre de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Octubre 2009



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA



“Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Edgar Daniel Rodríguez Velásquez

Asesor: Mgtr. Ing. Jorge Timaná Rojas

Piura, Octubre 2009

Dedico esta tesis a mis padres
que me han apoyado siempre
y a mis hermanas
a quienes quiero mucho.

Prólogo

La necesidad de mejorar el estado en que se encuentran los pavimentos urbanos en la ciudad de Piura, es una preocupación que afecta a todos los ciudadanos en general. La realidad que se vive es alarmante, pues es imposible tener un viaje seguro y placentero, debido a las innumerables fallas presentes en el pavimento, que lo van deteriorando poco a poco y disminuyendo su serviciabilidad.

La solución más evidente a este problema, sería reparar el pavimento dañado y dejarlo en una condición óptima. Para lograrlo es necesario conocer el estado real en el que se encuentra la pista a reparar, para saber exactamente qué técnica aplicar. Pero el problema no termina ahí. No basta sólo con reparar el daño, sino que es necesario evaluar el comportamiento de la vía después de la reparación y saber cuándo es necesario darle el mantenimiento correspondiente para evitar repararlo nuevamente e incurrir a gastos innecesarios.

Un método de evaluación del comportamiento del pavimento es el “Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos” (ASTM D6433-03) o mejor conocido como “Método PCI” (*Pavement Condition Index*); que por medio de inspecciones visuales determina el estado en que se encuentra una vía, dependiendo del tipo, cantidad y severidad de las fallas presentes.

En esta tesis se hará referencia a la aplicación del método PCI, para pavimento flexible (asfáltico), en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla, provincia de Piura – Piura. Se inspeccionará cada falla existente y siguiendo el procedimiento descrito en el método, se estimará el estado real del pavimento.

Motivado por lo anteriormente expuesto presento la tesis titulada “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla”.

Finalmente deseo expresar un especial agradecimiento a mi asesor Mgtr. Ing. Jorge Timaná Rojas, por su valiosa contribución al desarrollo de esta tesis.

Atentamente:

Edgar Daniel Rodríguez Velásquez
Bachiller en Ingeniería Civil

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo aplicar el método PCI para determinar el Índice de Condición de Pavimento en la Av. Luis Montero. Mil doscientos metros lineales de pista han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía.

La tesis se ha dividido en cinco capítulos. El primero es el marco teórico, donde se define el concepto de pavimento, su clasificación y se explica la problemática que se vive en Piura. El segundo capítulo trata de las fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles.

En el tercero, se explica el procedimiento del método: el muestreo de unidades, el cálculo del PCI, los criterios de inspección, etc. En el capítulo cuatro, se describe la zona de estudio y se detalla el procedimiento de inspección realizado.

En el último capítulo se presentan las hojas de registro, con el respectivo cálculo del índice de condición de pavimento para cada unidad de muestra analizada.

Se concluye que la Av. Luis Montero tiene un pavimento de estado regular, con un PCI ponderado igual a 49. Esta condición del pavimento se debe gracias a las obras de reparación realizadas el año 2008 que han aminorado la formación de fallas estructurales, dañinas para el pavimento.

La mayoría de fallas fueron fallas de tipo funcional, que no afectan al tránsito normal de vehículos, no es necesario disminuir la velocidad libre y no son percibidas por el conductor, pues no causan daños estructurales.

Finalmente, aunque no es objetivo de la tesis, se han recomendado algunas técnicas de reparación, de acuerdo a las fallas detectadas, para restituir la carretera a su estado original.

Índice general

Introducción.....	1
-------------------	---

Capítulo 1: Marco teórico

1.1. Definición de pavimento	3
1.2. Clasificación de pavimentos	4
1.3. Pavimentos urbanos flexibles	7
1.4. Análisis de la problemática en Piura	9

Capítulo 2: Fallas en pavimentos urbanos flexibles

2.1. Piel de cocodrilo	12
2.2. Exudación	13
2.3. Fisuras en bloque	13
2.4. Abultamientos y hundimientos	14
2.5. Corrugación	15
2.6. Depresión.....	16
2.7. Fisuras de borde.....	16
2.8. Fisuras de reflexión de junta.....	17
2.9. Desnivel carril – berma.....	18
2.10. Fisuras longitudinales y transversales	19
2.11. Parches y parches de cortes utilitarios	19
2.12. Agregado pulido	20
2.13. Baches.....	21
2.14. Ahuellamiento	22
2.15. Desplazamientos.....	22
2.16. Fisura parabólica o por deslizamiento	23
2.17. Hinchamiento	24
2.18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados	25

Capítulo 3: Método PCI (*Pavement Condition Index*) para pavimentos flexibles

3.1. Introducción.....	27
------------------------	----

3.2. Objetivos	27
3.3. Terminología	28
3.4. Materiales e instrumentos.....	29
3.5. Muestreo y unidades de muestra	32
3.6. Procedimiento de inspección.....	34
3.7. Cálculo del PCI	35
3.7.1. Determinación del PCI de la unidad de muestra.....	35
3.7.2. Determinación del PCI de la sección	38
3.8. Criterios de inspección	40
3.9. Fallas, niveles de severidad y unidad de medida	40

Capítulo 4: Evaluación de la Av. Luis Montero

4.1. Información preliminar	51
4.1.1. Ubicación	51
4.1.2. Antecedentes	53
4.1.3. Carga de tránsito	54
4.2. Aplicación del método PCI	54
4.2.1. Muestreo y unidades de muestra	54
4.2.2. Procedimiento de inspección.....	58

Capítulo 5: Resultados

5.1. Determinación del índice de estado del pavimento.....	59
5.1.1. Resultado del tramo 1.....	59
5.1.2. Resultados del tramo 2	97
5.2. Interpretación de resultados	98
Conclusiones	105
Bibliografía.....	109
Anexo A: Curvas de valor deducido	111
Anexo B: Fotografías de fallas.....	121
Anexo C: Hojas de registro del tramo 2	135
Anexo D: Plano de unidades de muestra de la Av. Luis Montero	161

Introducción

Uno de los problemas más serios que vivimos en el departamento de Piura, es el pésimo estado en que se encuentran los pavimentos urbanos. Cualquiera que sea el tipo de pavimento; ya sea flexible, rígido o mixto, es frecuente encontrar en ellos fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos que circulan en nuestra ciudad.

No se puede hablar de una causa única del deterioro de las pistas. Las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores: podría ser el resultado de un mal diseño del paquete estructural, de la mala calidad de los materiales, de errores constructivos, de un deficiente sistema de drenaje en caso de precipitaciones, del efecto de solicitaciones externas como carga vehicular y agentes climáticos, entre otros.

Pero el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave.

Lo ideal es detectar y evaluar los daños de los pavimentos con la suficiente anticipación, de manera que las reparaciones resultantes correspondan a trabajos de conservación o reparación menor, y no de reconstrucción. De esta forma, se ahorra dinero y recursos, ya que el costo por reparar un pavimento es mucho más elevado que el costo por mantenimiento.

Para identificar qué técnicas de mantenimiento y reparación son las adecuadas para mejorar la serviciabilidad del pavimento; se debe en primer lugar, evaluar la vía y conocer el estado real en que se encuentra. Para ello, existen varios métodos de evaluación superficial de pavimentos, uno de ellos es el Método PCI (*Pavement Condition Index*), que va a ser estudiado y aplicado en la presente tesis.

El Método PCI consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando clase, severidad y cantidad de fallas encontradas. Con la información de campo obtenida durante la auscultación vial, y siguiendo la metodología indicada en el PCI, se calcula un índice que cuantifica el estado en que se encuentra el pavimento analizado, es decir, señala si el pavimento está fallado, si es malo, muy malo, regular, si es bueno, muy bueno o excelente.

¹American Society for Testing and Materials. (2004). *Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433-03)*. Estados Unidos. 81 pp.

Se hará referencia en esta tesis a la estimación de la condición en que se encuentra el pavimento flexible de la Av. Luis Montero, aplicando la metodología del PCI. Con esta información, podrá definirse el estado real del pavimento, que podrá servir luego para identificar la técnica adecuada para su recuperación y respectivo mantenimiento, temas que no han sido tocados en la tesis, pero que podrían desarrollarse a partir de ella.

Debe entenderse, finalmente, que el tema es mucho más amplio, pues abarca a pavimentos rígidos, sardineles, veredas, equipamientos urbanos para peatones y otros componentes de la infraestructura vial que deben formar parte del programa de reparación y mantenimiento y que merecen ser estudiados a fondo en futuras investigaciones.

Capítulo 1

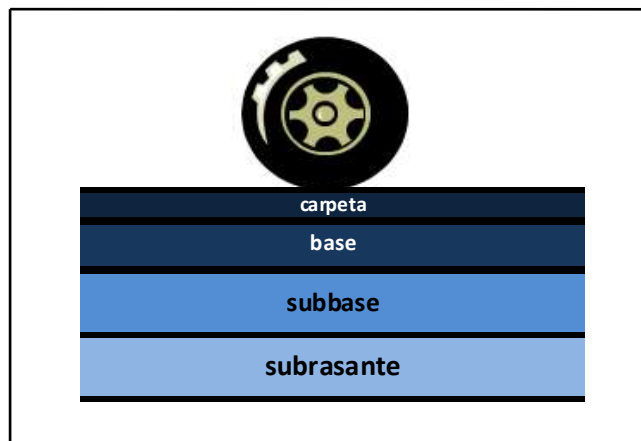
Marco teórico

1.1. Definición de pavimento

De acuerdo a la Norma AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del usuario.

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo. Ver figura 1.1.

Figura 1.1. **Paquete estructural.**



Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas.

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

Otras condiciones necesarias para garantizar el apropiado funcionamiento de un pavimento son el ancho de la vía; el trazo horizontal y vertical definido por el diseño geométrico; y la adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento, aún en condiciones húmedas.

1.2. Clasificación de pavimentos

No siempre un pavimento se compone de las capas señaladas en la figura 1.1. La ausencia o reemplazo de una o varias de esas capas depende de diversos factores, como por ejemplo del soporte de la subrasante, de la clase de material a usarse, de la intensidad de tránsito, entre otros.

Por esta razón, pueden identificarse 3 tipos de pavimentos, que se diferencian principalmente por el paquete estructural que presentan:

- a) Pavimento flexible
- b) Pavimento rígido
- c) Pavimento híbrido

a) Pavimento flexible

También llamado pavimento asfáltico, el pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de subbase, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la subrasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas. Ver figura 1.2.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

b) Pavimento rígido

El pavimento rígido o pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o subbase) y ésta sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores. Ver figura 1.2.

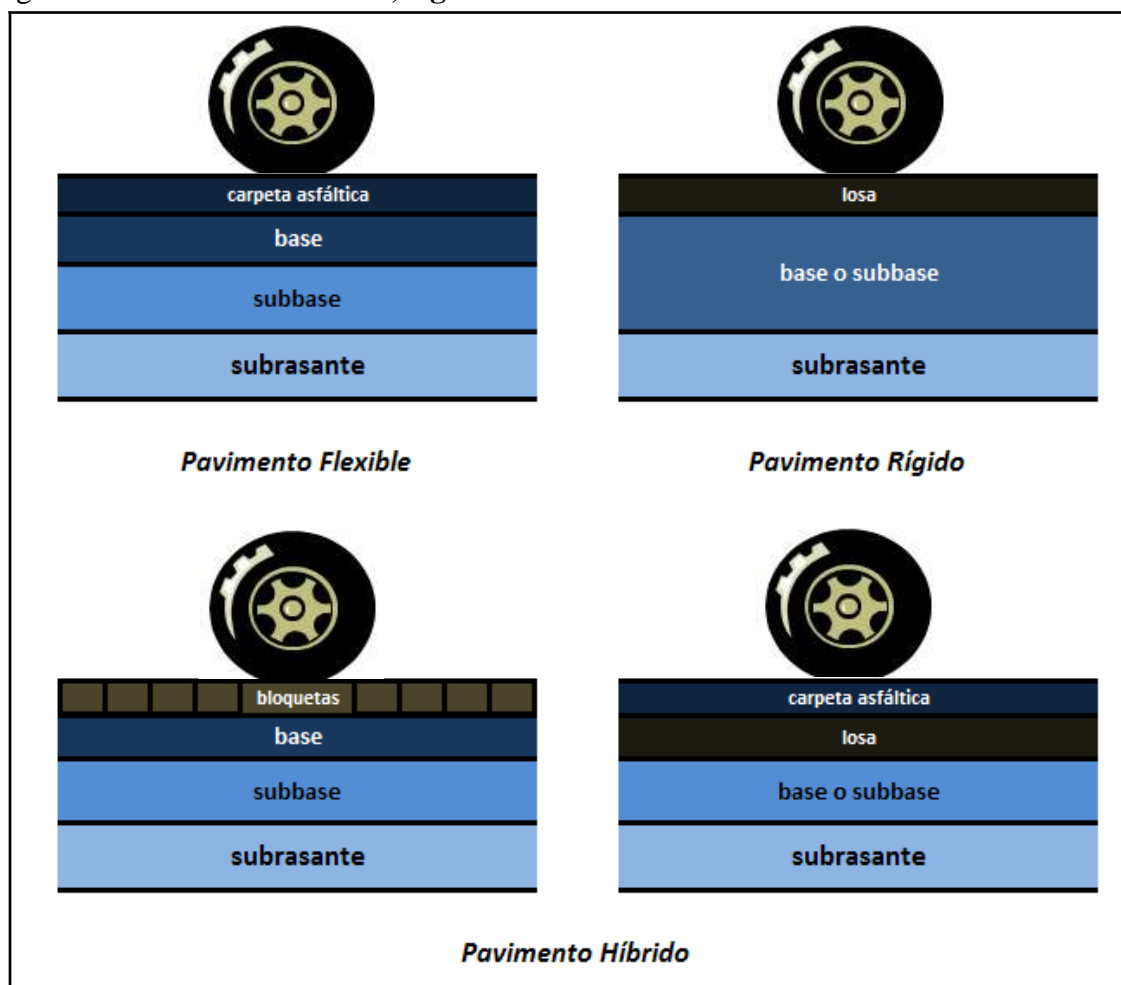
El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

c) Pavimento híbrido

Al pavimento híbrido se le conoce también como pavimento mixto, y es una combinación de flexible y rígido. Por ejemplo, cuando se colocan bloquetas de concreto en lugar de la carpeta asfáltica, se tiene un tipo de pavimento híbrido. Ver figura 1.2. El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que las bloquetas producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas, lo que obliga al conductor a mantener una velocidad máxima de 60 km/h. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios.

Otro ejemplo de pavimento mixto, son aquellos pavimentos de superficie asfáltica construidos sobre pavimento rígido. Ver figura 1.2. Este pavimento, trae consigo un tipo particular de falla, llamada fisura de reflexión de junta, de la que se hablará en el Capítulo 2. Fallas en pavimentos urbanos flexibles.

Figura 1.2. Pavimento flexible, rígido e híbrido.



Esquema de paquete estructural para pavimento flexible, rígido e híbrido.

En la figura 1.3 se visualizan los tres principales tipos de pavimentos descritos anteriormente: pavimento flexible, rígido y mixto.

Figura 1.3. **Pavimento asfáltico, hidráulico y mixto.**



Pavimento flexible o asfáltico.



Pavimento rígido o hidráulico.



Pavimento híbrido o mixto.

Clasificación de pavimentos: flexibles, rígidos e híbridos.

1.3. Pavimentos urbanos flexibles

El trabajo de la presente tesis está referido a pavimentos urbanos flexibles, por lo que se explicará a detalle las capas que lo constituyen y su comportamiento frente a solicitaciones externas.

Como se vio en el punto 1.2. Clasificación de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. A continuación se explica a detalle cada uno de estos elementos.

Carpeta Asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.

Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm.).

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance.

Base

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural.

Subbase

La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica.

Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento.

Subrasante

La subrasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

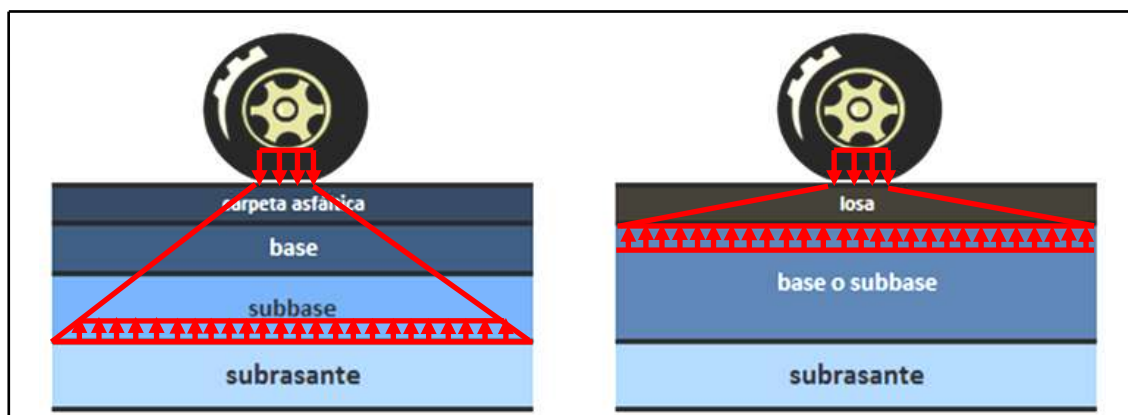
El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas. Ver figura 1.4.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca a la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables.

En los pavimentos rígidos, las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. En cambio, los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante.

Figura 1.4. Comportamiento del pavimento frente a cargas de tránsito.



Distribución de la carga en pavimentos flexibles (izquierda) y rígidos (derecha).

1.4. Análisis de la problemática en Piura

El mal estado en que se encuentran las vías en la ciudad de Piura, es un serio problema que afecta a todo el departamento. La mayor parte de las calles de Piura y Castilla no tienen pavimento y las que lo tuvieron, lo han perdido. Las pistas están en pésimas condiciones y los vehículos se deterioran con más frecuencia debido a la gran cantidad de baches existentes.

Una de las razones por las que el pavimento se deteriora, es por deficiencias en el sistema de alcantarillado. Muy a menudo se ve que los desagües revientan y para arreglar las tuberías, no queda otra opción que romper el pavimento. Algunas veces las calles se reparan, pero quedando con menor calidad que el pavimento inicial y propensas a fallar nuevamente. Otras veces, ni siquiera se reponen el pavimento.

Al no tener un plan de mantenimiento, la condición de las pistas se agrava. Esto origina que los mismos ciudadanos, cansados de esperar alguna solución, realicen la “reparación” de sus calles rellenando las fallas (baches, por ejemplo) con cualquier material que encuentran a la mano, con tal de permitir la circulación normal de los vehículos.

También, un mal estado del pavimento, puede ser el principal causante de accidentes de tránsito. Por ejemplo, las pistas de doble sentido se reducen sólo a uno, pues los vehículos circulan por el carril que se encuentra libre de fallas. Esto ocasiona desorden y tarde o temprano, algún tipo de accidente.

Los intentos por mejorar la condición de los pavimentos han sido insuficientes a pesar que se han realizado algunos trabajos de reparación de baches, de colocación de bloquetas de concreto, entre otras. No basta con intervenir cuando la pista se vuelve intransitable, sino que se tiene que evaluar el comportamiento de las pistas, para saber el momento oportuno en darle mantenimiento, y no tener que llegar a una reparación que necesariamente acarrea un costo mayor.

Capítulo 2

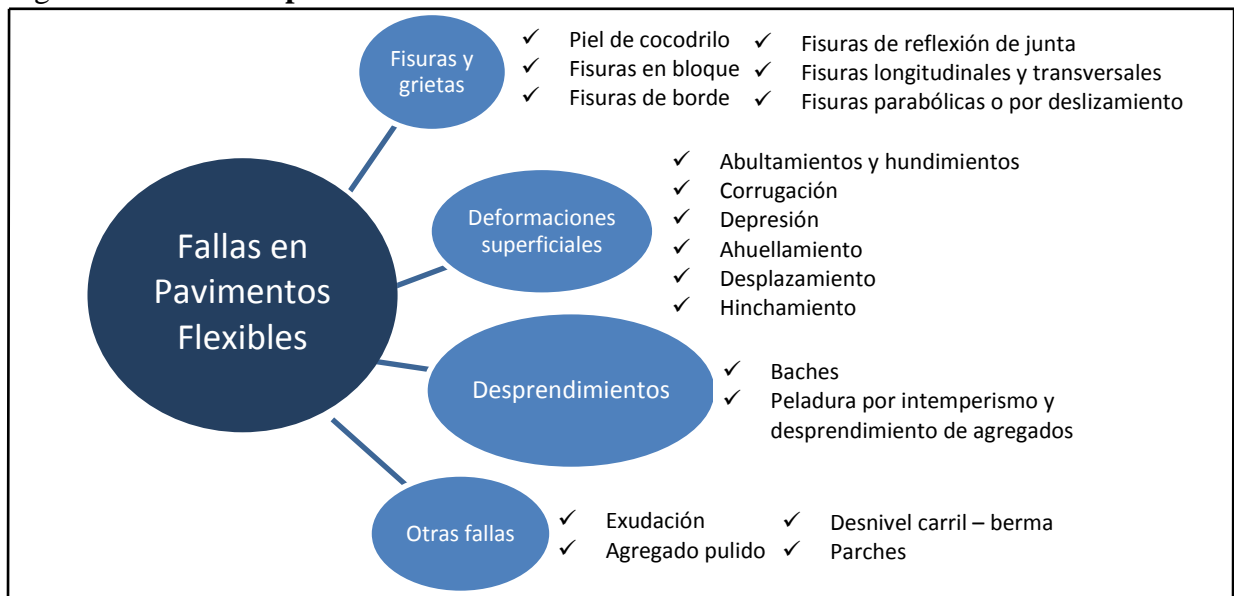
Fallas en pavimentos urbanos flexibles

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

Existen dos tipos de fallas: estructurales y funcionales. Las primeras, son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas. Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario.

Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías: 1) Fisuras y grietas; 2) Deformaciones superficiales; 3) Desprendimientos o desprendimientos; 4) Afloramientos y otras fallas. Ver figura 2.1.

Figura 2.1. Fallas en pavimentos flexibles.



Resumen de fallas en pavimentos flexibles.

A continuación se explican 18 de las fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles, y que están también consideradas dentro del método PCI.

2.1. Piel de cocodrilo

La piel de cocodrilo es un conjunto de fisuras interconectadas que forman polígonos irregulares, de hasta 0.5 m de longitud en el lado más largo. El patrón es parecido a la piel de un cocodrilo, de ahí el nombre de esta falla.

También llamada agrietamiento por fatiga, la piel de cocodrilo se produce en áreas sujetas a repeticiones de carga de tráfico, tales como las huellas de las llantas de los vehículos.

El agrietamiento se origina en el fondo del paquete asfáltico, en la base, donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son elevados. De ahí, las grietas se propagan hacia la superficie como una serie de fisuras longitudinales paralelas, que luego se conectan formando varias piezas.

Otra causa que contribuye a que se produzca este tipo de falla, es el envejecimiento del ligante asfáltico, que trae consigo la pérdida de flexibilidad del pavimento.

La piel de cocodrilo indica la pérdida de la capacidad estructural del pavimento, pues disminuye su capacidad de resistencia frente a sollicitaciones externas. Es por ello que sin el mantenimiento adecuado, el comportamiento del pavimento podría empeorar y podría pasar de una fisura a un desprendimiento (como por ejemplo, un bache), dañando significativamente la superficie de la vía. Ver figura 2.2.

Figura 2.2. **Piel de cocodrilo.**



Falla tipo piel de cocodrilo: las fisuras se conectan unas con otras formando polígonos irregulares.

2.2. Exudación

La exudación es una película de material bituminoso que se extiende sobre una determinada área del pavimento, creando una superficie brillante, resbaladiza y reflectante que generalmente llega a ser pegajosa (durante tiempo cálido).

Esta falla puede ser causada por diversos factores, como: el exceso de ligante asfáltico en la dosificación (mezcla), el uso de un ligante asfáltico muy blando, la aplicación excesiva de un sello bituminoso, un deficiente porcentaje de vacíos, etc.

La exudación ocurre durante tiempo cálido, cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla y luego se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie. Ver figura 2.3.

Figura 2.3. Exudación.



La exudación se evidencia a través de una película de asfalto que se extienden sobre la superficie de la pista.

2.3. Fisuras en bloque

Las fisuras en bloque son grietas interconectadas que forman piezas rectangulares de tamaño variable, desde aproximadamente 0.30 x 0.30 m hasta 3.00 x 3.00 m.

Este tipo de falla puede ocurrir sobre porciones largas del área del pavimento o sobre aquellas áreas donde no hay tráfico; es por ello que las fisuras en bloque no están asociadas a sollicitaciones externas de carga vehicular.

Las grietas en bloque son causadas principalmente por la contracción del concreto asfáltico y por la variación de temperatura, que origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria. Esta falla indica que el asfalto se ha endurecido significativamente. Ver figura 2.4.

Figura 2.4. **Fisuras en bloque.**



En la figura se aprecian grietas interconectadas que forman bloques rectangulares de dimensiones variables.

2.4. Abultamientos y hundimientos

Los abultamientos y hundimientos son desplazamientos pequeños, bruscos, hacia arriba y hacia abajo de la superficie del pavimento, que distorsionan el perfil de la carretera.

No son causados por inestabilidad del pavimento, sino que pueden ser producto de varios factores, tales como:

- Levantamiento de las losas de concreto de un pavimento rígido que ha sido cubierto con una carpeta asfáltica.
- Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo, es decir, suelo congelado).
- Infiltración y acumulación de material en una fisura en combinación con cargas de tráfico.
- Expansión del suelo de fundación.
- Deficiencias en el drenaje del paquete estructural del pavimento.

Si los abultamientos aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tráfico y se encuentran separados unos de otros a menos de 3.00 m, la falla es denominada corrugación. En cambio, si aparecen sobre grandes áreas de la superficie del pavimento, causando grandes y largas depresiones, la falla se llama hinchamiento. Ver figura 2.5.

Figura 2.5. **Abultamientos y hundimientos.**



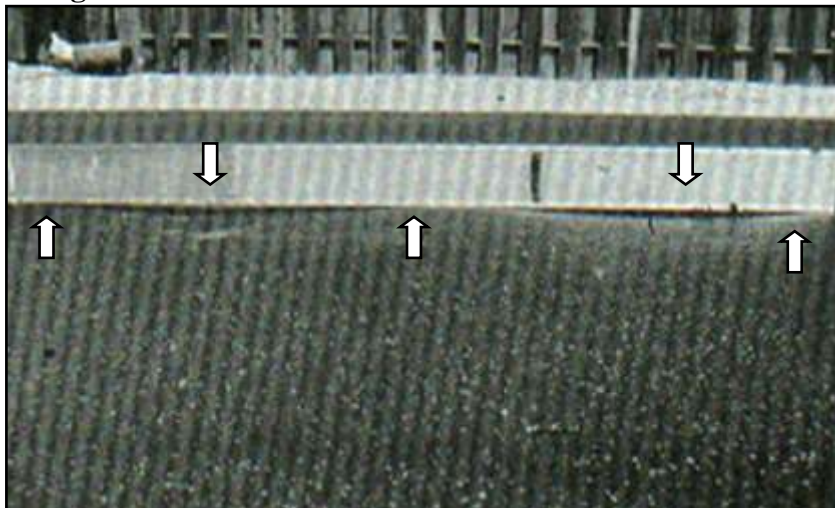
Se señala el desplazamiento hacia arriba de la superficie del pavimento.

2.5. **Corrugación**

La corrugación es una serie de ondulaciones constituidas por cimas y depresiones muy cercanas entre sí y espaciadas a intervalos bastante regulares (generalmente menores a 3.00 m) a lo largo del pavimento. Las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito.

Este tipo de falla es causada por la acción del tránsito vehicular combinada con la inestabilidad de las capas superficiales o de la base del pavimento. Ver figura 2.6.

Figura 2.6. **Corrugación.**



Se indican las cimas y depresiones que deforman al pavimento.

2.6. Depresión

Las depresiones son áreas localizadas en la superficie del pavimento que poseen niveles de elevación ligeramente menores a aquellos que se encuentran a su alrededor.

Las depresiones son visibles cuando el agua se empoza dentro de ellas después de la caída de lluvia, o, a través de las manchas causadas por el agua empozada, en caso de superficies secas.

Son producidas por asentamientos de la subrasante o debido a procedimientos constructivos defectuosos.

Pueden causar alguna rugosidad en la superficie de la pista, y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua, pueden causar hidropneumático (los neumáticos de un vehículo pierden contacto con el pavimento a causa de una película de agua, eliminando así la adherencia de las ruedas con la superficie de rodadura). Ver figura 2.7.

Figura 2.7. Depresión.



El nivel del pavimento indicado, es menor al nivel del resto de la pista. Se aprecia un asentamiento considerable en la vía.

2.7. Fisuras de borde

Las fisuras de borde son grietas paralelas al borde externo del pavimento, que se encuentran a una distancia de 0.30 a 0.50 m de éste. Ver figura 2.8.

Ese tipo de falla se incrementa por la carga de tránsito y se origina debido al debilitamiento de la base o de la subrasante en áreas muy próximas al borde del pavimento, a causa de condiciones climáticas o por efecto abrasivo de arena suelta en el borde, que provoca peladuras que conducen a la desintegración.

Si el área entre la fisura y el borde del pavimento se encuentra agrietada, entonces pueden producirse desprendimientos, llegando al punto en que los fragmentos pueden removerse.

Figura 2.8. **Fisuras de borde.**



Se aprecia que la grieta de borde que ha dañado severamente el borde de la vía.

2.8. Fisuras de reflexión de junta (de losas de concreto Longitudinales o transversales)

Las fisuras de reflexión de junta ocurren solamente en pavimentos mixtos: pavimentos de superficie asfáltica (flexible) construidos sobre una losa de concreto (rígido). No se consideran fisuras de reflexión de otros tipos de base como bases estabilizadas con cemento o cal.

Estas grietas son causadas por el movimiento de la losa de concreto, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de pavimento flexible. No están relacionadas a efectos de carga; sin embargo, las cargas de tráfico pueden causar la rotura de la superficie de concreto asfáltico cerca a las fisuras.

El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico, ayuda a identificar estas fallas. Ver figura 2.9.

Figura 2.9. Fisura de reflexión de junta.



Fisura de reflexión de junta de losas de concreto: se observa una fisura transversal que atraviesa todo el ancho del carril.

2.9. Desnivel carril – berma

El desnivel carril-berma es la diferencia de elevación (niveles) entre el borde del pavimento y la berma.

Esta falla es causada por la erosión de la berma; el asentamiento de la berma; o por la colocación de nuevas capas (sobrecarpetas) en la pista, sin el debido ajuste del nivel de la berma. Ver figura 2.10.

Figura 2.10. Desnivel carril – berma.



Se muestra el desnivel existente entre la berma y el carril de la pista.

2.10. Fisuras longitudinales y transversales

Las fisuras longitudinales son grietas paralelas al eje de la vía o a la línea direccional en la que fue construida. Las grietas transversales, en cambio, son perpendiculares al eje del pavimento o a la dirección de construcción. Ver figura 2.11.

Estos daños no están asociados con la carga vehicular, pueden ser causados por:

- Juntas de construcción pobremente construidas, o ausencia de ellas.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas, al endurecimiento del asfalto o a la variación diaria de temperatura.
- Fisuras de reflexión causadas por agrietamientos bajo la capa superficial, incluyendo grietas en losas de concreto, pero no juntas de pavimento rígido.
- Uso de ligantes (asfaltos) muy duros o envejecidos.
- Gradiente térmico superior a los 30° C que produce ciclos de expansión - contracción de la mezcla asfáltica.

Figura 2.11. **Fisuras longitudinales y transversales**



Se señala el punto de inicio y término de la grieta longitudinal.

2.11. Parches y parches de cortes utilitarios

Un parche es un área del pavimento, que por encontrarse en mal estado, ha sido reemplazada con material nuevo con el fin de reparar el pavimento existente. Los parches de cortes utilitarios hacen referencia a aquellos parches colocados cuando se efectúan cortes para la reparación de tuberías de agua o desagüe, instalación del cableado eléctrico, teléfonos, entre otros trabajos similares.

Los parches disminuyen el nivel de servicio de la vía, pues el comportamiento del área parchada es inferior a la del pavimento original, incluso el área adyacente al parche no se comporta tan bien como la sección original de pavimento. Ver figura 2.12 y 2.13.

Figura 2.12. **Parche.**



El área del pavimento es reemplazada por bloquetas de concreto.

Figura 2.13. **Parche de cortes utilitarios.**



Los buzones del sistema de alcantarillado, son considerados como parches de cortes utilitarios.

2.12. Agregado pulido

El agregado pulido es la pérdida de resistencia al deslizamiento del pavimento, que ocurre cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto. Ver figura 2.14.

Esta falla es causada por:

- Repeticiones de cargas de tránsito.
- Insuficiente porción de agregado extendida sobre el asfalto.
- Inexistente aspereza o textura del pavimento, que no contribuye a la reducción de la velocidad de los vehículos.
- Falta de partículas de agregado angular que proporcionen una buena adherencia del pavimento con las llantas de los vehículos.

Figura 2.14. **Agregado pulido.**



Agregado pulido: los agregados de la superficie, se vuelven suaves al tacto.

2.13. Baches

Los baches son pequeños hoyos (depresiones) en la superficie del pavimento de diámetro menor a 750 mm. Presentan bordes agudos y lados verticales cerca de la zona superior de la falla. Ver figura 2.15.

Los baches pueden ser ocasionados por un conjunto de factores:

- Fisuramiento tipo piel de cocodrilo de alta severidad, que causa fatiga y origina la desintegración de la superficie de rodadura.
- Defectos constructivos.
- Subdrenaje inadecuado.
- Mal diseño del paquete estructural.

Figura 2.15. **Baches.**



Bache encontrado en medio de la pista.

2.14. Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión longitudinal continua a lo largo de la trayectoria del vehículo, que trae como consecuencia la deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o subrasante. Ver figura 2.16.

Esta falla puede ser causada por una pobre compactación del paquete estructural, lo que origina inestabilidad en las capas (bases, subbases) permitiendo el movimiento lateral de los materiales debido a las cargas de tráfico. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Otras causas son:

- Mezcla asfáltica inestable.
- Exceso de ligante en riegos.
- Mal diseño del paquete estructural: espesores deficientes.
- Mala calidad de materiales o deficiente control de calidad.

Figura 2.16. Ahuellamiento.



Las flechas señalan la trayectoria dejada por los vehículos.

2.15. Desplazamientos

Los desplazamientos son distorsiones de la superficie originados por desplazamientos de mezcla. Son corrimientos longitudinales y permanentes de un área localizada del pavimento formando una especie de “cordones” laterales. Ver figura 2.17.

Estas fallas son producidas por acción de la carga de tráfico, que empuja contra el pavimento produciendo una onda corta y brusca en la superficie del mismo. Este tipo de falla normalmente ocurre sólo en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (emulsiones).

También ocurren desplazamientos cuando los pavimentos asfálticos colindan con pavimentos rígidos. Las losas de concreto al aumentar su longitud, empujan al pavimento flexible produciéndose el desplazamiento.

Otras causas son:

- Exceso de asfalto o de vacíos constituyendo mezclas inestables.
- Falta de confinamiento lateral.
- Adherencia inadecuada por defectos en el riego de liga o de imprimación.

Figura 2.17. **Desplazamiento.**



El corrimiento es originado por el aumento de longitud de las losas de concreto.

2.16. Fisura parabólica o por deslizamiento

Las fisuras parabólicas ó por deslizamiento son grietas en forma de media luna, que se presentan de manera transversal a la dirección del tránsito.

Estas fallas ocurren generalmente en mezclas asfálticas de baja estabilidad o en capas superpuestas, cuando existe una adherencia pobre (liga pobre) entre la capa superficial y la capa subyacente de la estructura del pavimento.

Las fisuras parabólicas pueden ser causadas por los siguientes factores:

- Frenado de las ruedas de los vehículos o giro debido a un cambio de dirección, originando el deslizamiento y deformación de la superficie del pavimento.
- Deficiente adherencia en capas superpuestas o presencia de polvo.

- Exceso de ligante o falta de riego de liga.
- Alto contenido de arena fina en la mezcla.

Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica del suelo de fundación. Ver figura 2.18.

Figura 2.18. **Fisura parabólica.**



Se señala la forma de media luna de la grieta.

2.17. Hinchamiento

El hinchamiento es el abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, en forma de una onda larga y gradual de longitud mayor a 3.00 m, que distorsiona el perfil de la carretera. Ver figura 2.19.

La causa principal de este tipo de falla es la expansión del suelo de fundación (suelos expansivos) y el congelamiento del material de la subrasante.

El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial.

Figura 2.19. **Hinchamiento.**



La superficie del pavimento sufre un levantamiento, deformando el perfil de la vía.

2.18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

La peladura por intemperismo es la desintegración superficial del pavimento por pérdida de ligante asfáltico; mientras que el desprendimiento del agregado pétreo, hace referencia a partículas de agregado sueltas o removidas. Ver figura 2.20.

Ambas fallas indican que el ligante asfáltico ha sufrido un endurecimiento considerable o que la mezcla es de pobre calidad.

Las principales causas de este tipo de fallas son:

- Cargas de tráfico especiales como es el caso de vehículos de orugas.
- Ablandamiento de la superficie y pérdida de agregados debido al derramamiento de aceite de vehículos.
- Mezcla de baja calidad con ligante insuficiente.
- Uso de agregados sucios o muy absorbentes.
- Falla de adherencia agregado - asfalto debido al efecto de agentes externos.

Figura 2.20. **Peladura.**



Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados.

Capítulo 3

Método PCI (*Pavement Condition Index*) para pavimentos flexibles¹

3.1. Introducción

El método PCI (*Pavement Condition Index*) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta.

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (*American Public Work Association*) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

3.2. Objetivos

Los objetivos que se esperan con la aplicación del Método PCI son los siguientes:

- Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permitan calcular directamente esta integridad).

Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar solicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.

- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio.

3.3. Terminología

A continuación se definen los principales términos utilizados en el método, que son de vital importancia para la comprensión y correcta aplicación del mismo.

Red de pavimento. Es el conjunto de pavimentos a ser administrados, es una sola entidad y tiene una función específica. Por ejemplo, un aeropuerto o una avenida, es una red de pavimento.

Tramo de pavimento. Un tramo es una parte identificable de la red de pavimento. Por ejemplo, cada camino o estacionamiento es un tramo separado.

Sección de pavimento. Es un área de pavimento contigua de construcción, mantenimiento, historial de uso y condición uniformes. Una sección debe tener el mismo volumen de tráfico e intensidad de carga.

Unidad de muestra del pavimento. Es una subdivisión de una sección de pavimento que tiene un tamaño estándar que varía de $225 \pm 90 \text{ m}^2$, si el pavimento no es exactamente divisible entre 2500 o para acomodar condiciones de campo específicas.

Muestra al azar. Unidad de muestra de la sección de pavimento, seleccionada para la inspección mediante técnicas de muestreo aleatorio.

Muestra adicional. Es una unidad de muestra inspeccionada adicionalmente a las unidades de muestra seleccionadas al azar con el fin de incluir unidades de muestra no representativas en la determinación de la condición del pavimento.

Deben ser consideradas como muestras adicionales aquellas muestras muy pobres o excelentes que no son típicas en la sección ni entre las unidades de muestra, que contienen deterioros poco comunes tales como cortes utilitarios (ejemplo: corte para instalación de tuberías de agua o desagüe, electricidad, teléfonos, etc.).

Si una unidad de muestra que contiene una falla poco común es escogida al azar como unidad de muestra, ésta deberá ser considerada como unidad de muestra adicional y otra unidad de muestra al azar deberá ser escogida. Si todas las unidades de muestra son inspeccionadas, entonces no habrá unidades de muestra adicionales.

Índice de condición del pavimento (PCI). Es un grado numérico de la condición del pavimento. Varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. Cada rango del PCI tiene su correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Grado de la condición del pavimento. Es una descripción cualitativa de la condición del pavimento, como una función del valor de PCI que varía entre “fallado” hasta “excelente”, como se aprecia en la figura 3.1.

Figura 3.1. Índice PCI.

100	EXCELENTE
85	MUY BUENO
70	BUENO
55	REGULAR
40	MALO
25	MUY MALO
10	FALLADO
0	

Índice de Condición del Pavimento (PCI) y Escala de Graduación.

Fallas del pavimento. Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por las cargas de tráfico, factores ambientales, deficiencias constructivas, o una combinación de estas causas.

3.4. Materiales e instrumentos

Hoja de datos de campo. Documento donde se registrará toda la información obtenida durante la inspección visual: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y nombres del personal encargado de la inspección. En la tabla 3.1 se aprecia un modelo utilizado como hoja de registro.

Odómetro Manual. Instrumento utilizado para medir distancias en calles, carreteras, caminos, etc. Ver figura 3.2.

Regla o Cordel. Para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio.

Conos de seguridad vial. Para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para los inspectores que tienen que caminar sobre el pavimento.

Plano de Distribución. Plano donde se esquematiza la red de pavimento que será evaluada.

Figura 3.2. **Odómetro.**



Odómetro manual.

3.5. Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

1. Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.
2. Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
3. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
4. Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.
5. Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.

5.1. Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.

5.2. El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95% de confiabilidad), es calculado empleando la Ec. 1 y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right) N - 1 + s^2} \dots \text{(Ec. 1)}$$

Donde:

e = error admisible en el cálculo del PCI de la sección, comúnmente, e=+/- 5 puntos del PCI.

s = desviación estándar del PCI de una muestra a otra en la misma sección. Al realizar la inspección se asume que la desviación estándar es 10. Esta suposición debe ser comprobada de la forma como se describe a continuación después de haber determinado los valores del PCI. Para subsiguientes inspecciones, la desviación estándar de la inspección precedente debe ser utilizada para determinar el valor de “n”.

N = número total de unidades de muestra en la sección.

5.2.1. Si obtener el 95% de confiabilidad es crítico, la conveniencia del número de unidades inspeccionadas debe ser verificada. El número de unidades de muestra fue estimado en base a un valor de desviación estándar asumido. Calcular el valor actual de la desviación (es) estándar de la siguiente manera (ver Ec.2):

$$S = \left(\sum_{i=1}^n \frac{PCI_i - PCI_s}{n-1} \right)^{1/2} \dots \text{(Ec. 2)}$$

Donde:

PCI_i = valor PCI de las unidades de muestra inspeccionadas i.

PCI_s = valor PCI de la sección.

n = número total de unidades de muestra inspeccionadas.

5.2.2. Calcular el número revisado mínimo de unidades de muestra (Ec.1) a ser inspeccionadas utilizando la desviación estándar calculada (Ec.2). Si el número de unidades de muestra revisado a ser inspeccionadas es mayor que el número de muestras ya inspeccionadas, seleccionar e inspeccionar unidades de muestra adicionales al azar. Estas unidades de muestra deben ser espaciadas uniformemente a través de la sección. Repetir este proceso de chequeo del número de unidades de muestra revisado, e inspeccionar las unidades de muestra adicionales al azar hasta que el número total de unidades de muestra inspeccionadas sea igual o mayor al

número mínimo requerido de unidades de muestra “n” obtenido de la Ec.1, usando la desviación estándar total de muestras real.

5.3. Una vez que el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas esté definido, calcular el intervalo de espaciamiento de las unidades utilizando el muestreo sistemático al azar. Las muestras deben ser igualmente espaciadas a través de toda la sección seleccionando la primera muestra al azar. El intervalo del espaciamiento “i” de las unidades a ser muestreadas debe ser calculado mediante la siguiente fórmula (Ec. 3) redondeando el resultado al próximo número entero menor:

$$i = N/n \dots \text{(Ec. 3)}$$

Donde:

N = número total de unidades de muestra en la sección.

n = número de unidades de muestra a ser inspeccionadas.

La primera unidad de muestra a ser inspeccionada es seleccionada al azar entre las unidades de muestra 1 hasta “i”. Las unidades de muestra en la sección que son incrementos sucesivos del intervalo “i” después de la primera unidad seleccionada al azar también son inspeccionadas.

6. Las unidades de muestra adicionales deben ser inspeccionadas sólo cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario.

3.6. Procedimiento de inspección

1. Inspeccionar individualmente cada unidad de muestra seleccionada.
2. Registrar el tramo y número de sección así como el número y tipo de unidad de muestra (al azar o adicional).
3. Registrar el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual.
4. Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información obtenida. Los tipos de fallas y el grado de severidad se encuentran descritos en el punto 3.9.
5. El método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla.
6. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

3.7. Cálculo del PCI

3.7.1. Determinación del PCI de la unidad de muestra

1. Sumar la cantidad total de cada tipo de falla para cada nivel de severidad, y registrar esta información en la columna “Total de Severidades”. Por ejemplo, en la tabla 3.2 se muestra que la falla piel de cocodrilo tiene 1.2m² de pavimento de severidad baja y 1.29m² de severidad media. Las unidades para las cantidades deben ser en metro cuadrado, metro lineal, o número de ocurrencia, dependiendo del tipo de falla.

2. Dividir la cantidad total de cada tipo de falla en cada nivel de severidad (columna total de severidades) entre el área total de la unidad de muestra y multiplicar el resultado por 100 para obtener la densidad porcentual, como se aprecia en la tabla 3.2.

3. Determinar el valor deducido (DV) para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad utilizando las curvas de valor deducido de fallas que se encuentran en el anexo A.

4. Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV), mediante los siguientes pasos:

4.1. Si ninguno o solamente un valor deducido individual es mayor que dos. El valor total es usado en lugar del máximo CDV para determinar el PCI; de otro modo, el máximo CDV debe ser determinado usando el procedimiento descrito en 4.2. – 4.5.

4.2. Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente. Por ejemplo, en la tabla 3.2 esta lista será 25.1, 23.4, 17.9, 11.2, 7.9, 7.5, 6.9, y 5.3.

4.3. Determinar el número de deducciones permisibles, “m”, del gráfico 3.1., o empleando la siguiente fórmula (ver Ec. 4):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98} \right) \left[100 - HDV \right] \leq 10 \quad \dots \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

m = número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a diez).

HDV = el mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

(Por ejemplo en la tabla 3.2., $m = 1 + (9/98) (100-25.1) = 7.9$).

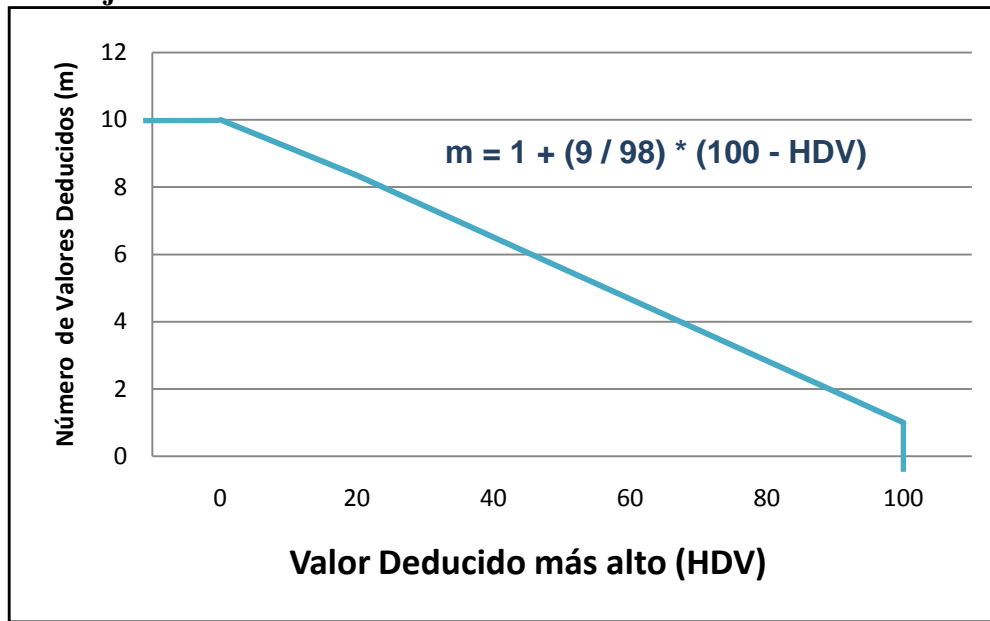
4.4. El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos “m”, incluyendo su parte fraccionaria. Por ejemplo en la tabla 3.3., los valores son 25.1, 23.4, 17.9, 11.2, 7.9, 7.5, 6.9, y 4.8 (el valor 4.8 es obtenido multiplicando 5.3 por 0.9). Si contamos con un número de valores deducidos menor a “m”, todos los valores deducidos deben ser usados.

Tabla 3.2. Ejemplo de hoja de registro en una vía de pavimento flexible

METODO PCI						ESQUEMA				
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE										
HOJA DE REGISTRO										
Nombre de la vía: _____		Av. Luis Montero		Sección: _____		1		Unidad de muestra: _____		U1
Ejecutor: _____		Edgar Daniel Rodríguez Velásquez		Fecha: _____		14/01/2009		Área: _____		230.9
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión		11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabolica o por deslizamiento				
2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento				
3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados				
4. Abultamientos y hundimientos		9. Desnivel carril-berma		14. Ahuellamiento						
5. Corrugación		10. Fisuras longitudinales y transversales		15. Desplazamiento						
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO		
1L	0.25	0.55	0.4			1.2	0.52	7.9		
1M	0.72	0.57				1.29	0.56	23.4		
7L	5	6	1			12	5.20	7.5		
8M	4	3	2.5	1	2.7	13.2	5.72	25.1		
11H	1	1.03				2.03	0.88	17.9		
13L	0.09					0.09	0.04	11.2		
14L	1.04	0.9				1.94	0.84	6.9		
18L	23.1					23.1	10.00	5.3		

Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Gráfico 3.1. Ajuste del número de valores deducidos “m”.



Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Tabla 3.3. Cálculo del PCI en un pavimento flexible.

$$m = 1 + (9 / 98) * (100 - 25.1) = 7.9 < 8.0$$

$$7.9 - 7.0 = 0.9 \quad 0.9 \times 5.3 = 4.8$$

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	6.9	4.8	104.7	8	51
2	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	6.9	2	101.9	7	50
3	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	2	2	97	6	46
4	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	2	2	2	91.5	5	47
5	25.1	23.4	17.9	11.2	2	2	2	2	85.6	4	48
6	25.1	23.4	17.9	2	2	2	2	2	76.4	3	48
7	25.1	23.4	2	2	2	2	2	2	60.5	2	49
8	25.1	2	2	2	2	2	2	2	39.1	1	38
9											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 51 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 49 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

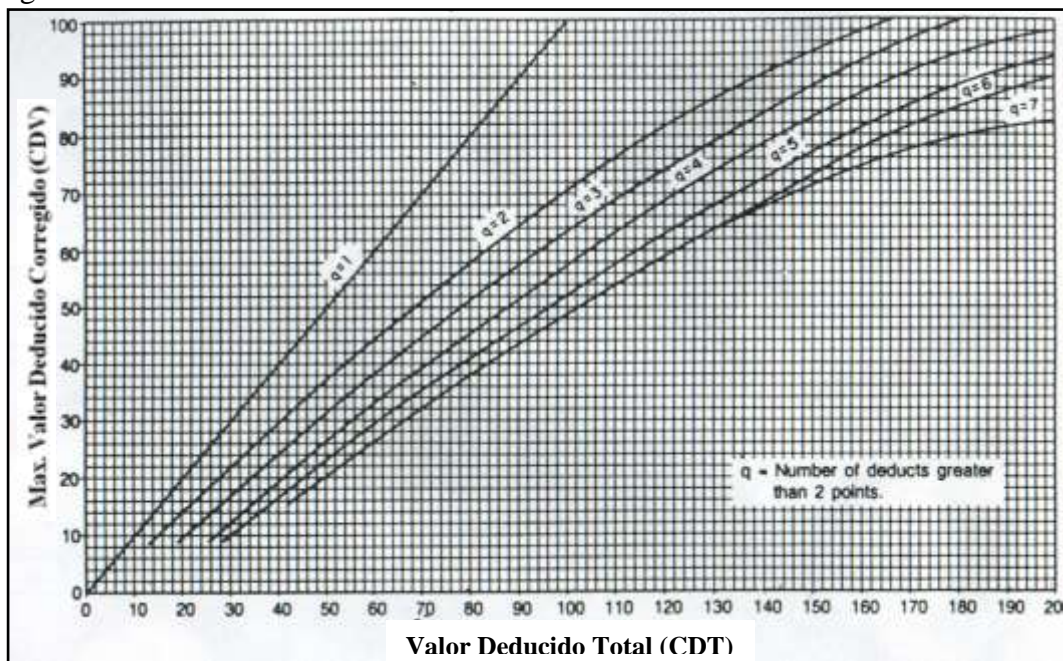
4.5. Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV) en forma iterativa como se muestra en la tabla 3.3.

4.5.1. Determinar el valor deducido total (CDT) mediante la suma de los valores deducidos individuales. El valor deducido total que se obtiene de la suma en 4.4 es 104.7.

4.5.2. Determinar q como el número de valores deducidos mayores a 2. Por ejemplo en la tabla 3.3. $q = 8$.

4.5.3. Determinar el valor de CDV a partir del valor deducido total (CDT) y del valor de “ q ” utilizando las curvas apropiadas de corrección para pavimentos flexibles de la figura 3.3.

Figura 3.3. **Curvas de corrección.**



Corrección del Valor Deducido para pavimentos asfálticos

4.5.4. Reducir a 2 el menor valor deducido individual mayor que 2 y repetir el procedimiento de 4.5.1 – 4.5.3 hasta que “ q ” sea igual a 1.

4.5.5. El máximo CDV es el mayor de todos los CDVs.

4.6 Calcular el PCI restándole a 100 el máximo CDV.

3.7.2. Determinación del PCI de la sección

1. Si todas las unidades de muestra inspeccionadas son escogidas en forma aleatoria, entonces el PCI de la sección (PCIs) es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra inspeccionadas en forma aleatoria (PCIr) usando la Ec. 5:

$$PCI_S = PCI_r = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}} \quad \dots \quad (Ec. 5)$$

Donde:

PCI_r = PCI ponderado del área de las unidades de muestra inspeccionadas en forma aleatoria.

PCI_{ri} = PCI de la unidad de muestra aleatoria “i”.

A_{ri} = área de la unidad de muestra aleatoria “i”.

n = número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas.

Si hay unidades de muestra adicionales que han sido inspeccionadas, el PCI ponderado de área de las unidades adicionales inspeccionadas (PCI_a) es calculado empleando la Ec. 6. El PCI de la sección de pavimento es calculado empleando la Ec. 7.

$$PCI_a = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \times A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}} \quad \dots \quad (Ec. 6)$$

$$PCI_S = \frac{PCI_r (A - \sum_{i=1}^m A_{ai}) + PCI_a (\sum_{i=1}^m A_{ai})}{A} \quad \dots \quad (Ec. 7)$$

Donde:

PCI_a = PCI ponderado del área de las unidades de muestra adicionales.

PCI_{ai} = PCI de la unidad de muestra adicional “i”.

A_{ai} = área de la unidad de muestra adicional “i”.

A = área de la sección.

m = número de unidades de muestra adicionales inspeccionadas.

PCI_S = PCI ponderado del área de la sección de pavimento.

2. Determinar el grado de condición de la sección en conjunto utilizando el PCI de la sección y la escala del grado de condición que se muestra en la figura 3.1.

3.8. Criterios de inspección

A continuación se detallan algunos criterios importantes a tomar en cuenta durante la inspección visual que permitirán minimizar errores y aclarar interrogantes acerca de la identificación y medición de algunos tipos de fallas.

1. Si el agrietamiento tipo piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurren en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.
2. Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.
3. El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.
4. Si una fisura no tiene un mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con diferente nivel de severidad debe ser registrada en forma separada. Sin embargo, si los diferentes niveles de severidad en una porción de fisura no pueden ser fácilmente separados, dicha porción debe ser registrada con el mayor nivel de severidad presente.
5. Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parchada, ésta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche.
6. Se dice que una falla está desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

3.9. Fallas, niveles de severidad y unidad de medida

A continuación se describen los tres niveles de severidad: Low (**L**), Medium (**M**) y High (**H**); correspondiente a cada tipo de falla y que representan los efectos que éstas tienen sobre la calidad del tránsito.

Además, se indica la unidad de medida con la que las fallas deben ser evaluadas durante la inspección visual.

1. Piel de cocodrilo

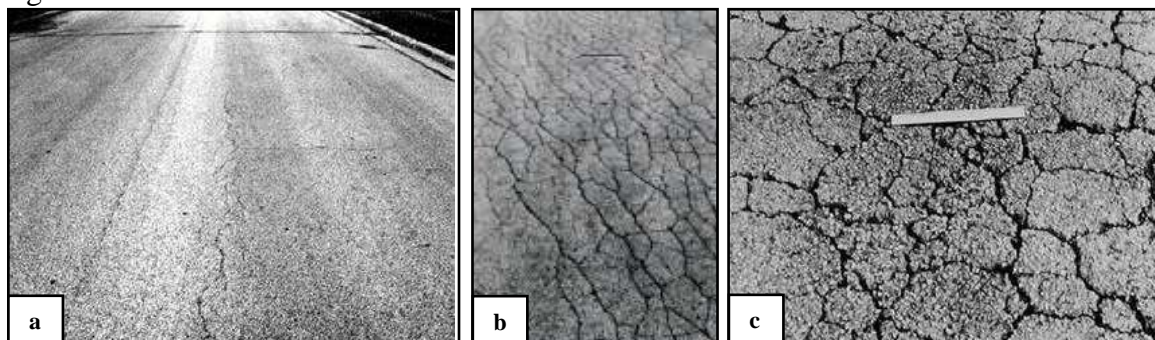
L – Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas. Ver figura 3.4.a.

M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas. Ver figura 3.4.b.

H – El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico. Ver figura 3.4.c.

Unidad de medida – La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla éstas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

Figura 3.4. **Piel de cocodrilo.**



Piel de cocodrilo de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2. Exudación

L – La exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida sólo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos. Ver figura 3.5.a.

M – La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año Ver figura 3.5.b.

H – La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año. Ver figura 3.5.c.

Figura 3.5. **Exudación.**



Exudación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

Unidad de medida – La exudación es medida en metros cuadrados.

3. Fisuras en bloque

L – Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad. Ver figura 3.6.a.

M – Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad. Ver figura 3.6.b.

H – Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad. Ver figura 3.6.c.

Unidad de medida – Las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un sólo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

Figura 3.6. Fisuras en bloque.



Fisuras en bloque de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

4. Abultamientos y hundimientos

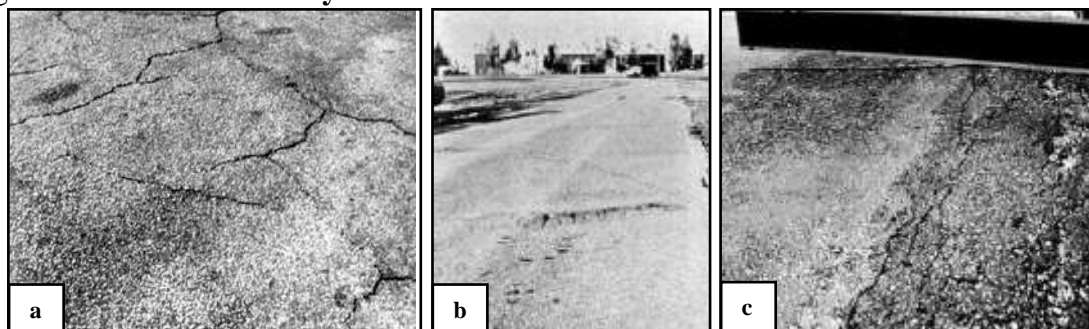
L – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad. Ver figura 3.7.a.

M – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los abultamientos hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad. Ver figura 3.7.b.

H – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad. Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo. Ver figura 3.7.c.

Unidad de medida – Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales. Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

Figura 3.7. Abultamientos y hundimientos.



Abultamientos y hundimientos de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

5. Corrugación

L – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Ver figura 3.8.a.

M – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Ver figura 3.8.b.

H – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Ver figura 3.8.c.

Unidad de medida – La corrugación es medida en metros cuadrados.

Figura 3.8. Corrugación.



Corrugación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

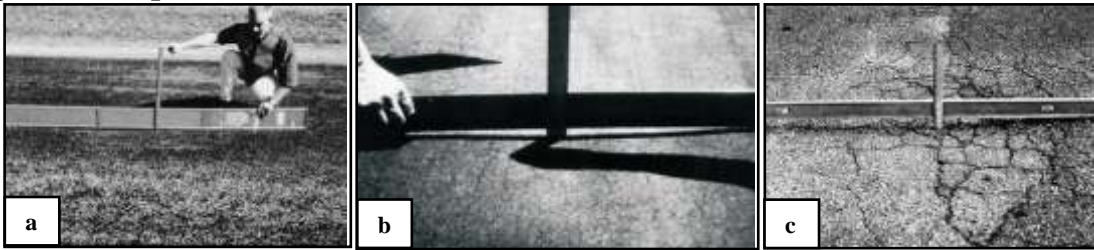
6. Depresión

L – La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm. Ver figura 3.9.a.

M – La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm. Ver figura 3.9.b.

H – La depresión tiene más de 50 mm. Ver figura 3.9.c.

Unidad de medida – Las depresiones son medidas en metros cuadrados.

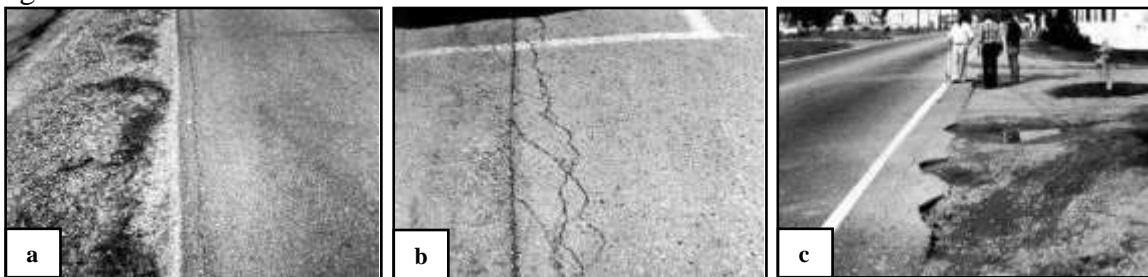
Figura 3.9. **Depresión.****Depresión de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).****7. Fisura de borde**

L – Se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación o desprendimiento. Ver figura 3.10.a.

M – Se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento. Ver figura 3.10.b.

H – Existe una desintegración considerable a lo largo del borde. Ver figura 3.10.c.

Unidad de medida – Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

Figura 3.10. **Fisura de borde.****Fisura de borde de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).****8. Fisura de reflexión de junta (de losas de concreto longitudinales o transversales)**

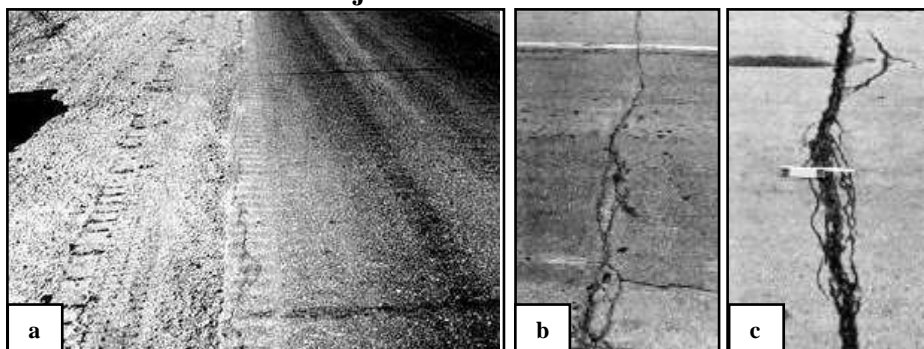
L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones). Ver figura 3.11.a.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad. Ver figura 3.11.b.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado. Ver figura 3.11.c.

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado. Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

Figura 3.11. Fisura de reflexión de junta.



Fisura de reflexión de junta de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

9. Desnivel carril - berma

L – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm. Ver figura 3.12.a.

M – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm. Ver figura 3.12.b.

H – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm. Ver figura 3.12.c.

Unidad de medida – El desnivel carril-berma es medido en metros lineales.

Figura 3.12. Desnivel carril – berma.



Desnivel carril - berma de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

10. Fisuras longitudinales y transversales

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones). Ver figura 3.13.a.

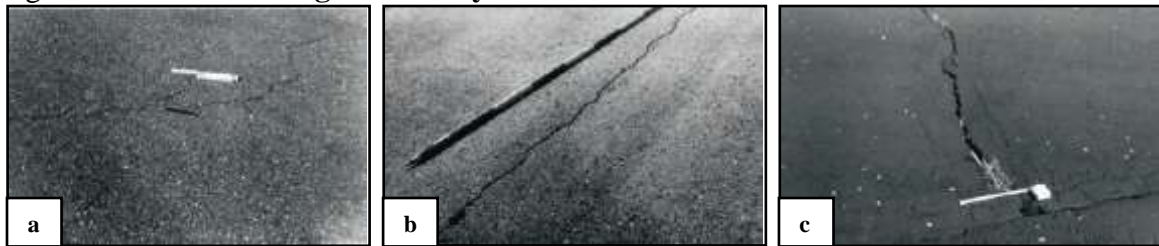
M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria. Ver figura 3.13.b.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho

mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado. Ver figura 3.13.c.

Unidad de medida – Las fisuras longitudinales y transversales con medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

Figura 3.13. **Fisuras longitudinales y transversales.**



Fisuras de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

11. Parches y parches de cortes utilitarios

L – El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad. Ver figura 3.14.a.

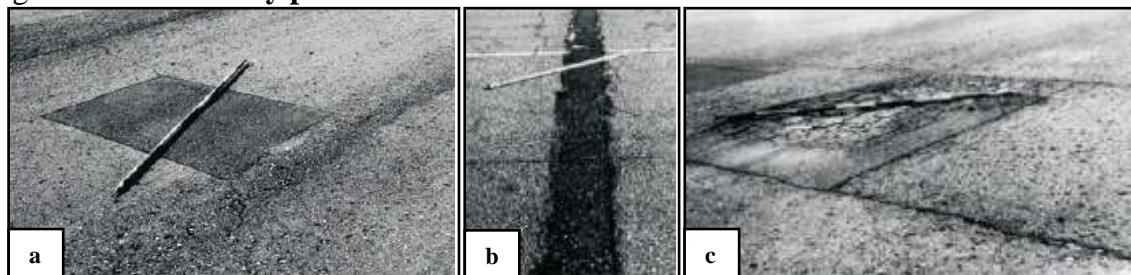
M – El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad. Ver figura 3.14.b.

H – El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad. Ver figura 3.14.c.

Unidad de medida – Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, éstas áreas deben ser medidas y registradas por separado.

Cualquier tipo de falla encontrada en el parche no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parche será considerado para determinar su nivel de severidad.

Figura 3.14. **Parches y parches de cortes utilitarios.**



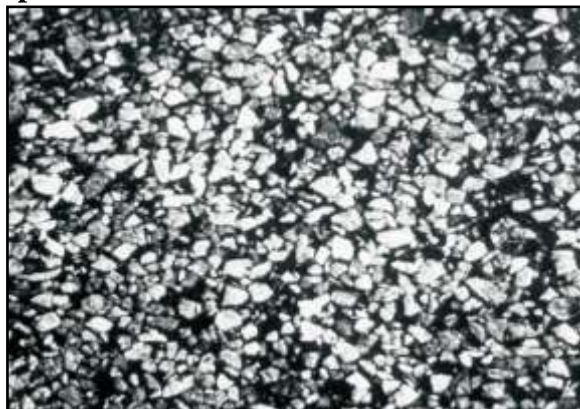
Parches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

12. Agregado pulido

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto. Ver figura 3.15.

Unidad de medida – El agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

Figura 3.15. Agregado pulido.



El agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos.

13. Baches

Los niveles de severidad para baches menores a 750 mm de diámetro están determinados de acuerdo a la tabla 3.4. En la figura 3.16.a se puede apreciar un bache de severidad baja.

Tabla 3.4. Niveles de severidad para baches de diámetro menor a 750 mm.

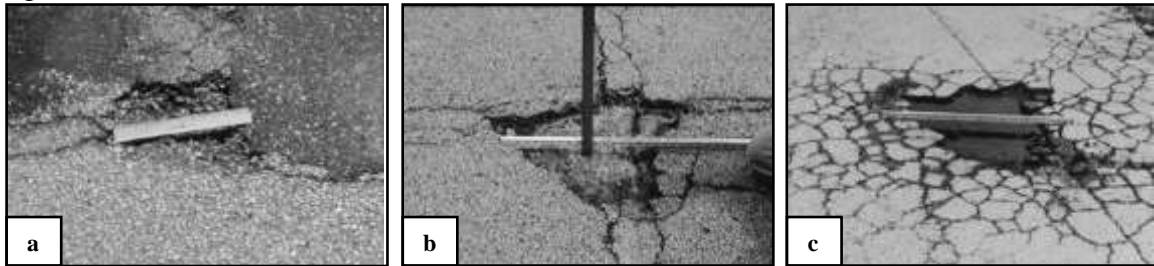
Máxima profundidad del bache	Diámetro Promedio (mm)		
	100 a 200	200 a 450	450 a 750
≥ 13 y ≤ 25 mm	L	L	M
> 25 y ≤ 50 mm	L	M	H
> 50 mm	M	M	H

Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m^2 para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana severidad (ver figura 3.16.b); en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad (ver figura 3.16.c).

Unidad de medida – Los baches no son medidos sino contados y registrados por separado de acuerdo a su nivel de severidad bajo, mediano o alto.

Figura 3.16. **Baches.**



Baches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

14. Ahuellamiento

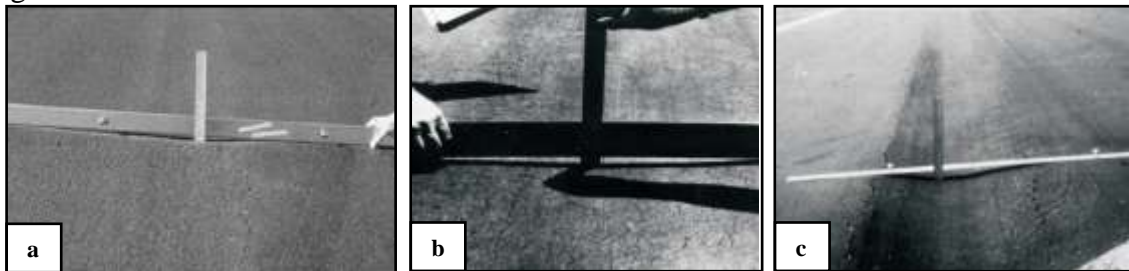
L – La depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm. Ver figura 3.17.a.

M – La depresión va entre 13 y 25 mm. Ver figura 3.17.b.

H – La depresión es mayor a 25 mm. Ver figura 3.17.c.

Unidad de medida – El ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

Figura 3.17. **Ahuellamiento.**



Ahuellamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

15. Desplazamiento

L – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad. Ver figura 3.18.a.

M – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad. Ver figura 3.18.b.

H – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad. Ver figura 3.18.c.

Unidad de medida – Los desplazamientos son medidos en metros cuadrados. Los desplazamientos que ocurren en parches son considerados para calificar los mismos y no se toman en cuenta como fallas por separado.

Figura 3.18. **Desplazamiento.**



Desplazamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

16. Fisura parabólica o por deslizamiento

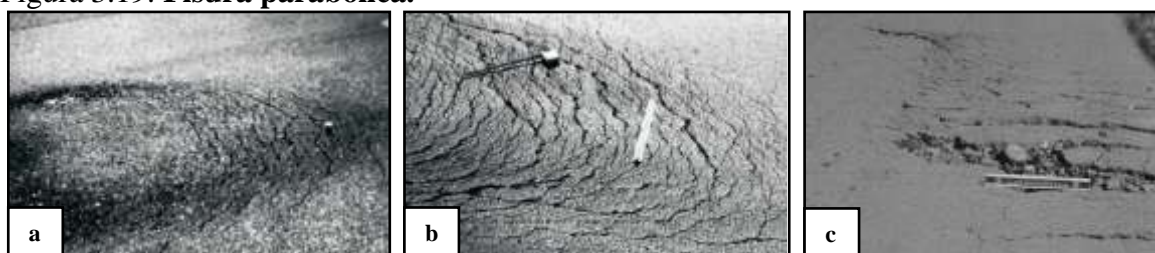
L – El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm. Ver figura 3.19.a.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras. Ver figura 3.19.b.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas. Ver figura 3.19.c.

Unidad de medida – Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área.

Figura 3.19. **Fisura parabólica.**



Fisura parabólica de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

17. Hinchamiento

L – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta.

Ver figura 3.20.

Unidad de medida –El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

Figura 3.20. **Hinchamiento.**



Hinchamiento de alta severidad.

18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

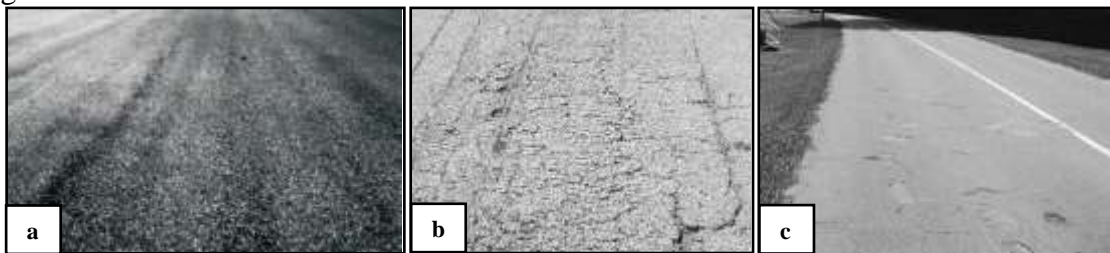
L – El agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos. En el caso de derrames, las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada con una moneda. Ver figura 3.21.a.

M – Se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos. En el caso de derrames de aceite, la superficie es suave y puede ser penetrada con una moneda. Ver figura 3.21.b.

H – El desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches. Para el caso de los derrames de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto de liga y el agregado ha comenzado a perderse. Ver figura 3.21.c.

Unidad de medida –Las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados.

Figura 3.21. **Peladura.**



Peladura de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

Capítulo 4

Evaluación de la Av. Luis Montero

4.1. Información preliminar

A continuación se dará una explicación general de la zona en estudio, donde se llevó a cabo la inspección visual; con el fin de conocer el lugar de trabajo y tener en cuenta las características de tránsito de la avenida a analizar.

4.1.1. Ubicación

La zona a estudiar se ubica en la Av. Luis Montero, Urb. Miraflores, distrito de Castilla, provincia de Piura, departamento de Piura; y comprende mil doscientos metros lineales de pista.

Como la Av. Luis Montero tiene doble sentido, se analizarán 600 metros lineales de vía para cada uno.

El punto de inicio es la intersección de la Av. Andrés Avelino Cáceres con la Av. Luis Montero, exactamente donde comienza el IDEPUNP (Instituto de Enseñanza Pre Universitaria de la Universidad Nacional de Piura). Ver figura 4.1. A partir de ahí, se recorren 600 metros lineales, para cada sentido, de la Av. Luis Montero, quedando definido el punto de término de la zona de trabajo. El punto final se encuentra a aproximadamente 80 metros de la intersección de la Av. Luis Montero con la Av. Independencia. Ver figura 4.2.

Figura 4.1. Inicio de la zona de estudio.



Punto de inicio de la zona de estudio marcada de color amarillo. De rojo se señalan los dos sentidos de vía de la Av. Luis Montero y de celeste la Av. Andrés Avelino Cáceres.

Figura 4.2. Final de la zona de estudio.



Punto final de la zona de estudio marcada de color amarillo. De rojo se señalan los dos sentidos de vía de la Av. Luis Montero y de celeste la Av. Independencia.

4.1.2. Antecedentes

En los antecedentes, se hace referencia a las obras de reparación previas a la auscultación vial, que han sido ejecutadas en la calle de estudio. Se tiene información de dos obras realizadas el mes de Febrero y Marzo del año 2008.

Una de ellas se denomina “Rehabilitación de veredas y sardineles en la Av. Luis Montero (Av. Ramón Castilla – Av. Andrés A. Cáceres)” y la otra, “Mantenimiento del circuito vial de la ciudad de Castilla: Av. Luis Montero (Av. Ramón Castilla – Av. Andrés A. Cáceres)”.

La primera obra comprende la rehabilitación de veredas y sardineles, incluyendo trabajos de demolición de sardinales existentes. Es por ello que se ha considerado el bacheo de vía con el fin de reparar las zonas aledañas de vía asfaltada, que puedan dañarse con la demolición. Los trabajos que se realizaron en el proyecto fueron:

- Construcción de veredas de concreto simple $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$.
- Demolición y reconstrucción de sardineles de concreto simple $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.
- Bacheo de pavimento flexible deteriorado por efecto de la demolición de sardineles y veredas colindantes. Se reemplazó la capa de base afirmada de $e=0.20 \text{ m}$. y se aplicó un recapeo o capa nivelante (con asfalto en frío de 2” de espesor promedio) en la superficie de pavimento flexible, previo riego de liga.

El riego de liga se realizó con asfalto líquido de curado rápido RC-250, compuesto de betún asfáltico y un disolvente volátil tipo gasolina o kerosene (5% aproximadamente de kerosene).

La otra obra, “Mantenimiento del circuito vial de la ciudad de Castilla: Av. Luis Montero”, se hizo con el fin de reparar los pavimentos rígidos y flexibles que requieran de un mantenimiento de su capa de rodadura, para eliminar los baches y conseguir un tráfico suave, adecuado y económico, por la mejor conservación vehicular.

Los trabajos desarrollados en dicha obra fueron:

- En los pavimentos flexibles se colocó en los extremos de vía (previa aplicación de un riego de liga), una capa nivelante de asfalto en frío de 2” de espesor, ya que existían desniveles que formaban charcos ante la presencia de lluvias.
- Se hizo el bacheo en pavimentos flexibles con asfalto en frío de $e=2$ ”, previo riego de liga y colocación de Base Afirmada de $e=0.20\text{m}$.
- Para los pavimentos con bloquetas que se encontraban con hundimiento en su capa de rodadura (por efecto de una mala compactación) se realizó una recolocación de la estructura del pavimento retirando momentáneamente el material existente y haciendo desde la subrasante, un adecuado trabajo de compactación.

- Se colocó en dos puntos críticos (cuencas ciegas), losas de concreto en el pavimento, permitiendo dar la pendiente adecuada a las mismas, para poner en funcionamiento un sistema de drenaje que permita evacuar las aguas pluviales en dichos puntos.

4.1.3. Carga de tránsito

Las cargas de tránsito hacen referencia a las tensiones producidas por solicitudes externas debido al flujo o circulación constante de vehículos en una calle o avenida. Todo pavimento debe ser diseñado para resistir una determinada carga de tránsito, ya que de lo contrario, la pista sufriría daños permanentes, pues soportaría cargas mucho mayores a las esperadas.

Es por esto, que es de suma importancia conocer el tipo de vehículos que van a transitar una determinada vía. Para nuestro caso, los vehículos que recorren la avenida Luis Montero son los siguientes: motos lineales, mototaxis, autos combis y camiones (volquetes). Éstos últimos son los que van a ejercer mayor influencia en el deterioro del pavimento.

El flujo vehicular que circula en la red de pavimento es constante, es decir, no hay variaciones significativas del tránsito entre los dos tramos existentes. Se puede considerar que en los 1200 metros de pavimento, al tráfico es el mismo.

4.2. Aplicación del método PCI

Se detallará la metodología aplicada para el caso particular de la Av. Luis Montero, siguiendo los lineamientos definidos por el ASTM D6433-03, Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos.

4.2.1. Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

1. Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos. Para ello tiene que quedar completamente definido el sistema de pavimentos a ser analizados, es decir, la red de pavimento.

Se ha definido como red de pavimento, a 1200 metros lineales de pavimento flexible que forman parte de la avenida Luis Montero. Dentro de ese sistema, se encuentran dos tramos de pavimento, que son los 600 metros lineales de pista correspondiente a cada sentido de vía. Como se puede apreciar en la figura 4.3, se ha llamado tramo 1 a la pista que limita con el IDEPUNP, señalado de color rojo; y como tramo 2 a la calle de sentido opuesto señalado de azul.

Figura 4.3. Zona de estudio.



Distribución de la zona de estudio: red de pavimento (color verde) que se divide en dos tramos (color rojo y azul).

2. Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.

Como se vio en el punto 4.1.2, no se presentan variaciones de tránsito importantes entre un sentido de vía y el otro; por lo que el tráfico vehicular no puede ser considerado como criterio de división de tramos.

El criterio de diseño también es descartado, pues la presente investigación abarca únicamente pavimentos urbanos flexibles. Otro tipo de diseño de pavimento no ha sido tema de estudio de esta tesis, por lo que no ha sido evaluado.

Para hacer la división de tramos, se toma en cuenta el estado en que se encuentra el pavimento. Se hace un recorrido por cada tramo, observando la condición de la vía e identificando los cambios de estado de la pista. Así, se identificaron un total de cuatro secciones bien marcadas. El tramo 1 se dividió en tres secciones, mientras que el tramo 2 mantuvo una misma sección en toda su longitud. En la figura 4.4 se muestra claramente el primer cambio de sección de pavimento encontrado en el tramo 1.

Figura 4.4. Secciones 1 y 2.



Primer cambio de estado del pavimento. Se definen dos secciones pertenecientes al tramo 1 de la Av. Luis Montero.

En la figura 4.5 se muestra el segundo cambio de sección de pavimento encontrado en el tramo 1, definiéndose las secciones 2 y 3.

Figura 4.5. Secciones 2 y 3.



Segundo cambio de estado del pavimento. Se define la última sección perteneciente al tramo 1 de la Av. Luis Montero.

3. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra. Como el ancho de pista es un valor constante igual a 6.10 metros, se definieron las siguientes dimensiones para las unidades de muestra: 6.10 x 37.5 metros, abarcando un área de 228.75 m². En cada tramo se analizarán 16 unidades de muestra, haciendo un total de 32 unidades a ser inspeccionadas en toda la red.

4. Cada unidad de muestra es señalada en el pavimento e identificada por medio de un código, como por ejemplo, U-5 indica que se trata de la Unidad de muestra 5. Esto

permitirá su fácil localización en caso se quiera verificar alguna información. Ver figura 4.6.

Figura 4.6. **Unidad de muestra.**



Unidad de muestra debidamente señalizada en el pavimento e identificada con su respectivo código.

5. Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. En este caso, se estudiarán todas las unidades de muestra existentes dentro de la red de pavimento, para obtener una mejor estimación del estado en que se encuentran.

4.2.2. Procedimiento de inspección

7. Inspeccionar cada unidad de muestra seleccionada.
8. Registrar el tramo y número de sección así como el número de unidad de muestra.
9. Registrar el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual (de 37.5 metros de longitud, por 6.10 metros de ancho de carril).
10. Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y llenando la información obtenida en las hojas de registro. Los tipos de fallas y el grado de severidad se encuentran descritos en el Capítulo 3 de la tesis.
11. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Determinación del índice de estado del pavimento

A continuación se explican los datos de campo obtenidos durante la inspección visual de fallas en la Av. Luis Montero; así como el cálculo del índice de condición de pavimento de cada unidad de muestra analizada. Las fotografías de las principales fallas de las unidades de muestra del tramo 1, se encuentran detalladas en el anexo B.

5.1.1. Resultado del tramo 1

Unidad de muestra U1

La unidad de muestra U1 tiene 228.75 m² y pertenece al tramo 1 de la Av. Luis Montero. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisura de borde, ahuellamiento, desplazamiento, hinchamiento y peladura. Además se registraron parches de mediana y alta severidad. Ver tabla 5.1.

La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la corrugación, ya que aparte de ser una falla estructural (que afectan considerablemente al paquete estructural), se presenta en toda la superficie analizada. Seguida de esta falla está la peladura que es una falla funcional (influye en la carpeta asfáltica solamente) y que se extiende en toda el área. Asimismo se encontraron ahuellamientos de severidad baja, que también contribuyen al daño de la pista.

Las fallas que menos afectan al pavimento son el parche de mediana severidad y la depresión, pues sus áreas son pequeñas, comparada con el área total inspeccionada.

La exudación, fisuras de borde, desplazamiento, hinchamiento y el parche de alta severidad, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. Es por ello que el valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.2 se obtuvieron 5 valores deducidos: 39, 15, 14, 5 y 4. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 47, dando como resultado un índice de 53 que corresponde a un pavimento regular.

Se recomienda aplicar un riego de liga para incrementar el PCI de la unidad de muestra analizada. Este riego de liga puede ser una lechada asfáltica (*Slurry Seal*) o un riego pulverizado (*Fog Seal*).

La lechada asfáltica consiste en una mezcla compuesta por una emulsión asfáltica de quiebre lento, árido bien graduado, filler, agua y eventualmente aditivos. Es una mezcla de consistencia fluida, colocada sobre la superficie del pavimento para brindarle protección.

El riego pulverizado o *Fog Seal* es la aplicación de una emulsión asfáltica a la superficie de un pavimento, pero sin el uso de agregados.

Las ventajas de aplicar un riego asfáltico sobre una superficie de pavimento flexible, son las siguientes:

- Los riegos tienen un bajo costo, su aplicación es económica y de alto rendimiento.
- Son de fácil y rápida aplicación. La nueva superficie puede ser utilizada poco después de ser aplicado el riego. Ideal para el mantenimiento de vías de mucho tráfico.
- Los riegos asfálticos evitan el deterioro del firme y los efectos de los agentes climatológicos. Proporcionan una duración especial y una excelente superficie de rodadura.
- El deterioro existente en los pavimentos (agrietamiento de la superficie, corrugación, peladuras, abultamientos y hundimientos, superficie resbaladiza, etc.) puede corregirse mediante la aplicación de un riego de liga evitando así un mayor deterioro. Se consigue de esta manera, una superficie de larga duración, que ofrece propiedades anti-deslizantes y mejores condiciones para la transitabilidad.

Tabla 5.2. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U1.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	39	15	14	5	4		77	5	40
2	39	15	14	5	2		75	4	42
3	39	15	14	2	2		72	3	46
4	39	15	2	2	2		60	2	44
5	39	2	2	2	2		47	1	47
6									
7									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 47 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 53 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Unidad de muestra U2

La unidad de muestra U2, de 228.75 m², pertenece al tramo 1 de la Av. Luis Montero y no presenta cambios de sección. Esta área sigue formando parte de la sección 1 junto con la unidad de muestra anterior (U1).

Las fallas de nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, ahuellamiento, desplazamiento, y peladura. También se registraron parches alta severidad y peladuras de severidad media. Ver tabla 5.3.

La falla que más afecta al deterioro del pavimento es la corrugación, pues se presenta en toda la superficie. Seguida a esta falla está la peladura de nivel bajo que también se extiende en toda el área y la peladura de mediana severidad que cubre cerca de 5.60 m² de área. También se encontraron ahuellamientos de severidad baja, que también contribuyen al daño de la pista.

Las fallas menos influyentes son un parche de alta severidad y dos depresiones de severidad baja que tienen área despreciable, comparada con el área total inspeccionada.

El tamaño de las fallas de exudación, fisuras longitudinales y transversales y los desplazamientos, no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. Es por ello que el valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.4 se obtuvieron 6 valores deducidos: 39, 15.5, 10.5, 11, 9 y 4. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 49, dando como resultado un índice de 51 que corresponde a un pavimento regular.

Para mejorar el estado de la unidad de muestra analizada se recomienda aplicar un riego asfáltico o riego de liga.

Tabla 5.4. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U2.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	39	15.5	10.5	11	9	4		89	6	44
2	39	15.5	10.5	11	9	2		87	5	45
3	39	15.5	10.5	11	2	2		80	4	45
4	39	15.5	10.5	2	2	2		71	3	45
5	39	15.5	2	2	2	2		62.5	2	46
6	39	2	2	2	2	2		49	1	49
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 49 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 51 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Unidad de muestra U3

La unidad de muestra U3 tiene 228.75 m² y pertenece al tramo 1 y a la sección 1 de la Av. Luis Montero. No presenta cambios de sección.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, fisuras longitudinales y transversales, parches, baches, ahuellamiento, desplazamiento y peladura. Además se registraron parches y fisuras longitudinales y transversales de mediana severidad. Ver tabla 5.5.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación, por ser una falla estructural y por presentarse en toda la superficie analizada; los dos baches y la peladura que se extiende en casi toda la superficie.

Las fallas que menos afectan al pavimento son el ahuellamiento, los parches de mediana severidad, y la exudación, pues sus áreas son pequeñas, comparada con el área total inspeccionada.

Las fisuras longitudinales y transversales, los parches y el desplazamiento no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. Es por ello que el valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.6 se obtuvieron 6 valores deducidos: 38.7, 17.8, 15.8, 6.7, 5.5 y 0.2. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 50, dando como resultado un índice de 50 que corresponde a un pavimento regular.

Se recomienda aplicar un riego de liga y un bacheo en los baches para incrementar el PCI de la unidad de muestra analizada.

Tabla 5.6. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U3.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	38.7	17.8	15.8	6.7	5.5	0.2		84.7	5	45
2	38.7	17.8	15.8	6.7	2	0.2		81.2	4	47
3	38.7	17.8	15.8	2	2	0.2		76.5	3	50
4	38.7	17.8	2	2	2	0.2		62.7	2	47
5	38.7	2	2	2	2	0.2		46.9	1	47
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 50 \quad}$$

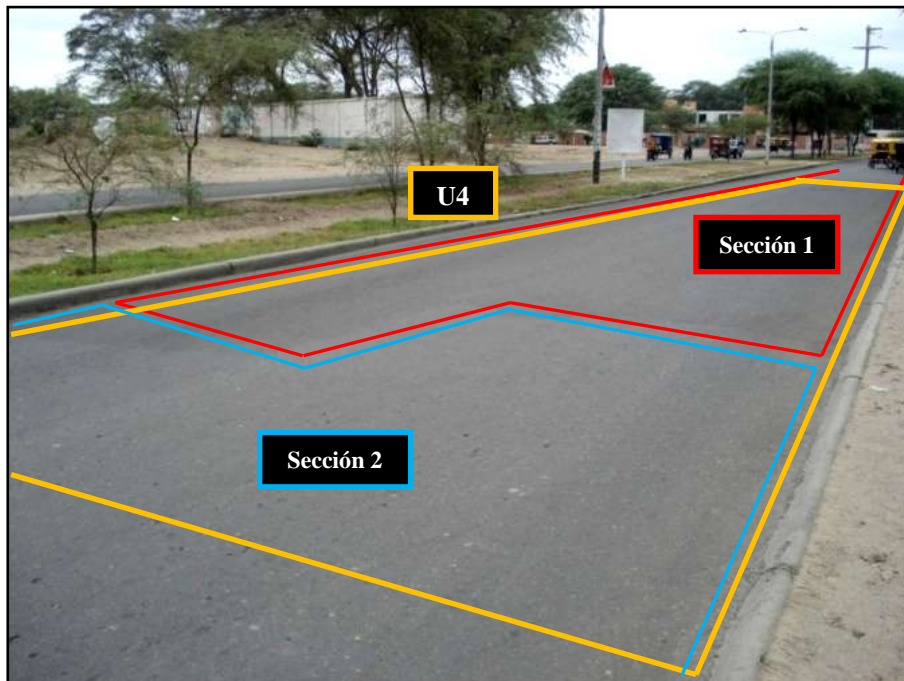
$$\text{PCI} = \underline{\quad 50 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Unidad de muestra U4

En la unidad de muestra U4 ocurre el primer cambio de sección. El área total se divide en dos regiones, una pertenece a la sección anterior (sección 1) y la otra es la sección nueva o sección 2. Ver figura 5.1.

Figura 5.1. Unidad de muestra U4.



Se muestra la sección 1 de color rojo y la sección 2 de celeste. Ambas dividen la unidad de muestra U4 (amarillo) en dos áreas.

La unidad de muestra U4 de 228.75 m² queda dividida en dos secciones: 114.88 m² pertenecientes a la sección 1 y 113.87 m² pertenecientes a la sección 2.

Unidad de muestra U4, sección 1

Las fallas de nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras de borde, ahuellamiento, desplazamiento, y peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados. No se registraron fallas de mediana o alta severidad. Ver tabla 5.7.

Las fallas que más afectan al deterioro del pavimento son la corrugación y la peladura porque se presentan en toda la superficie. Seguida a estas fallas se encontró un ahuellamiento y una depresión, ambas de baja severidad, que también contribuyen al daño de la pista.

Las fallas menos influyentes son la exudación y la fisura de borde. El desplazamiento no afecta para nada al estado del pavimento, pues su tamaño no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. El valor deducido del desplazamiento es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.9 se obtuvieron 6 valores deducidos: 39, 15.8, 6.4, 4.0, 1.3 y 0.2. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 49, dando como resultado un índice de 51 que corresponde a un pavimento regular.

Para mejorar el estado de la unidad de muestra se recomienda aplicar un riego asfáltico.

Unidad de muestra U4, sección 2

Las fallas de nivel de severidad baja fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, parches, ahuellamiento, desplazamiento, fisura parabólica y peladuras. Se registró también una depresión de mediana severidad. Ver tabla 5.8.

Las fallas que más afectan al deterioro del pavimento es la corrugación por tratarse de una falla estructural, y la depresión que tiene un grado de severidad medio. También está la peladura, que es la falla que más área abarca.

Las fallas menos influyentes son la exudación, la fisura parabólica y las fisuras longitudinales y transversales que juntas alcanzan una longitud total de 5.00 m.

El desplazamiento y los parches no influyen en el estado del pavimento, pues su tamaño no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. El valor deducido de estas fallas es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.10 se obtuvieron 8 valores deducidos: 20, 12, 10, 5.2, 4.0, 3.7, 2.3 y 0.2. El máximo valor deducido corregido es 34, dando como resultado un PCI de 66 que corresponde a un pavimento bueno.

Tabla 5.9. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U4, sección 1.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	39	15.8	6.4	4	1.3	0.2			66.7	4	37
2	39	15.8	6.4	2	1.3	0.2			64.7	3	43
3	39	15.8	2	2	1.3	0.2			60.3	2	45
4	39	2	2	2	1.3	0.2			46.5	1	49
5											
6											
7											
8											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 49 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 51 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Tabla 5.10. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U4, sección 2.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	20	12	10	5.2	4	3.7	2.3	0.2	57.4	7	24
2	20	12	10	5.2	4	3.7	2	0.2	57.1	6	24
3	20	12	10	5.2	4	2	2	0.2	55.4	5	26
4	20	12	10	5.2	2	2	2	0.2	53.4	4	29
5	20	12	10	2	2	2	2	0.2	50.2	3	32
6	20	12	2	2	2	2	2	0.2	42.2	2	32
7	20	2	2	2	2	2	2	0.2	32.2	1	34
8											
9											
10											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 34 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 66 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U5

La unidad de muestra U5 tiene 228.75 m² y pertenece al tramo 1 y a la sección 2 de la Av. Luis Montero. No presenta cambios de sección.

Las fallas encontradas con grado de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras de borde, fisuras longitudinales y transversales, ahuellamiento, desplazamiento, fisura parabólica y peladuras. Con nivel de severidad medio tenemos un parche de 1.44 m² de superficie. Ver tabla 5.11.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación, el ahuellamiento y la depresión, por ser fallas estructurales. También se considera la peladura, por encontrarse en casi toda el área de la unidad de muestra; las fisuras longitudinales y transversales y por último el parche de mediana severidad.

La falla que menos afectan al pavimento es la exudación. Las fisuras de borde, los desplazamientos y la fisura parabólica son despreciables, por lo que su valor deducido es cero.

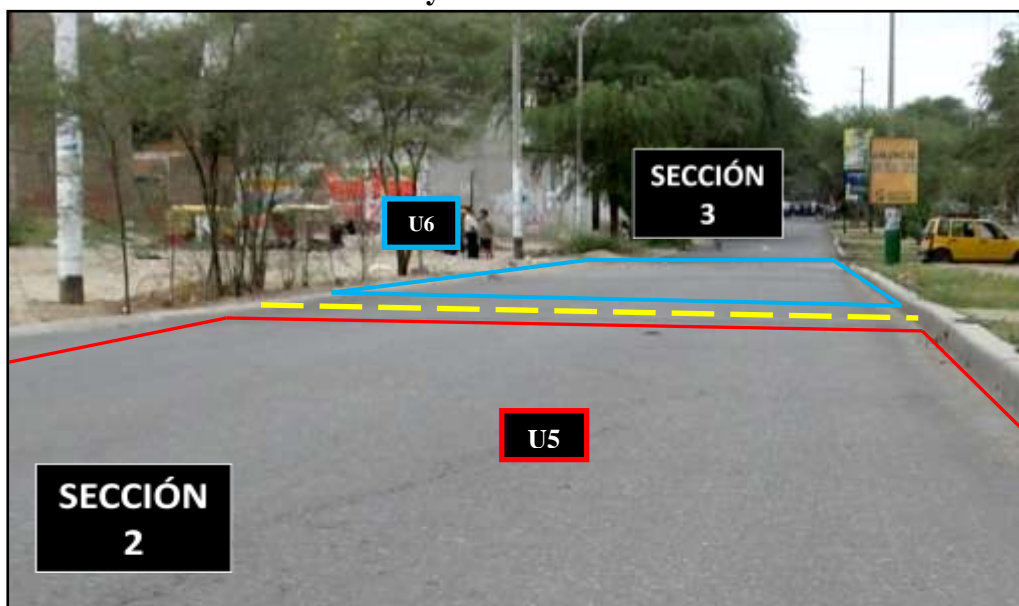
Como se aprecia en la tabla 5.12 se obtuvieron 7 valores deducidos: 26.6, 17.1, 14, 11.4, 10.2, 7.7 y 0.1. Así, se obtiene como máximo valor deducido corregido 43, dando como resultado un índice de 57 que corresponde a un pavimento bueno.

Para las fallas localizadas más influyentes, se recomienda aplicar un riego de liga o riego asfáltico.

Unidad de muestra U6

Entre las unidades de muestra U5 y U6, ocurre el último cambio de sección del tramo 1. La unidad de muestra U5 pertenece a la sección 2, pero la unidad de muestra U6 ya forma parte de la nueva sección, llamada sección 3. No se divide ninguna unidad de muestra, como fue el caso de U4. Todos los 228.75 m² de U6 pertenecen a la sección 3. Ver figura 5.2.

Figura 5.2. Unidades de muestra U5 y U6.



Cambio de sección indicado por la línea amarilla punteada. De rojo se señala la unidad de muestra U5 y de celeste, la U6.

Tabla 5.12. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U5.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	26.6	17.1	14	11.4	10.2	7.7	0.1		87.1	6	42
2	26.6	17.1	14	11.4	10.2	2	0.1		81.4	5	43
3	26.6	17.1	14	11.4	2	2	0.1		73.2	4	42
4	26.6	17.1	14	2	2	2	0.1		63.8	3	41
5	26.6	17.1	2	2	2	2	0.1		51.8	2	39
6	26.6	2	2	2	2	2	0.1		36.7	1	38
7											
8											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 43 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 57 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U6 (Continuación)

Todas las fallas encontradas en la unidad de muestra U6, presentan un nivel de severidad bajo: exudación, corrugación, depresión, fisuras de borde, fisuras longitudinales y transversales, parches, ahuellamientos y peladuras. Ver tabla 5.13.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación (falla estructural) y la peladura que está presente en casi toda el área de la unidad de muestra.

Las fallas que menos afectan al pavimento son las depresiones, el ahuellamiento, las fisuras de borde y mínimamente la exudación.

Las fisuras longitudinales y transversales y los parches no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. Es por ello que el valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.14 se obtuvieron 6 valores deducidos: 25.3, 15.8, 7.2, 5.1, 1.7 y 0.1. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 36, dando como resultado un índice de 64 que corresponde a un pavimento bueno.

Se recomienda aplicar un riego de liga para eliminar las fallas de corrugación y peladura que son las que más afectan al pavimento.

Tabla 5.14. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U6.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	25.3	15.8	7.2	5.1	1.7	0.1		55.2	4	30
2	25.3	15.8	7.2	2	1.7	0.1		52.1	3	33
3	25.3	15.8	2	2	1.7	0.1		46.9	2	36
4	25.3	2	2	2	1.7	0.1		33.1	1	34
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 36 \quad}$$

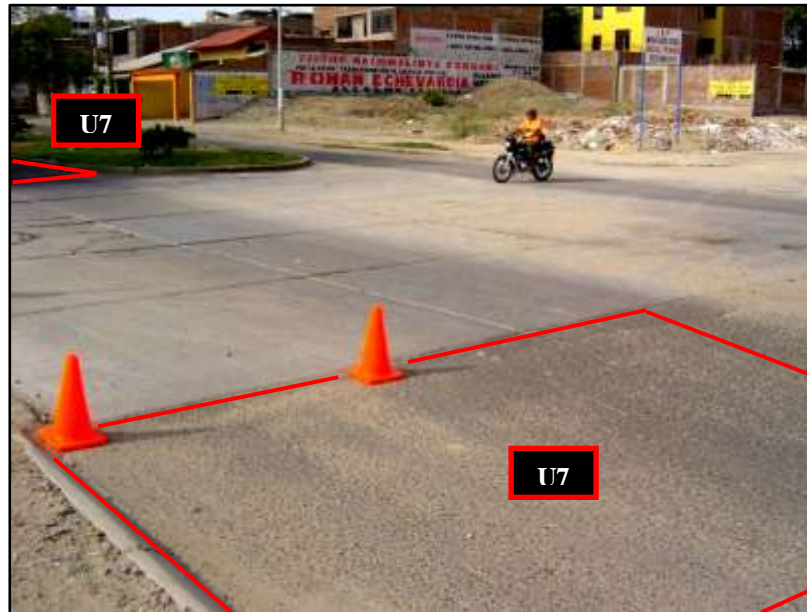
$$\text{PCI} = \underline{\quad 64 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U7

La unidad de muestra U7 pertenece a la sección 3, tramo 1, de la Av. Luis Montero y tiene un área de 228.75 m², dividida por una intersección de pavimento rígido. Este tipo de pavimento no ha sido tomado en cuenta durante la inspección, pues esta tesis abarca sólo pavimento flexible. El área restante de U7 se mide pasando la losa, hasta completar el área total de dicha unidad de muestra. Ver figura 5.3.

Figura 5.3. Unidad de muestra U7.



Se observa la unidad de muestra U7 señalada de color rojo. La losa de concreto se deja de lado, y se completa el área de U7 hasta ser igual a 228.75 m².

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisura de borde, fisuras longitudinales y transversales, parches, desplazamiento y peladuras. Se registraron también una depresión, fisuras longitudinales y transversales, y peladuras de mediana severidad. Ver tabla 5.15.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la depresión y la peladura, ambas de severidad media. Después continúan la corrugación, la peladura de baja severidad, las fisuras de mediana severidad y la depresión de baja severidad.

Las fallas que menos afectan al pavimento son las fisuras de borde, longitudinales y transversales de baja severidad.

La exudación, los parches y el desplazamiento no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. Su valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.16 se obtuvieron 8 valores deducidos: 42.5, 18.2, 16.6, 15.2, 12.2, 10.7, 2.0 y 1.5. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 59, dando como resultado un índice de 41 que corresponde a un pavimento regular. Se recomienda aplicar un riego de liga y un bacheo para las depresiones.

Tabla 5.16. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U7.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	42.5	18.2	16.6	15.2	12.2	10.7	0.56	0.42	116	6	57
2	42.5	18.2	16.6	15.2	12.2	2	0.56	0.42	108	5	57
3	42.5	18.2	16.6	15.2	2	2	0.56	0.42	97.5	4	58
4	42.5	18.2	16.6	2	2	2	0.56	0.42	84.3	3	54
5	42.5	18.2	2	2	2	2	0.56	0.42	69.7	2	52
6	42.5	2	2	2	2	2	0.56	0.42	53.5	1	54
7											
8											
9											
10											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 58 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 42 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Unidad de muestra U8

La unidad de muestra U8, de 228.75 m², pertenece al tramo 1 de la Av. Luis Montero y no presenta cambios de sección. Esta área sigue formando parte de la sección 3 junto con las unidades de muestras anteriores: U6 y U7.

Las fallas de nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, parches, desplazamiento, hinchamiento y peladuras. De severidad mediana se encontraron fisuras longitudinales y transversales y parches de mediana severidad. Ver tabla 5.17.

La falla que más afecta al deterioro del pavimento es la corrugación, las depresiones (de bajo y medio nivel de severidad), y la peladura.

Las fallas menos influyentes son los parches de baja y mediana severidad. Todos los parches de baja severidad, causan un daño similar al originado por tan sólo un parche pero de severidad media.

Ninguna de las fisuras longitudinales y transversales encontradas afectaron significativamente al pavimento, ya que se detectaron sólo dos y de longitud despreciable comparada con toda la unidad de muestra. Lo mismo ocurrió con la exudación, el desplazamiento y el hinchamiento, pues su valor deducido es igual a cero.

Como se aprecia en la tabla 5.18 se obtuvieron 6 valores deducidos: 19, 18.5, 16.3, 15.5, 4.5 y 4.0. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 41, dando como resultado un índice de 59 que corresponde a un pavimento bueno.

Para mejorar el estado de la unidad de muestra analizada se recomienda aplicar un riego asfáltico (riego de liga).

Tabla 5.18. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U8.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	19	18.5	16.3	15.5	4.5	4		77.8	6	38
2	19	18.5	16.3	15.5	4.5	2		75.8	5	39
3	19	18.5	16.3	15.5	2	2		73.3	4	41
4	19	18.5	16.3	2	2	2		59.8	3	38
5	19	18.5	2	2	2	2		45.5	2	33
6	19	2	2	2	2	2		29	1	28
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 41 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 59 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U9

La unidad de muestra U9 pertenece a la sección 3, tramo 1, de la Av. Luis Montero y tiene un área de 228.75 m².

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, ahuellamiento, hinchamiento y peladuras. Se encontraron los tres niveles de severidad en parches, y una severidad alta en las fisuras de borde y fisuras longitudinales y transversales. Ver tabla 5.19.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación, por ser una falla estructural y la fisura de borde de 9 metros de longitud, por ser de severidad alta.

Las fallas que menos afectan al pavimento son: el único parche de severidad media, las depresiones, las peladuras y el ahuellamiento.

El resto de fallas como son: la exudación, las fisuras longitudinales y transversales de baja y alta severidad, el parche de baja y alta severidad, y el hinchamiento, no afectan el estado del pavimento, pues el tamaño de estas fallas no es representativo comparado con toda la unidad de muestra. Su valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.20 se obtuvieron 6 valores deducidos: 21, 14.5, 6.2, 5.8, 4.8 y 1.7. Se obtiene como máximo valor deducido corregido 32, dando como resultado un índice de 68 que corresponde a un pavimento bueno.

Se recomienda aplicar un riego asfáltico y un bacheo profundo para la depresión de severidad alta.

Tabla 5.19. Hoja de registro de la unidad de muestra U9, tramo 1, sección 3, de la Av. Luis Montero.

METODO PCI						ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE									
HOJA DE REGISTRO									
Nombre de la vía: <u>Av. Luis Montero</u>			Sección: <u>3</u>			Unidad de muestra: <u>U9</u>			
Ejecutor: <u>Edgar Daniel Rodríguez Velásquez</u>			Fecha: <u>02/02/2009</u>			Área: <u>228.75</u>			
1. Piel de cocodrillo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios	16. Fisura parabolica o por deslizamiento						
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento						
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemperismo y						
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril-berma	14. Ahuellamiento	desprendimiento de agregados						
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversales	15. Desplazamiento							
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	
2L	0.1292	0.04	0.893	0.7035	0.04	1.37	1.8057	0.79	0
5L	5	5	5	5	28.8	14.4	48.8	21.33	21
6L	0.4	0.8	0.8	3.3			5.3	2.32	5.8
7H	9						9	3.93	14.5
10L	3.4	0.19					3.59	1.57	0
10H	0.19						0.19	0.08	0
11L	0.0081						0.0081	0.004	0
11M	0.98520576						0.9852	0.43	6.2
11H	0.036						0.036	0.02	0
14L	0.378						0.378	0.17	1.7
17L	0.72						0.72	0.31	0
18L	3.6	20					23.6	10.32	4.8

Tabla 5.20. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U9.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	21	14.5	6.2	5.8	4.8	1.7		54	5	26
2	21	14.5	6.2	5.8	2	1.7		51.2	4	27
3	21	14.5	6.2	2	2	1.7		47.4	3	29
4	21	14.5	2	2	2	1.7		43.2	2	32
5	21	2	2	2	2	1.7		30.7	1	31
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 32 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 68 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U10

La unidad de muestra U10 sigue perteneciendo a la sección 3 y tiene un área de 228.75 m², al igual que sus predecesoras.

Las fallas de nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, parches, baches, ahuellamiento y peladura. Se presenta además un parche con nivel de severidad alto. Ver tabla 5.21.

La falla que más afecta al deterioro del pavimento es la corrugación, seguida de los dos baches y finalmente el parche de alta severidad.

Las fallas menos influyentes son la peladura, ahuellamiento, las depresiones, los parches y las fisuras longitudinales y transversales. La única falla que no afecta al pavimento es la exudación de valor deducido igual a cero.

Como se aprecia en la tabla 5.22 se obtuvieron 7 valores deducidos: 22.8, 17.8, 12, 8.4, 4.7, 3.4 y 0.5. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 39, dando como resultado un índice de 61 que corresponde a un pavimento bueno.

Para mejorar el estado de la unidad de muestra analizada se recomienda aplicar un riego de liga, un bacheo para los huecos y realizar la sustitución del parche.

Tabla 5.22. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U10.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	22.8	17.8	12	8.4	4.7	3.4	0.5		69.6	6	32
2	22.8	17.8	12	8.4	4.7	2	0.5		68.2	5	35
3	22.8	17.8	12	8.4	2	2	0.5		65.5	4	36
4	22.8	17.8	12	2	2	2	0.5		59.1	3	39
5	22.8	17.8	2	2	2	2	0.5		49.1	2	36
6	22.8	2	2	2	2	2	0.5		33.3	1	34
7											
8											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 39 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 61 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U11

La unidad de muestra U11 pertenece a la sección 3, tramo 1, de la Av. Luis Montero y tiene un área de 228.75 m².

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: exudación, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, fisuras parabólicas y peladura. Además hay parches de mediana severidad, y fisuras longitudinales y transversales de severidad media y alta. Ver tabla 5.23.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación, los parches de severidad media y las depresiones por ser todas fallas estructurales.

Las fallas que menos afectan al pavimento son: las peladuras y las fisuras longitudinales y transversales de mediana severidad. El resto de fisuras no influyen en la condición del pavimento, debido a su poco tamaño. Lo mismo ocurre con la exudación que tiene valor deducido cero.

Como se aprecia en la tabla 5.24 se obtuvieron 5 valores deducidos: 29, 22.2, 16.4, 9.2 y 1.9. Se obtiene como máximo valor deducido corregido 45, dando como resultado un índice de 55 que corresponde a un pavimento regular.

Se recomienda aplicar un riego asfáltico, un bacheo profundo para la depresión y la sustitución de los tres parches encontrados.

Tabla 5.24. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U11.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	29	22.2	16.4	9.2	1.9		78.7	4	44
2	29	22.2	16.4	2	1.9		71.5	3	45
3	29	22.2	2	2	1.9		57.1	2	42
4	29	2	2	2	1.9		36.9	1	37
5									
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 45 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 55 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Unidad de muestra U12

La unidad de muestra U12 sigue perteneciendo a la sección 3 y tiene un área de 228.75 m², al igual que las unidades anteriores.

Todas las fallas localizadas tuvieron un nivel de severidad bajo: exudación, corrugación, depresión, parches y peladura. Ver tabla 5.25.

Las fallas que más afectan al deterioro del pavimento son: la corrugación, que abarca casi la mitad del área de la unidad; las depresiones, que son fallas estructurales muy dañinas y la peladura que se extiende más de la mitad del área de la unidad.

Las únicas fallas que no influyen en el pavimento son la exudación y el parche. Sus valores deducidos son iguales a cero.

Como se aprecia en la tabla 5.26 se obtuvieron 3 valores deducidos: 30.5, 27.9 y 14.4. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 45, dando como resultado un índice de 55 que corresponde a un pavimento regular.

Para mejorar el estado de la unidad de muestra analizada se recomienda aplicar un riego de liga o riego asfáltico.

Tabla 5.26. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U12.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	30.5	27.9	14.4				72.8	3	41
2	30.5	27.9	2				60.4	2	45
3	30.5	2	2				34.5	1	34
4									
5									
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 45 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 55 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Unidad de muestra U13

La unidad de muestra U13 pertenece a la sección 3, tramo 1, de la Av. Luis Montero y tiene un área de 228.75 m².

Las fallas encontradas fueron: exudación, corrugación, depresión, parches y peladuras. Todas con nivel de severidad bajo. Ver tabla 5.27.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación y las depresiones, por ser todas fallas estructurales.

La falla que menos afecta al pavimento es la peladura, que cubre gran parte del área de la unidad de muestra.

El resto de fallas no influyen en la condición del pavimento, debido a sus pequeñas dimensiones, como es el caso de la exudación y el parche. Su valor deducido cero.

Como se aprecia en la tabla 5.28 se obtuvieron 3 valores deducidos: 29.4, 25 y 15.1. Se obtiene como máximo valor deducido corregido 44, dando como resultado un índice de 56 que corresponde a un pavimento bueno.

Se recomienda aplicar un riego de liga y un bacheo poco profundo para la depresión.

Tabla 5.28. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U13.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	29.4	25	15.1					69.5	3	44
2	29.4	25	2					56.4	2	42
3	29.4	2	2					33.4	1	33
4										
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 44 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 56 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U14

La unidad de muestra U14 sigue perteneciendo a la sección 3 y tiene un área de 228.75 m², al igual que las unidades anteriores, a partir de la U6 en adelante.

La corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, dos parches y las peladuras, son las fallas que presentaron un nivel de severidad bajo. Además, se localizó un parche de nivel medio, fisuras longitudinales y transversales de niveles mediano y alto, y dos baches de nivel alto de severidad. Ver tabla 5.29.

Las fallas que más afectan al deterioro del pavimento son los baches, gracias a su alta severidad. Seguida a esta falla se encuentran las fallas estructurales de depresión y corrugación. Finalmente, extendiéndose por más de la mitad de área, está la peladura.

Las fallas que ejercen menos influencia sobre el estado del pavimento son los parches y las fisuras longitudinales y transversales. La fisura de nivel de severidad bajo, no influye para nada en el pavimento, su valor deducido es cero.

Como se aprecia en la tabla 5.30 se obtuvieron 8 valores deducidos: 49.9, 24.5, 22.3, 14.8, 9.8, 9.1, 3.1 y 2.5. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 67, dando como resultado un índice de 33 que corresponde a un pavimento malo.

Para mejorar el pavimento malo se recomienda aplicar un riego de liga y un bacheo profundo.

Tabla 5.30. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U14.

#	Valor Deducido									Total	q	CDV
1	49.9	24.5	22.3	14.8	9.8	5.46	1.86	1.5		130.1	6	66
2	49.9	24.5	22.3	14.8	9.8	2	1.86	1.5		126.7	5	66
3	49.9	24.5	22.3	14.8	2	2	1.86	1.5		118.9	4	67
4	49.9	24.5	22.3	2	2	2	1.86	1.5		106.1	3	65
5	49.9	24.5	2	2	2	2	1.86	1.5		85.76	2	62
6	49.9	2	2	2	2	2	1.86	1.5		63.26	1	64
7												
8												

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 67 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 33 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MALO} \quad}$$

Unidad de muestra U15

La unidad de muestra U15 pertenece a la sección 3, tramo 1, de la Av. Luis Montero y tiene un área de 228.75 m².

Las fallas encontradas fueron: exudación, corrugación, depresión, parche, fisura parabólica y peladura.

El parche es la única falla que tiene un nivel de severidad alto; el resto, presenta un bajo nivel de severidad. Ver tabla 5.31.

Las fallas más influyentes en el deterioro del pavimento son la corrugación y la peladura. La corrugación por ser una falla estructural y la peladura por abarcar la mayor parte del área de U15.

Las fallas que menos afectan al pavimento son la depresión y el parche de alta severidad.

El resto de fallas no influyen en la condición del pavimento, debido a sus pequeñas dimensiones, como es el caso de la exudación y la fisura parabólica. Su valor deducido cero.

Como se aprecia en la tabla 5.32 se obtuvieron 4 valores deducidos: 21.1, 13, 10.1 y 9.6. Se obtiene como máximo valor deducido corregido 28, dando como resultado un índice de 72 que corresponde a un pavimento muy bueno.

Tabla 5.32. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U15.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	21.1	13	10.1	9.6			53.8	4	27
2	21.1	13	10.1	2			46.2	3	28
3	21.1	13	2	2			38.1	2	28
4	21.1	2	2	2			27.1	1	26
5									
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 28 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 72 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MUY BUENO} \quad}$$

Unidad de muestra U16

La unidad de muestra U16 es la última unidad de muestra perteneciente al tramo 1. Con dicha unidad se han alcanzado los 600 metros lineales correspondientes a un sentido de vía de la Av. Luis Montero. El área sigue siendo la misma, de 228.75 m².

La exudación, fisuras en bloque, corrugación, depresión, parches y peladura, son las fallas que presentaron un nivel de severidad bajo. Además, se localizaron dos parches de nivel medio. Ver tabla 5.33.

Las fallas que más afectan al deterioro del pavimento son la corrugación y los parches de mediana severidad.

Las fallas que ejercen menos influencia sobre el estado del pavimento son las depresiones y la peladura.

La exudación, fisuras en bloque y el parche de baja severidad tienen un valor deducido igual a cero, pues sus dimensiones son despreciables comparadas con la superficie total de la unidad de muestra U16.

Como se aprecia en la tabla 5.34 se obtuvieron 4 valores deducidos: 30, 19.9, 15.1 y 10.3. Siguiendo el procedimiento, se obtiene como máximo valor deducido corregido 43, dando como resultado un índice de 57 que corresponde a un pavimento bueno.

Para mejorar el pavimento se recomienda aplicar un riego asfáltico y el reemplazo de parches por otros en mejor estado.

Tabla 5.34. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U16.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	30	19.9	15.1	10.3			75.3	4	41
2	30	19.9	15.1	2			67	3	43
3	30	19.9	2	2			53.9	2	40
4	30	2	2	2			36	1	36
5									
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 43 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 57 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

5.1.2. Resultados del tramo 2

El tramo 2 ocupa la vía de sentido contrario al tramo 1, y tiene una longitud total de 600 metros lineales. Su ancho es de 6.10 metros (ancho de vía) y toda el área es dividida en 16 unidades de muestra, cada una de 228.75 m².

El tramo 2 no presenta ningún cambio de sección, es decir, mantiene una sola sección a lo largo de toda su longitud. A ésta se le denomina sección 4.

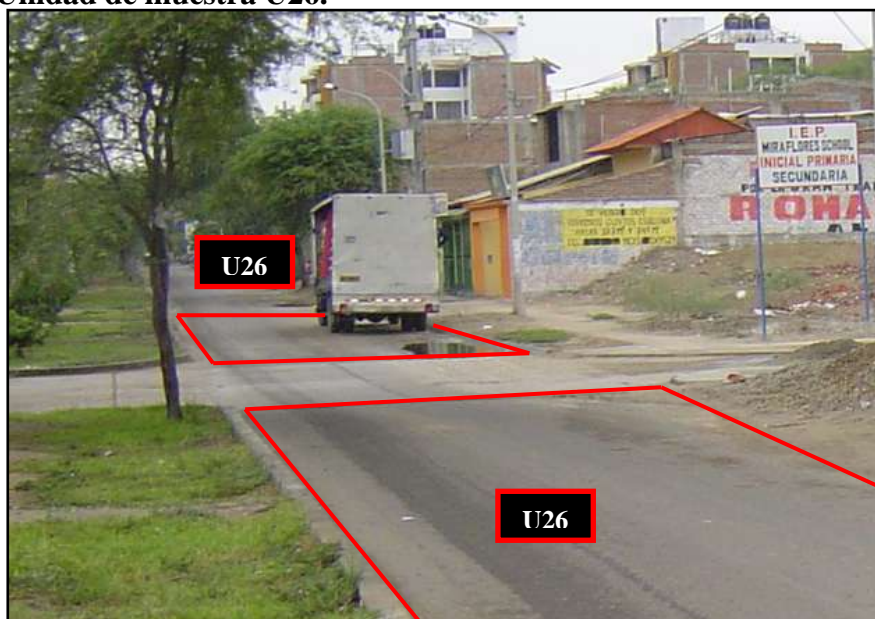
Dentro del tramo de estudio, la unidad de muestra U26, al igual que U7, queda atravesada por una región de pavimento rígido, por tratarse de la misma intersección de pista. Con el mismo criterio, sólo se consideró pavimento flexible, no tomando en cuenta la losa de concreto. Ver figura 5.4.

Otro detalle que cabe resaltar es que se detectó una falla nueva en la unidad de muestra U19. Se encontró un abultamiento de severidad alta (4H) originado por las raíces de un árbol, que deformaron el pavimento empujándolo hacia arriba, una longitud de 3.00 m. Esta falla es la que más influye en el deterioro del pavimento, por tratarse de una falla estructural muy perjudicial para la pista. El PCI obtenido fue de 32, es decir, un pavimento en mal estado. El resto de fallas encontradas, son repetidas de aquellas localizadas en todo el tramo 1.

Se recomienda hacer un bacheo para el abultamiento de severidad alta y para el resto de fallas se pueden aplicar las mismas técnicas de reparación recomendadas para las unidades del tramo 1 (riego de liga, reemplazo de parches, bacheos).

En el anexo C se presentan las hojas de registro, de cada unidad de muestra inspeccionada. Las fotografías de las principales fallas de las unidades de muestra del tramo 2, se encuentran detalladas en el anexo B.

Figura 5.4. Unidad de muestra U26.



Se muestra la unidad de muestra U26 (color rojo), dividida por la intersección de pavimento rígido.

5.2. Interpretación de resultados

Una vez registrados todos los datos de campo, y obtenidos los índices de condición respectivos para cada unidad de muestra, se puede calcular el PCI promedio de las 4 secciones consideradas, para tener una idea global de cuál es el estado del pavimento de la Av. Luis Montero. En la tabla 5.67 se muestra un resumen de estos resultados.

Tabla 5.67. Resumen de resultados de los datos de PCI en la Av. Luis Montero.

RESUMEN DE RESULTADOS										
Unidad de muestra	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Sección	Área	PCI unidad de muestra	Descripción	PCI sección	Descripción		
U1	0 + 000	0 + 37.5	1	228.75	53	Regular	51	Regular		
U2	0 + 37.5	0 + 75.0	1	228.75	51	Regular				
U3	0 + 75.0	0 + 112.5	1	228.75	50	Regular				
U4	0 + 112.5	0 + 131.33	1	114.88	51	Regular	60	Bueno		
	0 + 131.33	0 + 150.0	2	113.87	66	Bueno				
U5	0 + 150.0	0 + 187.5	2	228.75	57	Bueno	56	Bueno		
U6	0 + 187.5	0 + 225.0	3	228.75	64	Bueno				
U7	0 + 225.0	0 + 262.5	3	228.75	41	Regular				
U8	0 + 262.5	0 + 300.0	3	228.75	59	Bueno				
U9	0 + 300.0	0 + 337.5	3	228.75	68	Bueno				
U10	0 + 337.5	0 + 375.0	3	228.75	61	Bueno				
U11	0 + 375.0	0 + 412.5	3	228.75	55	Regular				
U12	0 + 412.5	0 + 450.0	3	228.75	55	Regular				
U13	0 + 450.0	0 + 487.5	3	228.75	56	Bueno				
U14	0 + 487.5	0 + 525.0	3	228.75	33	Malo				
U15	0 + 525.0	0 + 562.5	3	228.75	72	Muy Bueno				
U16	0 + 562.5	0 + 600.0	3	228.75	57	Bueno				
U17	0 + 600.0	0 + 637.5	4	228.75	72	Muy Bueno			43	Regular
U18	0 + 637.5	0 + 675.0	4	228.75	66	Bueno				
U19	0 + 675.0	0 + 712.5	4	228.75	32	Malo				
U20	0 + 712.5	0 + 750.0	4	228.75	25	Muy Malo				
U21	0 + 750.0	0 + 787.5	4	228.75	55	Bueno				
U22	0 + 787.5	0 + 825.0	4	228.75	28	Malo				
U23	0 + 825.0	0 + 862.5	4	228.75	12	Muy Malo				
U24	0 + 862.5	0 + 900.0	4	228.75	39	Malo				
U25	0 + 900.0	0 + 937.5	4	228.75	14	Muy Malo				
U26	0 + 937.5	0 + 975	4	228.75	37	Malo				
U27	0 + 975.0	1 + 12.5	4	228.75	45	Regular				
U28	1 + 12.5	1 + 50.0	4	228.75	51	Regular				
U29	1 + 50.0	1 + 87.5	4	228.75	61	Bueno				
U30	1 + 87.5	1 + 125.0	4	228.75	48	Regular				
U31	1 + 125.0	1 + 162.5	4	228.75	51	Regular				
U32	1 + 162.5	1 + 200.0	4	228.75	50	Regular				

En el Anexo D, se presenta el plano de planta de la Av. Luis Montero, donde se aprecia la red de pavimento (1200 metros lineales de pavimento flexible), dividida en 32 unidades de muestra, cada una con su respectivo valor del PCI.

Agrupando los resultados en tramos, el tramo 1, que comprende desde la unidad de muestra U1 hasta la U16, presenta un PCI promedio de 56, lo que corresponde a un pavimento bueno. El tramo 2, que contiene las unidades de muestra restantes (U17-U32), tiene un PCI de 43, un pavimento regular. Se puede afirmar, por lo tanto, que la Av. Luis Montero, en los 1200 metros lineales analizados, tiene un pavimento regular (de PCI ponderado igual a 49, incluyendo a todas las 32 unidades de muestra) y que la pista del tramo 1 está en mejores condiciones que la del tramo 2.

En el tramo 1, la sección 1 muestra una calidad de pavimento regular, de PCI igual a 51, pues cada una de sus unidades de muestra presentan la misma calificación. La siguiente sección, constituida por la unidad de muestra U5 y parte de la U4, presenta un pavimento de buena calidad, pues su PCI es de 60, el mayor de todos los valores obtenidos en una sección.

La sección 3, al igual que la sección anterior, sigue teniendo una calidad de pavimento buena, pero con un PCI igual a 56. De las once unidades de muestra que forman parte de dicha sección, tres son regulares y tan sólo una es de calidad mala. Del resto, seis unidades son buenas y la U15 tiene un pavimento de muy buena condición.

Por último, ya en el tramo 2, la sección 4 posee un pavimento de condición regular, con un índice promedio de 43. Del total de 16 unidades de muestra inspeccionadas, se presentaron 5 regulares, 3 buenas y una muy buena. El resto de unidades tuvieron pavimentos de mal y muy mal estado.

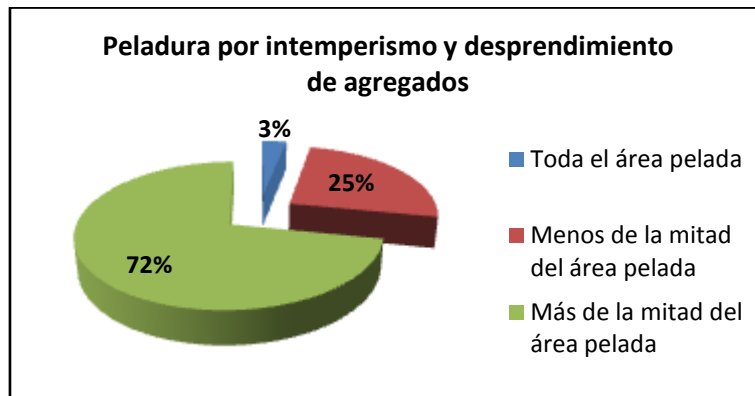
El mayor valor de PCI lo tienen las unidades de muestra U15 y U17, igual a 72 y de condición muy buena. El menor PCI, de 12, corresponde a la unidad de muestra U23 de muy mal estado.

Siguiendo con el análisis de resultados, se hablará de las fallas más frecuentes encontradas en las distintas unidades de muestra. Éstas son la peladura (18L) y la corrugación (5L), ambas de nivel de severidad bajo. Estos dos tipos de deterioro del pavimento, se localizaron en todas las unidades de muestra inspeccionadas. A veces cubrían toda el área de la unidad, o parte de ella, pero todos los 32 paños presentaron estos dos tipos de falla.

La densidad, es el porcentaje de área de la unidad de muestra en la que se encuentra una determinada falla. Por ejemplo, si la falla tipo corrugación (5L) tiene una densidad de 60%, quiere decir que 60% del área de la unidad de muestra está corrugada a un nivel de severidad bajo. O dicho de otra manera, 137 m² de la unidad de muestra se encuentran corrugados a un nivel bajo de severidad.

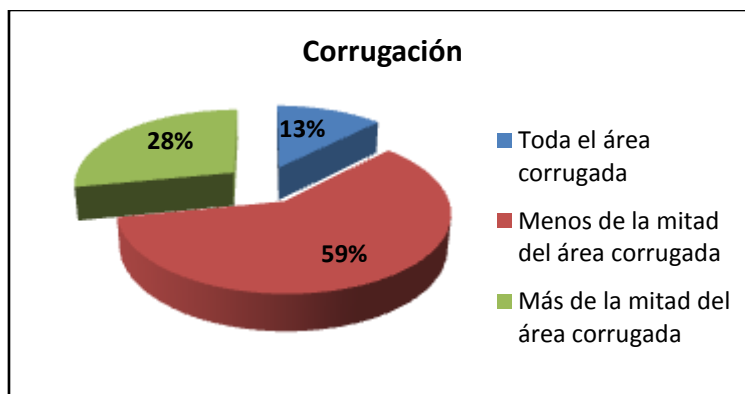
De acuerdo a los resultados obtenidos se puede afirmar que para la peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados, un 3% de las unidades de muestra, presentan peladura en todos los 228.75 m² de su área. Un 72% de las unidades presentan esta falla en más de la mitad del área. Y finalmente, un 25% de las unidades de muestra tienen pelada menos de la mitad de su área de pavimento. Ver gráfico 5.2.

Gráfico 5.2. Porcentaje de unidades de muestra con falla tipo peladura.



Ahora, para la corrugación, un 13% de las unidades de muestra, presentan todos los 228.75 m² de su área corrugada. Un 28% de las unidades presentan esta falla en más de la mitad del área. Y por último, un 59% de las unidades de muestra tienen corrugada menos de la mitad de su área de pavimento. Ver gráfico 5.3.

Gráfico 5.3. Porcentaje de unidades de muestra corrugadas.



Las fallas que mayor daño producen al pavimento, son aquellas que presentan un valor deducido alto. De todas las fallas inspeccionadas, la que causó más deterioro en el pavimento, con un valor deducido de 61.7, fueron los baches de severidad media. Estos huecos se localizaron en la unidad de muestra U25, sección 4, tramo 2, de la Av. Luis Montero. El número equivalente de baches registrados fueron nueve. Ver figura 5.5.

También se encontraron baches en las unidades de muestra U14 y U20, secciones 3 y 4, respectivamente. En ambos casos, los baches tuvieron un grado de severidad alto, con un valor deducido de 49.9.

Por último, en la unidad de muestra U7, sección 3, la depresión de mediana severidad tiene un valor deducido de 42.5 y de igual manera es una de las fallas que más afecta al pavimento.

Debido a la presencia de las fallas antes mencionadas, el valor del índice de condición del pavimento para cada unidad de muestra es bajo. En la U20 y U25, con valores de PCI de

25 y 14 respectivamente, el pavimento es de muy mal estado en ambas unidades. La unidad de muestra U14 presenta un pavimento malo, de PCI igual a 33. Finalmente, la unidad de muestra U7, con un PCI de 41 tiene un pavimento de regular estado.

Figura 5.5. **Baches de severidad media en la unidad de muestra U25.**



Los baches de 1.5 cm de profundidad cubren un área total de 4.5 m². Tienen un diámetro promedio de 75 cm (no confundir con fisura de borde) y corresponden a un nivel de severidad medio.

En la tabla 5.68 se muestra un resumen de las fallas que más daño originan al pavimento, agrupadas en secciones y tramos. Se indica el tipo de falla, el valor deducido y la unidad de muestra a la que pertenecen.

Tabla 5.68. Fallas que más daño producen al pavimento. Se presentan las 3 fallas más representativas por cada sección, por cada tramo y en general.

Sección 1 (S1)			Sección 2 (S2)		
Falla	V.D.	Unidad	Falla	V.D.	Unidad
Corrugación (L)	39.0	Todas	Corrugación (L)	26.6	U5
Baches (L)	17.8	U3	Ahuellamiento (L)	17.1	U5
Peladura (L)	15.8	U3 - U4	Depresión (L)	14.0	U5

Sección 3 (S3)			Sección 4 (S4)		
Falla	V.D.	Unidad	Falla	V.D.	Unidad
Baches (H)	49.9	U14	Baches (M)	61.7	U25
Depresión (M)	42.5	U7	Baches (H)	49.9	U20
Corrugación (L)	30.5	U12	Depresión (L)	42.3	U26

Tramo 1 (S1, S2, S3)			Tramo 2 (S4)		
Falla	V.D.	Unidad	Falla	V.D.	Unidad
Baches (H)	49.9	U14 (S3)	Baches (M)	61.7	U25 (S4)
Depresión (M)	42.5	U7 (S3)	Baches (H)	49.9	U20 (S4)
Corrugación (L)	39.0	Todas de S1	Depresión (L)	42.3	U26 (S4)

En general		
Falla	V.D.	Unidad
Baches (M)	61.7	U25 (S4)
Baches (H)	49.9	U14 - U20 (S3-S4)
Depresión (M)	42.5	U7 (S3)

De las tablas se aprecia que en las secciones 1 y 2 la falla 5L, corrugación de nivel de severidad bajo, es la falla que más daña al pavimento. En las secciones 3 y 4, en cambio, los baches de severidad alta y mediana, deterioran de manera significativa a la pista.

Pero agrupando las fallas de acuerdo a los dos tramos considerados, son los baches los que ocupan el primer lugar de daño al pavimento.

Las fallas de menor valor deducido son las que menos deterioro causan en el pavimento. Un valor deducido de cero, significa que el tamaño de la falla es despreciable comparado con las dimensiones de la unidad de muestra.

En las curvas de valor deducido, el valor mínimo de densidad porcentual con el que hay que ingresar es 0.1 en todas las fallas. Densidades menores a ese valor, no son consideradas, pues no influyen en el estado de la pista. En la tabla 5.69 se resumen las fallas registradas de valor deducido nulo, indicando las densidades de cada una y las unidades de muestra en donde se encuentran.

Tabla 5.69. Fallas que menos daño producen al pavimento. Se presentan las fallas más representativas por cada sección, por cada tramo y en general.

Sección 1 (S1)			Sección 2 (S2)		
Falla	Densidad %	Unidad	Falla	Densidad %	Unidad
Parches (L)	0.005	U3	Parches (L)	0.02	U4
Desplazamiento (L)	0.01	U3	Desplazamiento (L)	0.05	U5
Exudación (L)	0.02	U2	Fisura parabólica (L)	0.05	U5

Sección 3 (S3)			Sección 4 (S4)		
Falla	Densidad %	Unidad	Falla	Densidad %	Unidad
Parches (L)	0.004	U7 -U9	Exudación (L)	0.04	U24
Fisura parabólica (L)	0.01	U15	Parches (H)	0.07	U28
Exudación (L)	0.02	U7	Hinchamiento (L)	0.07	U18
Parches (H)	0.02	U9	Exudación (L)	0.08	U32
Desplazamiento (L)	0.02	U8			

Tramo 1 (S1, S2, S3)			Tramo 2 (S4)		
Falla	Densidad %	Unidad	Falla	Densidad %	Unidad
Parches (L)	0.004	U7 - U9 (S3)	Exudación (L)	0.04	U24 (S4)
Parches (L)	0.005	U3 (S1)	Parches (H)	0.07	U28 (S4)
Desplazamiento (L)	0.01	U3 (S1)	Hinchamiento (L)	0.07	U18 (S4)
Fisura parabólica (L)	0.01	U15 (S3)	Exudación (L)	0.08	U32 (S4)

En general		
Falla	Densidad %	Unidad
Parches (L)	0.004	U7 - U9 (S3)
Parches (L)	0.005	U3 (S1)
Desplazamiento (L)	0.01	U3 (S1)
Fisura parabólica (L)	0.01	U15 (S3)

De la tabla anterior, las fallas que menos influyen en el deterioro del pavimento son los parches de baja severidad, de las unidades U7 y U9, sección 3, del tramo 1.

Pero no se encontraron todas las 18 fallas consideradas en el método. Durante la inspección visual de la avenida, no se registraron algunas fallas como: a) piel de cocodrilo, b) desnivel carril-berma, c) fisuras de reflexión de junta, y d) agregado pulido.

Debido a las obras de reparación en la Av. Luis Montero, la falla tipo piel de cocodrilo no se localizó en ninguna unidad de muestra. Las fisuras que se encontraron no formaban mallas o redes, eran independientes y muy espaciadas entre sí. Es por ello que la mayor parte de unidades de muestra presentan un estado regular y bueno, pues la piel de cocodrilo es una falla de tipo estructural de consecuencias severas para el pavimento.

La avenida presenta bermas construidas a ambos lados de la vía que no dan lugar a que se produzca algún desnivel entre el carril y la berma. Además, durante los trabajos de reparación, se llevó a cabo la construcción de sardinales (bermas) de concreto simple para evitar justamente este tipo de deterioro.

Las fisuras de reflexión de junta no se encontraron porque no existe pavimento rígido debajo de la carpeta asfáltica. El pavimento flexible está construido sobre base y subbase granular, mas no sobre losas de concreto.

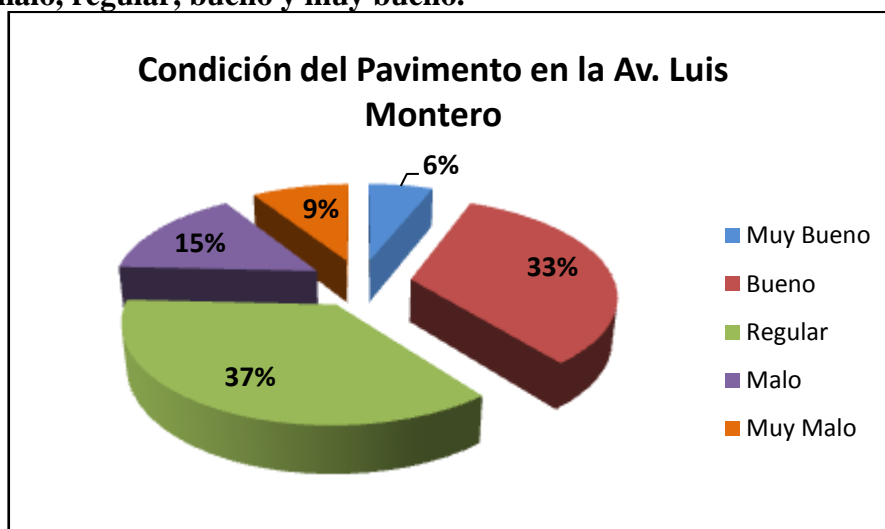
Finalmente, como se vio en el Capítulo 3, en los criterios de inspección, si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área. Se registró exudación en casi todas las unidades de muestra, excepto en U14 y U25, donde tampoco se encontró agregado pulido.

Conclusiones

- Se ha determinado el estado en que se encuentra la red de pavimento flexible de la Av. Luis Montero, que consta de dos tramos de 600 metros lineales cada uno (de acuerdo a los dos sentidos de vía existentes). El tramo 1 se divide en 3 secciones, mientras que el tramo 2 tiene una sola sección. Se inspeccionaron un total de 32 unidades de muestra (16 por tramo) obteniendo los siguientes resultados (ver gráfico 5.1):

El 37% del total de unidades de muestra inspeccionadas presentan un estado de pavimento regular (PCI entre 40 y 55); después le sigue un 33% de unidades en buen estado (PCI entre 55 y 70); un 15%, en estado malo (PCI entre 25 y 40) y un 9% de muy mala condición (PCI entre 10 y 25). Finalmente, un 6% hace referencia a unidades de muestra con un pavimento de muy buen estado (PCI entre 70 y 85). No se encontraron pavimentos fallados (PCI entre 0 y 10) ni excelentes (PCI entre 85 y 100).

Gráfico 5.1. Porcentaje de unidades de muestra con un estado de pavimento muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno.



- El estado del pavimento de cada unidad de muestra, define la condición del pavimento de las secciones y de los tramos. Las secciones 1 y 4, obtuvieron un PCI de 51 y 43 respectivamente, lo que corresponde a un estado regular. Las demás secciones alcanzaron un PCI de 60 (sección 2) y 56 (sección 3), que quiere decir un pavimento de condición buena.

Agrupando los resultados en tramos, el tramo 1 (U1 - U16) presenta un PCI de 56, pavimento bueno; y el tramo 2 (U17-U32), un PCI de 43, pavimento regular.

Finalmente, tomando todas las unidades de muestra sin distinción de tramos, se calcula el PCI ponderado de los 1200 metros de la Av. Luis Montero, resultado igual a 49, es decir, que el estado real del pavimento de la vía analizada, es regular.

Esta condición del pavimento se debe gracias a las obras de reparación realizadas el año 2008 (bacheos y riego de liga en determinadas áreas) que han aminorado la formación de fallas como fisuras, baches, depresiones, etc. mejorado la calidad del pavimento. Esto también ayudó a que no se registraran fallas como piel de cocodrilo, que suelen ser muy dañinas para el pavimento.

- ➡ Las fallas más frecuentes encontradas son la peladura y la corrugación, ambas de nivel de severidad bajo. Todas las 32 unidades de muestra presentaron estos dos tipos de falla, pero con densidades variables.

Esto ayudó a que el PCI tenga un estado regular porque estas fallas no afectan al tránsito normal de vehículos. Las vibraciones dentro del vehículo son mínimas y no es necesario disminuir la velocidad. La peladura y la corrugación, no son percibidas por el conductor, pues no causa incomodidad.

- ➡ A mayor valor deducido, mayor es el daño que las fallas producen al pavimento pues este valor indica el grado en que cada combinación de deterioro, nivel de severidad y cantidad, afectan a la condición del mismo. Por el contrario, un valor deducido de cero, quiere decir que el tamaño de la falla dentro de la unidad de muestra es despreciable, o muy pequeña como para ejercer un daño significativo al área de estudio.

Los baches de mediana severidad de la unidad de muestra U25, originan el máximo valor deducido registrado de 61.7. Le siguen los baches de severidad alta de las unidades U14 y U20, con un valor deducido de 49.9. Por último, en la unidad de muestra U7, la depresión de mediana severidad tiene un valor deducido de 42.5 y de igual manera es una de las tres fallas que más afecta al pavimento.

Las densidades más bajas registradas fueron de los parches de baja severidad localizados en las unidades de muestra U7, U9 con valores de 0.004% y U3 con 0.005%. Además, con densidades de 0.01% se encontraron desplazamientos y fisuras parabólicas ambas de baja severidad, en las unidades U3 y U15 respectivamente.

- ➡ En aquellas unidades de muestra donde se encontraron fallas estructurales (tales como baches, todo tipo de fisuras, depresiones y parches) con densidades mayores a 0.1% como mínimo, el valor del PCI obtenido fue bajo, es decir, el estado del pavimento era malo. No importa el nivel de severidad que tengan, incluso un nivel bajo causa un daño significativo a la pista. Este tipo de fallas afectan tanto a la estructura del pavimento (capas del paquete estructural) como a la serviciabilidad del mismo, pues el usuario no se siente cómodo ni seguro, al transitar sobre el pavimento deteriorado.

- En las unidades de muestra donde se encontraron fallas funcionales (exudación, peladura), es necesario que las densidades sean elevadas y las fallas de alta intensidad, para que influyan en el deterioro del pavimento. Por el mismo hecho de ser fallas funcionales, es decir, de afectar sólo la serviciabilidad de la vía, no producen daño importante en las capas del paquete estructural. Si una falla funcional de baja severidad afecta a toda una unidad de muestra, el usuario puede transitar sobre el pavimento, sin mucha incomodidad.
- Para mejorar el PCI promedio de una sección, de un tramo o de la avenida en general, es necesario incrementar el PCI individual de las unidades de muestra en peor estado a través de determinadas técnicas de reparación. En la tabla 1, se presenta un resumen de las unidades de muestra en peor estado ($PCI < 40$), con las fallas que mayor daño producen al pavimento.

Tabla 1. Unidades de muestra en estado malo y muy malo.

Unidad de muestra	Progresivas	Fallas	Severidad	Cantidad
U14	0 + 487.5 0 + 525.0	13. Baches	Alta	2 baches
		6. Depresión	Baja	37.10 m ²
		5. Corrugación	Baja	53.80 m ²
U19	0 + 675.0 0 + 712.5	4. Abultamientos y hundimientos	Alta	3.00 ml
		11. Parches	Alta	7.26 m ²
		5. Corrugación	Baja	65.00 m ²
U20	0 + 712.5 0 + 750.0	13. Baches	Alta	2 baches
		13. Baches	Media	3.60 baches
		5. Corrugación	Baja	73.80 m ²
U22	0 + 787.5 0 + 825.0	6. Depresión	Baja	94.25 m ²
		13. Baches	Alta	1 bache
		5. Corrugación	Baja	155.55 m ²
U23	0 + 825.0 0 + 862.5	13. Baches	Media	4 bache
		13. Baches	Alta	1 bache
		6. Depresión	Baja	59.85 m ²
		5. Corrugación	Baja	198.25 m ²
		6. Depresión	Baja	59.85 m ²
U24	0 + 862.5 0 + 900.0	5. Corrugación	Baja	201.30 m ²
		6. Depresión	Baja	70.00 m ²
U25	0 + 900.0 0 + 937.5	13. Baches	Media	9 baches
		6. Depresión	Baja	73.13 m ²
		11. Parches	Alta	6.55 m ²
		5. Corrugación	Baja	106.75 m ²
U26	0 + 937.5 0 + 975.0	18. Peladura	Baja	50.00 m ²
		6. Depresión	Baja	134.50 m ²
		5. Corrugación	Baja	195.20 m ²

Las técnicas más apropiadas, a aplicar en las unidades de muestra anteriores serían: bacheo para baches profundos y depresiones, y un reemplazo de los parches deteriorados. Si se desea mejorar aún más la condición de la avenida se debe aplicar un riego de liga para reparar el problema de la corrugación y peladura, que son las fallas más frecuentes.

Dentro de los tipos de riego que pueden ser aplicados a este pavimento en particular, se encuentran las lechadas asfálticas o *Slurry Seal* y el riego pulverizado, también llamado *Fog Seal*. Ambos se pueden usar como procedimientos preventivos o correctivos de la superficie del pavimento, para el tratamiento de vías urbanas.

Una lechada asfáltica es la combinación de agregado bien graduado con emulsión asfáltica, agua, filler y aditivos (en caso sean necesarios); la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger la carpeta. Con esta técnica se corrigen irregularidades superficiales menores (corrugaciones), se evita el desprendimiento de agregados y peladura, se mejora la resistencia al deslizamiento, se impermeabiliza la superficie del pavimento y se proporciona una superficie muy resistente al desgaste.

Un riego pulverizado, en cambio, es la aplicación ligera de una emulsión asfáltica a la superficie de un pavimento, pero sin el uso de agregados. Se utiliza principalmente para sellar superficies del pavimento que han comenzado a presentar desintegraciones como peladuras de severidad baja, debido al endurecimiento del cemento asfáltico cercano a la superficie.

Bibliografía

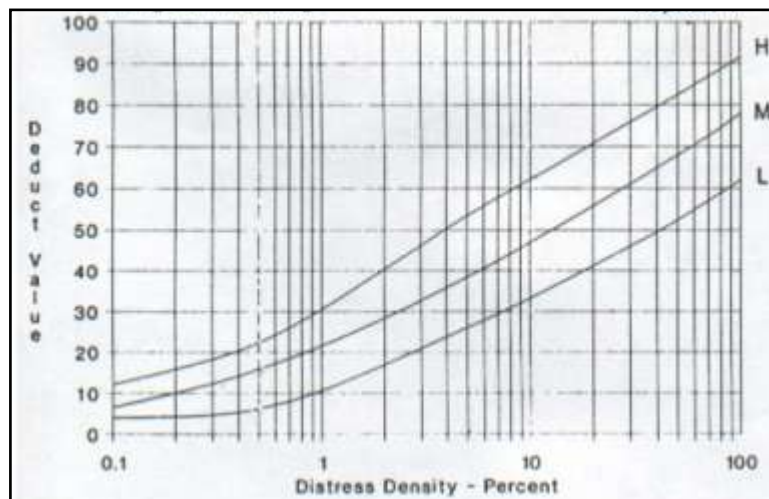
1. American Society for Testing and Materials. (2004). *Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433-03)*. Estados Unidos. 81 pp.
2. Mgtr. Ing. Jorge Timaná Rojas. (2003). *Concepto de performance o comportamiento*. Tecnología de pavimentos. Universidad de Piura. 49 pp.
3. Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica. (2002). *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*. Volumen nº 11. 29 pp.
4. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. 289 pp.
5. Suárez Cruzado, Wilder David. (2005). *Técnicas de reparación, conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos*. Tesis (Ingeniero Civil). Piura; Universidad de Piura. 153 pp.
6. Peña Escobar, Alexander. (2005). *Cálculo del índice de estado para establecer una estrategia de recuperación vial en la carretera Piura-Sechura*. Tesis (Ingeniero Civil) Piura; Universidad de Piura. 117pp.
7. Cardoso, S.H. & Fernández, M.E. (1999). *Aplicaciones prácticas del Método PCI para el mantenimiento de pavimentos de aeropuertos*. Lima, Perú. 232 pp.
8. Ing. José Melchor A. (2005). *Diseño y evaluación de pavimentos flexibles*. Curso de titulación profesional por actualización de conocimientos. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima, Perú. 154 pp.
9. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de aeropuertos. (1999). *Programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos P.C.I.* Gobierno de Chile. 39 pp.
10. U.S. Army Engineer Research and Development Center. (2001). *Manual: Paver asphalt surfaced airfields Pavement Condition Index (PCI)*. United States of America. 114 pp.

11. Carlos M. Chang Albitres. (2005). *Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro*. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú. 150 pp.
12. Ing. Luc Gerard. *Evaluación de pavimentos e inventario vial*. (2005). Diseño, Construcción, Mantenimiento de Carreteras. I y IV Congreso de Obras de Infraestructura Vial. Instituto de la Construcción y Gerencia. 160 pp.
13. Hernán de Solminihac T. Ing Civil. *Planificación y Gestión Vial. Gestión de Infraestructura Vial (2006)*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Curso de Maestría de la Universidad de Piura. 48 pp.
14. MTAG. Maintenance Technical Advisory Guide. Volume I, 2nd Edition. *Flexible Pavement Preservation. Slurry Seals (2007)*. Caltrans Division of Maintenance. 20 pp.

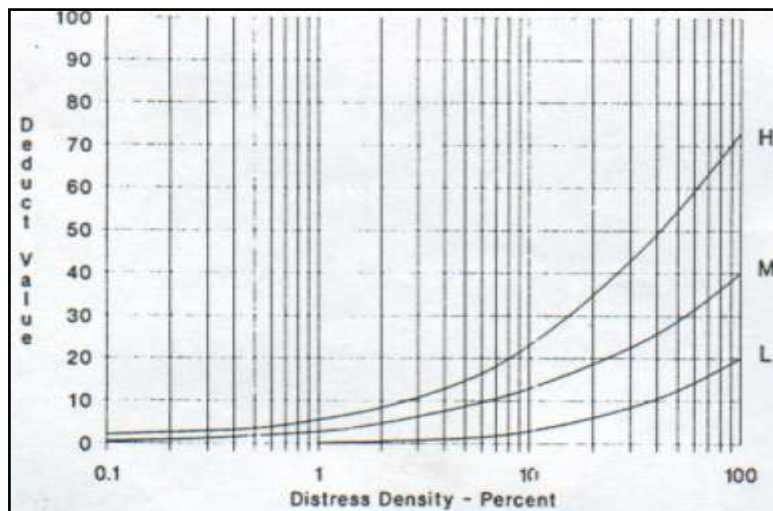
Anexo A

Curvas de valor deducido

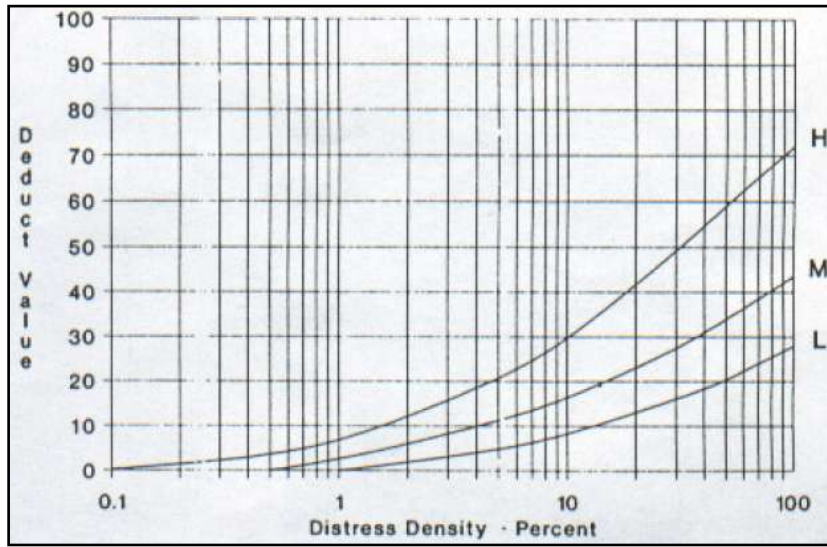
1. Piel de Cocodrilo



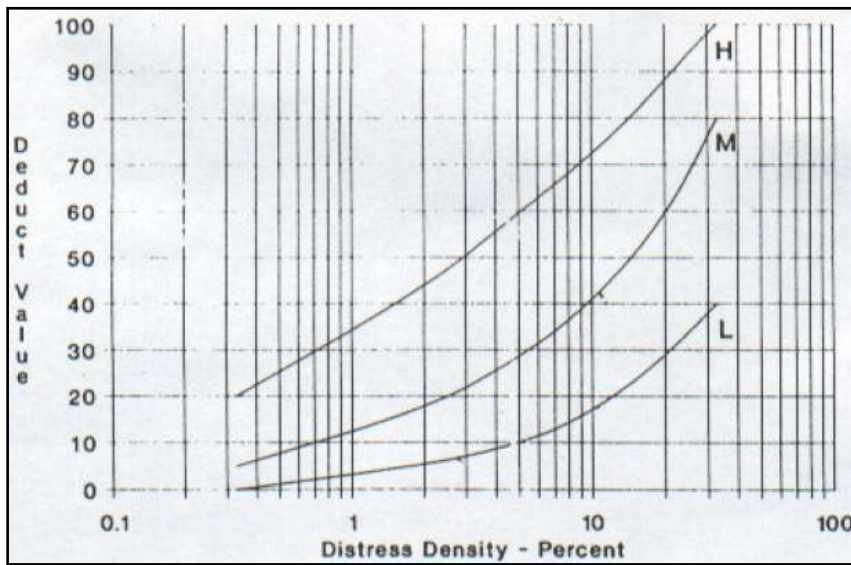
2. Exudación



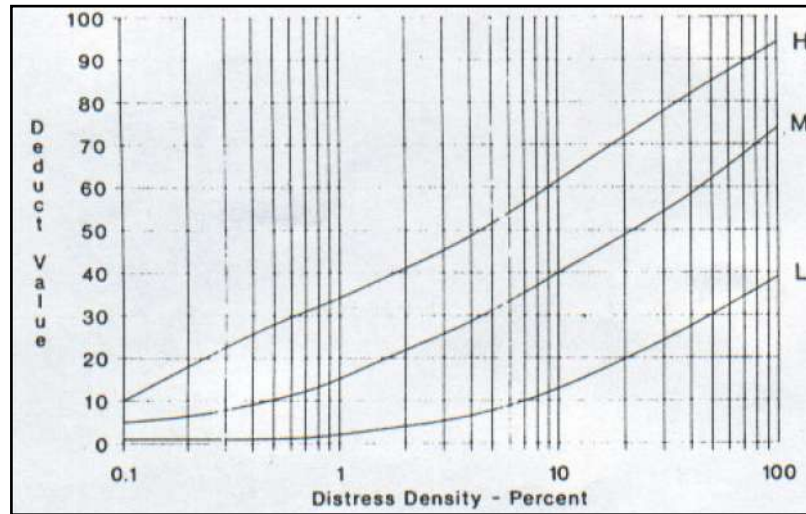
3. Fisuras en bloque



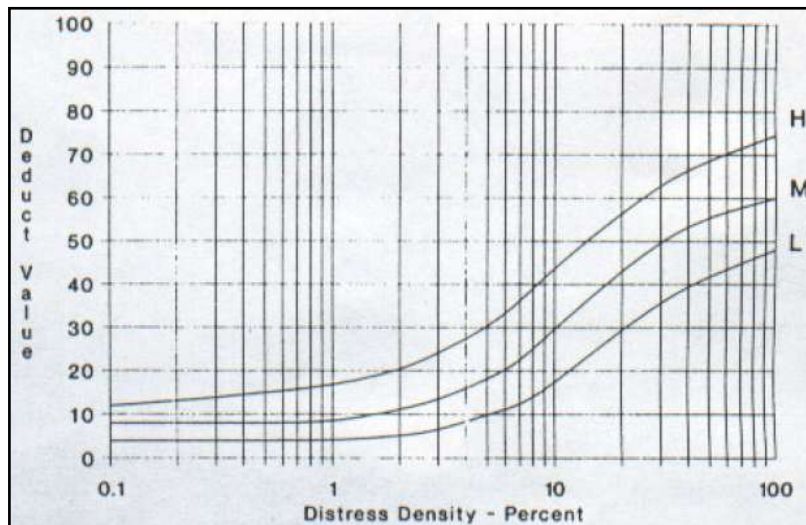
4. Abultamientos y hundimientos



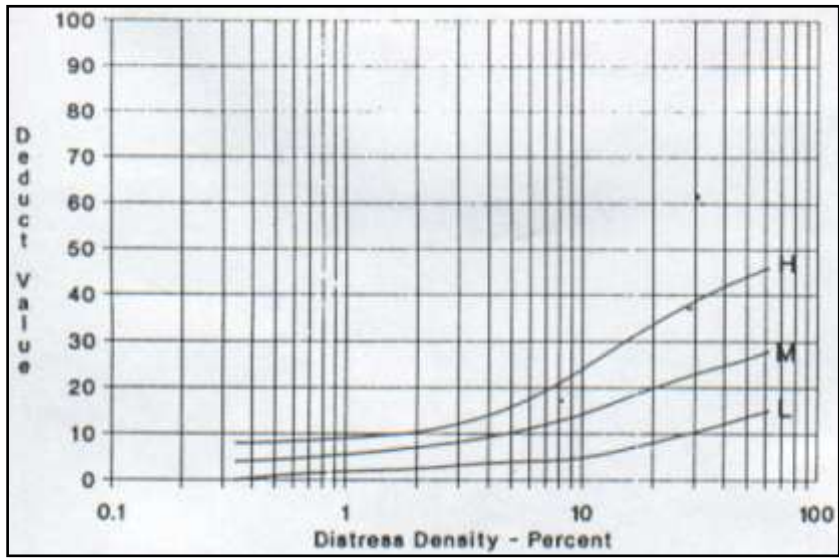
5. Corrugación



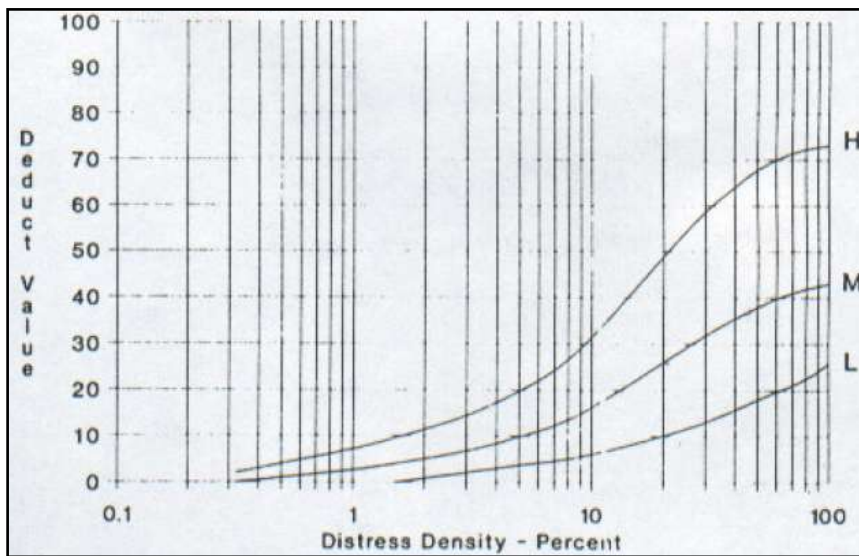
6. Depresión



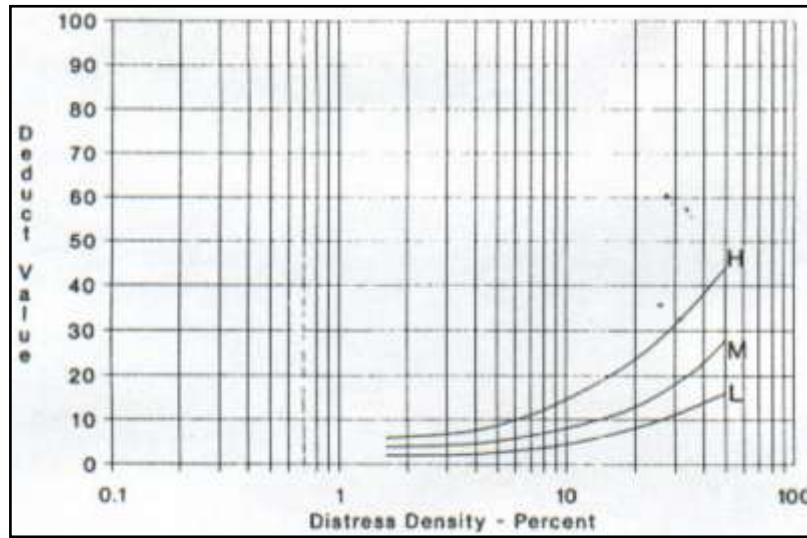
7. Fisuras de borde



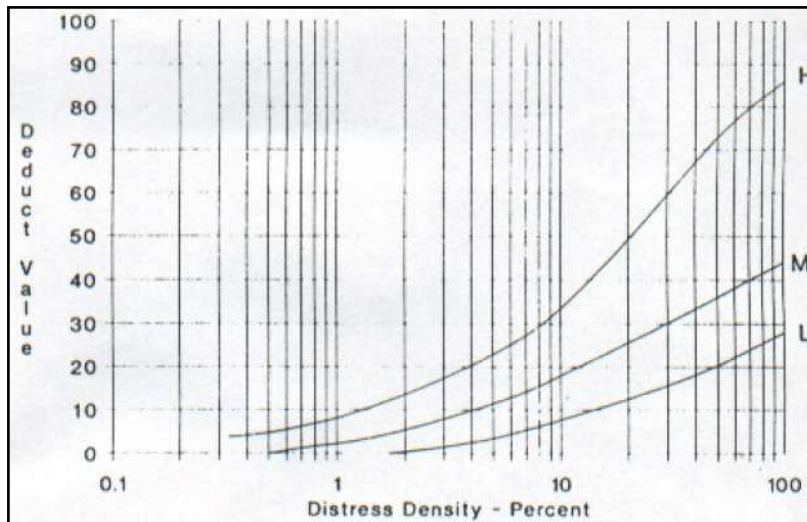
8. Fisuras de reflexión de junta



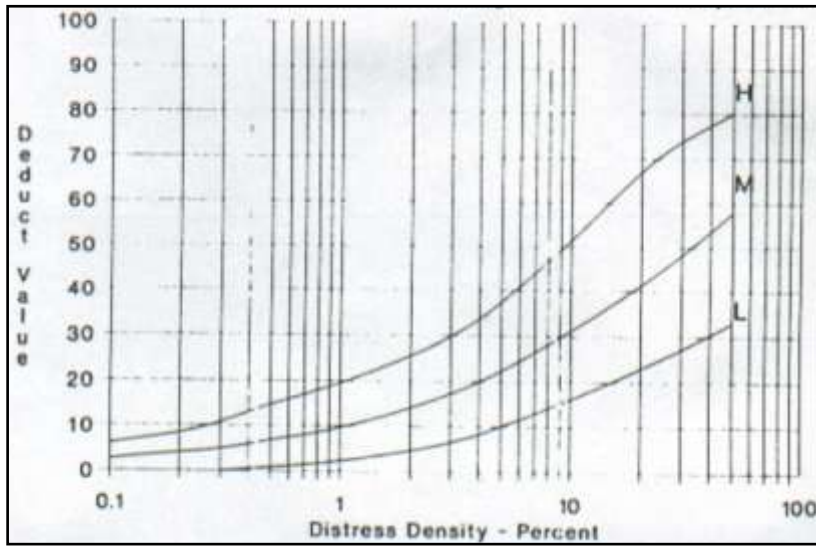
9. Desnivel carril - berma



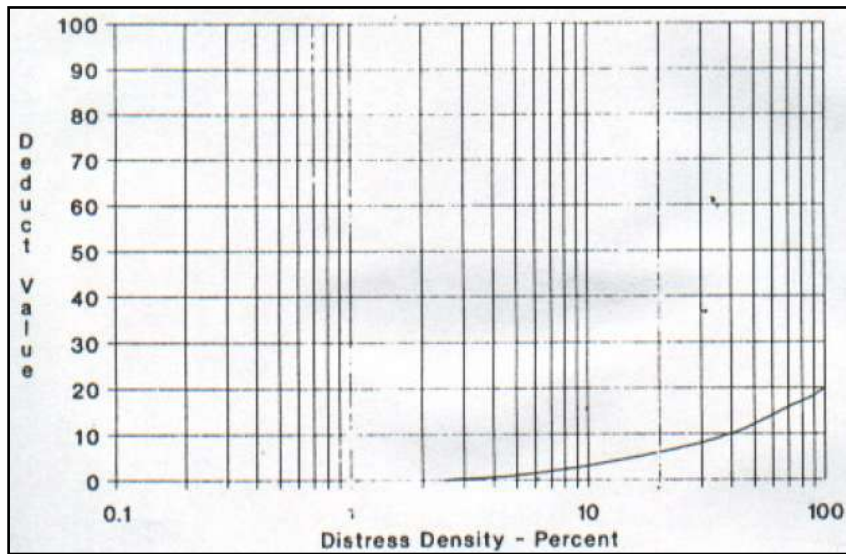
10. Fisuras longitudinales y transversales



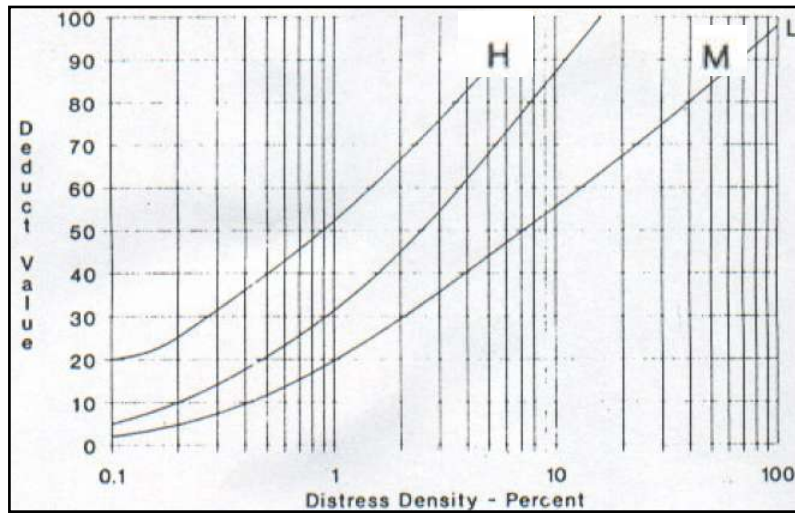
11. Parches y parches de cortes utilitarios



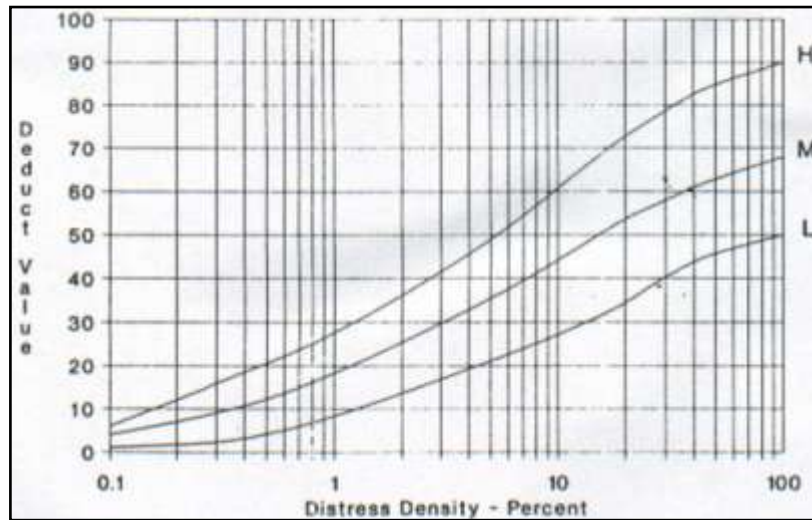
12. Pulimiento de agregados



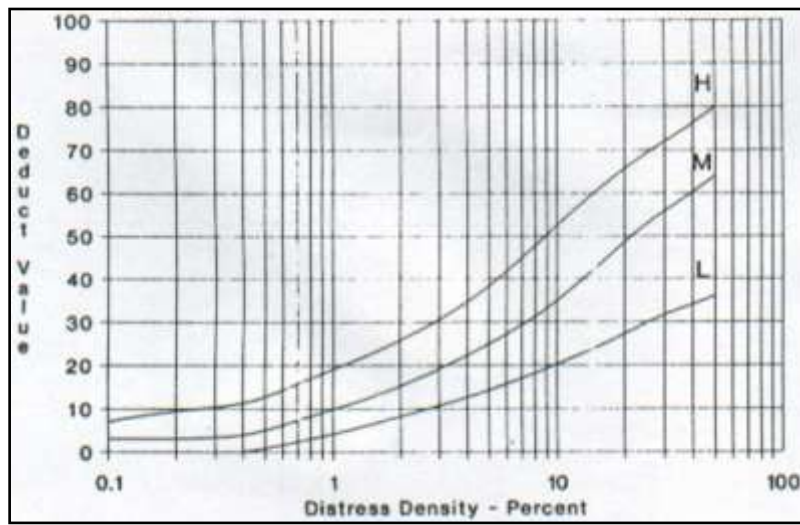
13. Baches



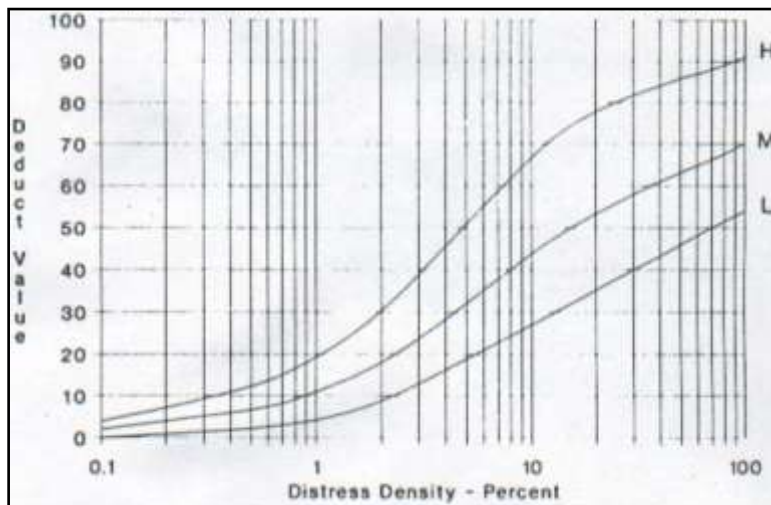
14. Ahuellamiento



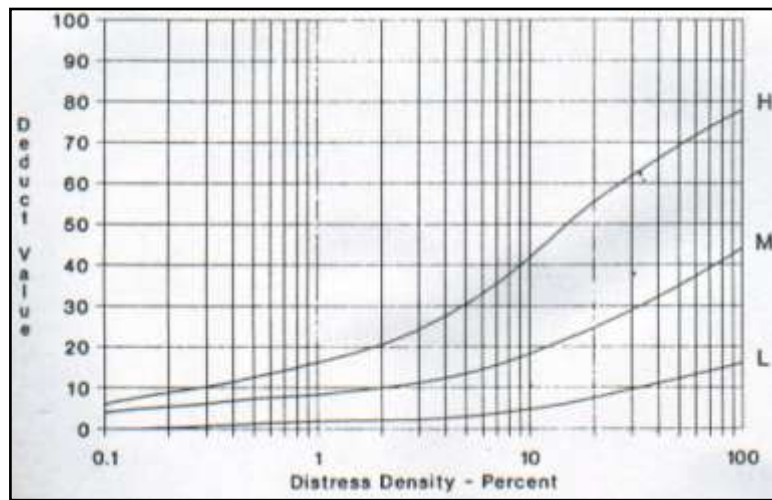
15. Desplazamiento



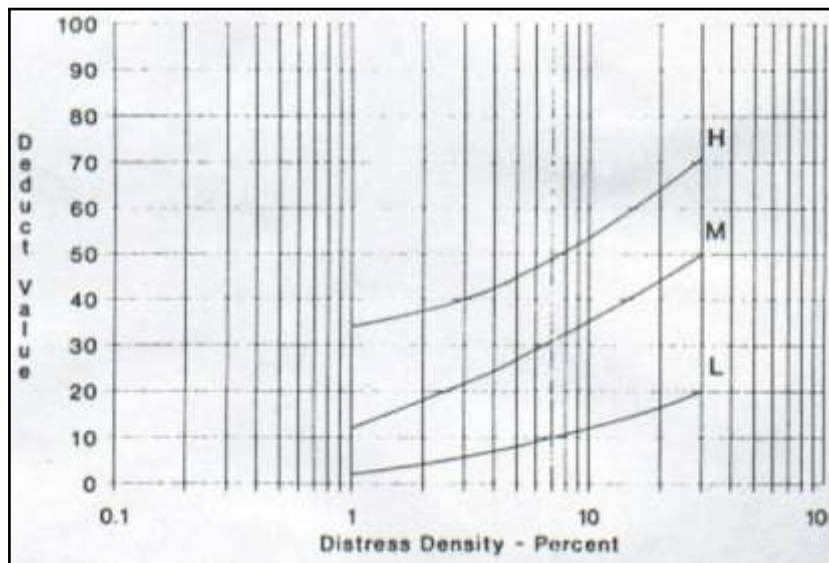
16. Fisura parabólica



17. Peladura y desprendimiento



18. Hinchamiento



Anexo B
Fotografías de fallas

Figura 1. Exudación.



Exudación de nivel de severidad bajo, ubicada en la unidad de muestra U8, sección 3.

Figura 2. Exudación.



Manchas de exudación de nivel de severidad bajo, localizadas en la unidad de muestra U31, sección 4.

Figura 3. Fisuras en bloque.



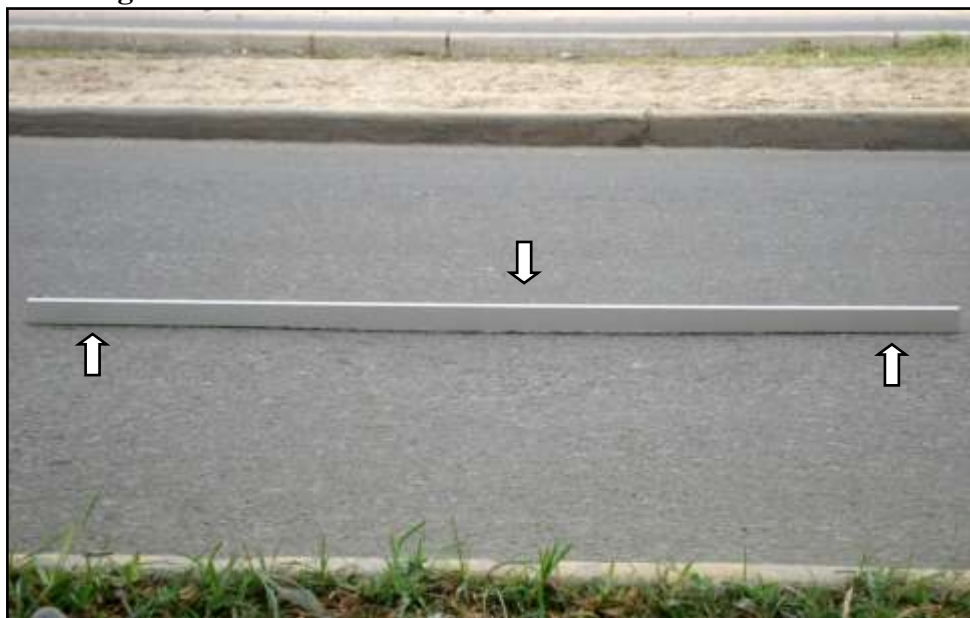
Fisuras en bloque de baja severidad, de la unidad de muestra U16, sección 3. Se observan finas fisuras que van conectándose entre sí formando pequeños paños.

Figura 4. **Abultamiento.**



Abultamiento de alta severidad en la unidad de muestra U19, sección 4, originado por las raíces del árbol que han ido deformado el pavimento.

Figura 5. **Corrugación.**



Corrugación de baja severidad encontrada en todas las unidades de muestra inspeccionadas. En el punto medio de la regla, el pavimento se deprime ligeramente, mientras que en los extremos, se levanta.

Figura 6. Depresión.



Depresión de nivel de severidad bajo, en la unidad de muestra U1, sección 1. Se observa el empozamiento de agua en la pista, producto de este tipo de falla.

Figura 7. Depresión.



Depresión de mediana severidad, en la unidad de muestra U4, sección 2. La profundidad supera los 2.5 cm.

Figura 8. Fisura de borde.



Fisura de borde de baja severidad de 2.4 ml, ubicada en la unidad de muestra U6, sección 3. Se señala los puntos de inicio y término de la fisura.

Figura 9. Fisura de borde.



Fisura de borde de alto nivel de severidad. Se localiza en la unidad de muestra U24, sección 4. El pavimento se ha desprendido a lo largo del borde de la pista.

Figura 10. Fisura longitudinal.



Fisura longitudinal de mediana severidad, ubicada en la unidad de muestra U25, sección 4.

Figura 11. Fisura longitudinal.



Fisura longitudinal de severidad baja encontrada en la unidad de muestra U4, sección 2. Esta falla tiene una longitud de 1.30 m.

Figura 12. Fisura transversal.



**Fisura transversal de grado de severidad alto, en la unidad de muestra U22, sección 4.
Su longitud es de 30 cm.**

Figura 13. Parche.



**Parche de bajo nivel de severidad. Se encuentra en la unidad de muestra U23,
sección 4. El parche cubre todo el ancho de vía y tiene un espesor de 60 cm.**

Figura 14. **Parche.**



**Parche de nivel de severidad medio, ubicado en la unidad de muestra U14, sección 3.
Está conformado por bloquetas de concreto.**

Figura 15. **Parche de corte utilitario.**



**Tapa de buzón localizada dentro de la pista de la unidad de muestra U11, sección 3,
considerada como parche de corte utilitario.**

Figura 16. Bache.



**Bache de grado de severidad alto, registrado en la unidad de muestra U20, sección 3.
Tiene una profundidad de 15 cm y un diámetro de 50 cm.**

Figura 17. Bache.



Bache de alta severidad, ubicado en la unidad de muestra U23, sección 4.

Figura 18. Ahuellamiento.



Ahuellamiento de bajo nivel de severidad, encontrado en la unidad de muestra U5, sección 2.

Figura 19. Desplazamiento.



Desplazamiento de nivel bajo. Esta falla se ubica en la unidad de muestra U3, sección 1. El desplazamiento ha provocado fisuración (indicada) en una de las juntas de berma.

Figura 20. Desplazamiento.



Desplazamiento de nivel se severidad bajo, en la unidad de muestra U7, sección 3. La losa de concreto empuja al pavimento asfáltico, produciendo el desplazamiento (indicado).

Figura 21. Desplazamiento.



Ligero desplazamiento de nivel se severidad bajo, en la unidad de muestra U26, sección 4. Al igual que en la falla anterior, el pavimento rígido es el que provoca el desplazamiento (indicado).

Figura 22. **Fisura parabólica.**



Fisura parabólica de nivel de severidad bajo. Se localiza en la unidad de muestra U5, sección 2.

Figura 23. **Hinchamiento.**



Hinchamiento de nivel bajo de severidad. Se ubica en la unidad de muestra U1, sección 1. Se observa cómo el pavimento tiene una protuberancia que intenta “trepar” a la berma.

Figura 24. **Peladura.**



Peladura de grado de severidad bajo, encontrado en todas las unidades de muestras inspeccionadas.

Figura 25. **Peladura.**



Peladura de grado de severidad medio, registrado en la unidad de muestra U2, sección 1.

Anexo C

Hojas de registro del tramo 2

A continuación se presentan las hojas de registro de las unidades pertenecientes al tramo 2, desde la unidad de muestra U17 hasta la U32.

Además se muestran las tablas de cálculo para obtener el índice de condición PCI de cada unidad de muestra evaluada.

Tabla 3. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U17.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	15.8	15.1	14	5.5			50.4	4	26
2	15.8	15.1	14	2			46.9	3	28
3	15.8	15.1	2	2			34.9	2	25
4	15.8	2	2	2			21.8	1	21
5									
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 28 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 72 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MUY BUENO} \quad}$$

Tabla 4. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U18.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	23.6	14.9	12.2	9.6	3.5		63.8	5	33
2	23.6	14.9	12.2	9.6	2		62.3	4	34
3	23.6	14.9	12.2	2	2		54.7	3	34
4	23.6	14.9	2	2	2		44.5	2	33
5	23.6	2	2	2	2		31.6	1	32
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 34 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 66 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Tabla 7. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U19.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	37.7	31.6	24.4	19.5	5.1	3.1		121	6	64
2	37.7	31.6	24.4	19.5	5.1	2		120	5	63
3	37.7	31.6	24.4	19.5	2	2		117	4	68
4	37.7	31.6	24.4	2	2	2		99.7	3	64
5	37.7	31.6	2	2	2	2		77.3	2	56
6	37.7	2	2	2	2	2		47.7	1	47
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 68 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 32 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MALO} \quad}$$

Tabla 8. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U20.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	49.9	39.5	25.9	13.9	9	2.88	2.04	143.1	7	69
2	49.9	39.5	25.9	13.9	9	2.88	2	143.1	6	70
3	49.9	39.5	25.9	13.9	9	2	2	142.2	5	74
4	49.9	39.5	25.9	13.9	2	2	2	135.2	4	75
5	49.9	39.5	25.9	2	2	2	2	123.3	3	75
6	49.9	39.5	2	2	2	2	2	99.4	2	70
7	49.9	2	2	2	2	2	2	61.9	1	62
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 75 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 25 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MUY MALO} \quad}$$

Tabla 11. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U21.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	34.8	21.1	13.1	5.5				74.5	4	41.6
2	34.8	21.1	13.1	2				71	3	45
3	34.8	21.1	2	2				59.9	2	44
4	34.8	2	2	2				40.8	1	40
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 45 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 55 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Tabla 12. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U22.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
1	38.2	37.2	34.4	13.7	12.9		136	5	70
2	38.2	37.2	34.4	13.7	2		126	4	72
3	38.2	37.2	34.4	2	2		114	3	66
4	38.2	37.2	2	2	2		81.4	2	58
5	38.2	2	2	2	2		46.2	1	46
6									
7									
8									

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 72 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 28 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MALO} \quad}$$

Tabla 13. Hoja de registro de la unidad de muestra U23, tramo 2, sección 4, de la Av. Luis Montero.

METODO PCI						ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE									
HOJA DE REGISTRO									
Nombre de la vía: <u>Av. Luis Montero</u>		Sección: <u>4</u>		Undidad de muestra: <u>U23</u>					
Ejecutor: <u>Edgar Daniel Rodríguez Velásquez</u>		Fecha: <u>06/03/2009</u>		Área: <u>228.75</u>					
1. Piel de cocodrillo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios		16. Fisura parabolica o por deslizamiento					
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido		17. Hinchamiento					
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches		18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados					
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril-berma	14. Ahuellamiento							
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversales	15. Desplazamiento							
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	
2L	0.35					0.35	0.15	0	
5L	76.25	30.5	24.4	67.1		198.25	86.67	37.1	
6L	9.6	4	12.5	11.25	22.5	59.85	26.16	32.9	
7H	3					3	1.31	9.6	
10M	0.2	0.15				0.35	0.15	0	
10H	0.24					0.24	0.10	0	
11L	1.8	4.2				6	2.62	5.8	
11M	0.502656					0.502656	0.22	4.6	
13M	1	1	1	1		4	1.75	41.7	
13H	1					1	0.44	37.2	
14L	22.5					22.5	9.84	26.9	
18L	131.25					131.25	57.38	13.1	

Tabla 15. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U23.

#	Valor Deducido										Total	q	CDV
1	41.7	37.2	37.1	32.9	26.9	13.1	7.39	4.47	3.54		204	9	79
2	41.7	37.2	37.1	32.9	26.9	13.1	7.39	4.47	2		203	8	79
3	41.7	37.2	37.1	32.9	26.9	13.1	7.39	2	2		200	7	80
4	41.7	37.2	37.1	32.9	26.9	13.1	2	2	2		195	6	88
5	41.7	37.2	37.1	32.9	26.9	2	2	2	2		184	5	88
6	41.7	37.2	37.1	32.9	2	2	2	2	2		159	4	87
7	41.7	37.2	37.1	2	2	2	2	2	2		128	3	78
8	41.7	37.2	2	2	2	2	2	2	2		92.9	2	66
9	41.7	2	2	2	2	2	2	2	2		57.7	1	57
10													

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 88 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 12 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MUY MALO} \quad}$$

Tabla 16. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U24.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	37.3	34.8	17.4	15.3	8.1	5.8		119	6	58
2	37.3	34.8	17.4	15.3	8.1	2		115	5	60
3	37.3	34.8	17.4	15.3	2	2		109	4	57
4	37.3	34.8	17.4	2	2	2		95.5	3	61
5	37.3	34.8	2	2	2	2		80.1	2	58
6	37.3	2	2	2	2	2		47.3	1	47
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 61 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 39 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MALO} \quad}$$

Tabla 19. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U25.

#	Valor Deducido										Total	q	CDV
1	61.7	35.3	30.2	30.1	13.6	8.58	6.62	5.01	3.46		195	9	82
2	61.7	35.3	30.2	30.1	13.6	8.58	6.62	5.01	2		193	8	82
3	61.7	35.3	30.2	30.1	13.6	8.58	6.62	2	2		190	7	81
4	61.7	35.3	30.2	30.1	13.6	8.58	2	2	2		185	6	86
5	61.7	35.3	30.2	30.1	13.6	2	2	2	2		179	5	86
6	61.7	35.3	30.2	30.1	2	2	2	2	2		167	4	84
7	61.7	35.3	30.2	2	2	2	2	2	2		139	3	83
8	61.7	35.3	2	2	2	2	2	2	2		111	2	86
9	61.7	2	2	2	2	2	2	2	2		77.7	1	82
10													

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 86 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 14 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MUY MALO} \quad}$$

Tabla 20. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U26.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	42.3	37	15.8	1.5				96.6	3	63
2	42.3	37	2	1.5				82.8	2	60
3	42.3	2	2	1.5				47.8	1	48
4										
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 63 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 37 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MALO} \quad}$$

Tabla 23. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U27.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	34.1	33.6	14.4	9.6	6.7				98.4	5	54
2	34.1	33.6	14.4	9.6	2				93.7	4	53
3	34.1	33.6	14.4	2	2				86.1	3	55
4	34.1	33.6	2	2	2				73.7	2	53
5	34.1	2	2	2	2				42.1	1	42
6											
7											
8											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 55 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 45 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Tabla 24. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U28.

#	Valor Deducido								Total	q	CDV
1	42.3	37	15.8	1.5					96.6	3	63
2	42.3	37	2	1.5					82.8	2	60
3	42.3	2	2	1.5					47.8	1	48
4											
5											
6											
7											
8											

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 63 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 37 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{MALO} \quad}$$

Tabla 27. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U29.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	29.7	20.7	12.3					62.7	3	39
2	29.7	20.7	2					52.4	2	39
3	29.7	2	2					33.7	1	34
4										
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 39 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 61 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{BUENO} \quad}$$

Tabla 28. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U30.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	38.7	24.8	14.4	6.1	3.4			87.4	5	44
2	38.7	24.8	14.4	6.1	2			86	4	41
3	38.7	24.8	14.4	2	2			81.9	3	52
4	38.7	24.8	2	2	2			69.5	2	50.5
5	38.7	2	2	2	2			46.7	1	46
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 52 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 48 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Tabla 31. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U31.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	36.7	25.4	14.5					76.6	3	49
2	36.7	25.4	2					64.1	2	47
3	36.7	2	2					40.7	1	40
4										
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 49 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 51 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Tabla 32. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U32.

#	Valor Deducido							Total	q	CDV
1	33.7	28.9	15.8					78.4	3	50
2	33.7	28.9	2					64.6	2	47
3	33.7	2	2					37.7	1	37
4										
5										
6										
7										
8										

$$\text{Max CDV} = \underline{\quad 50 \quad}$$

$$\text{PCI} = \underline{\quad 50 \quad}$$

$$\text{Rating} = \underline{\quad \text{REGULAR} \quad}$$

Anexo D

Plano de unidades de muestra de la Av. Luis Montero

A continuación se presenta el plano de planta de la Av. Luis Montero, donde se aprecia la red de pavimento que ha sido analizada, es decir, los mil doscientos metros lineales de pavimento flexible que han sido inspeccionados durante la auscultación vial.

Se pueden observar las 32 unidades de muestra en que ha sido dividida la red, 16 para cada sentido de vía, con sus respectivas progresivas y con los valores del índice de condición de pavimento (PCI) obtenido de acuerdo al procedimiento ASTM D6433-03.