4 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL.

Como definimos en el Capítulo 1, las evaluaciones funcionales y estructurales determinan los deterioros presentes en el pavimento, dependiendo del tipo de pavimento, se realizan diferentes tipos de estudios de su estructura.

Los factores agresivos de mayor influencia en el desgaste de un pavimento son:

- Agua
- Tráfico
- Clima

El mal drenaje del agua en la carretera y las cargas repetitivas de tráfico sobre la misma, ponderan daños permanentes en el pavimento.

El pavimento puede ser evaluado mediante 3 distintas formas:

1. Inspección Visual
2. Ensayos no destructivos
3. Ensayos destructivos.

Nuestra evaluación abarcara los puntos 1 y 2 refiriéndonos a la inspección visual y a los ensayos no destructivos.

4.1 INSPECCIÓN VISUAL.

4.1.1 SISTEMA PAVER

El Laboratorio de Investigación Ingenieril de Construcción del Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los EE.UU. (USACERL), ha desarrollado un sistema de Evaluación y Administración de Pavimentos llamado PAVER para su uso militar y civil. Desde su implementación en 1980, ha obtenido una rápida aceptación en los círculos militares y civiles a través del mundo.

Para la calificación funcional y estructural de los pavimentos, el sistema PAVER utiliza el Índice de Condición del Pavimento (Pavement Condition Index = PCI) desarrollado por el USACERL.

El PCI es un objetivo, un método de graduación repetible para identificar la condición presente del pavimento.

El PCI provee una medida consistente de la integridad estructural del pavimento y su condición funcional-operacional graduándole de 0 a 100. Este índice es función de la densidad de las fallas en el área estudiada y del valor de deducción del pavimento por efectos de cada tipo de falla y de cada nivel de severidad.

El sistema PAVER resulta un instrumento de evaluación y administración de pavimentos de extremo valor siendo propiamente usado e implementado. La fase más importante de todo Sistema de Evaluación de Pavimentos, y del PAVER en especial, es la que incluye la recopilación de datos y su actualización, ya que de ésta dependerá la exactitud de los resultados a ser obtenidos de su procesamiento y las estrategias de mantenimiento y rehabilitación a adoptar a corto y largo plazo.

El concepto básico del sistema PAVER puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Para una red vial dada, se identifican los tramos y secciones que serán objeto de un inventario de fallas por muestreo.

2. Cada tipo de pavimento tiene un número definido de fallas posibles.

3. Para cada falla se define:

    - El tipo de falla (señalando el No. De código de acuerdo al tipo de pavimento).

    - La intensidad de la falla, el nivel de severidad (Bajo, Mediano, Alto).

    - La cantidad de la falla (medida o contada).

    Estos datos se registran en Formularios diseñados para ello.

4. Se define el Índice de Condición del Pavimento (PCI) de acuerdo a:

    $$PCI = 100 - CDV$$

    Siendo CDV el Valor de Deducción Corregido, el cual se obtiene para cada clase de pavimento de acuerdo al tipo, intensidad y densidad de sus fallas. En el Anexo A se muestra las tablas de CDV, para cada tipo de falla.

5. Por medio de un muestreo estadístico de las secciones de pavimento que forman los tramos de la red vial, la encuesta de campo y los conceptos de los pasos anteriores, se establece el valor de PCI para cada una de las secciones encuestadas. Idealmente, un pavimento “nuevo” tiene un PCI cercano a 100, mientras que uno muy deteriorado puede tener un PCI de 20 – 30 para abajo.

Guías Para Dividir Un Tramo En Secciones

Debido a que los tramos son generalmente unidades largas de la red vial, estos raramente poseen las mismas características en toda su longitud. Para los efectos del PAVER, los tramos deben subdividirse en secciones con características uniformes. Las características según las cuales se dividirán los tramos en secciones son:

- **Estructura del Pavimento.-** La estructura es uno de los criterios más importantes para dividir un tramo en secciones. Lamentablemente, no siempre se cuenta con información estructural sobre todos los tramos de la red. En todo caso, hay que inspeccionar datos constructivos y observar zonas de parcheo. En algunos casos deben contemplarse la realización de un programa de perforaciones para verificar la composición estructural de una sección de la red.

- **Tráfico.-** El volumen y la intensidad de tráfico deben ser uniformes en la sección.

- **Construcción.-** Todas las partes de una sección deben haber sido construidas en el mismo tiempo. Los pavimentos construidos en diferentes periodos deben ser divididos en secciones separadas correspondientes a los tiempos de construcción.

- **Clasificación Cualitativa del Pavimento.-** La clasificación cualitativa del pavimento puede usarse para dividir un tramo en secciones. Si un tramo cambia de primario a secundario, o de secundario a terciario, etc., se debe crear la sección correspondiente. Si un tramo se convierte en una carretera dividida, debe definirse una sección para cada dirección de tráfico.

- **Drenajes y Espaldones.-** Se recomienda que una sección y tenga el mismo tipo y ancho de espaldones y las mismas características de drenaje en toda su longitud.

Determinación Del Número De Muestras

El primer paso para la inspección por muestreo consiste en determinar el número mínimo de muestras (n) que debe ser inspeccionado. Esta determinación se hace usando la siguiente expresión:

$$n = \frac{N\,(SD)^2}{\frac{e^2}{4}\,(N-1) + (SD)^2}$$

Donde:

N = Número total de muestras en la sección

e = Error permisible al estimar el PCI de la sección.

SD = La desviación estándar del PCI entre las muestras de la sección que se obtiene de la siguiente expresión:

$$SD = \frac{\sum_{i-1}^{R} (PCIi - \overline{PCI})^2}{R - 1}$$

Donde:

R = Número de muestras en la sección inspeccionada sobre el que se calcula el valor SD

PCIi = PCI de la muestra i

PCI = PCI promedio de la sección según la expresión detallada a continuación:

$$\overline{PCI} = \frac{\sum_{i-1}^{R} PCIi}{R}$$

Selección De Muestras

La determinación de las muestras específicas a inspeccionar es tan importante como determinar el número mínimo de muestras. El método recomendado consiste en seleccionar muestras que están igualmente espaciadas entre si, pero la primera muestra debe ser seleccionada al azar. Esta técnica que se conoce como Muestreo Sistemático, se explica brevemente a continuación.

1. El "intervalo de muestreo" (i) se determina como:

   i = N / n

   donde

   N = # total de muestras en la sección;

   n = # de muestras a inspeccionar e

   (i) es recomendado al entero inferior, es decir para i = 3.7 se usa i = 3.

2. La muestra inicial (s) se determina al azar entre 1 y el intervalo de muestreo (i). Es decir, si i = 3, la muestra inicial podrá ser la 1, la 2 o la 3.

3. Las muestras a ser inspeccionadas se identifican como s, s+i, s+2i, etc. Es decir, si la muestra inicial determinada al azar ha sido la No. 2 e i = 3, las muestras a inspeccionar serán las No. 2, 5, 8, 11, etc. Esta técnica es simple y brinda la información necesaria para establecer el perfil del PCI a lo largo de la sección.

Selección De Muestras Adicionales

Una de las mayores objeciones del muestreo sistemático es la posibilidad de excluir muestras "muy malas" o "excelentes" que puedan existir en la sección. Otro problema resulta de seleccionar una muestra al azar que contenga fallas típicas tales como cruces de ferrocarril, etc.

Para superar este inconveniente, el inspector debe identificar las muestras inusuales como muestras adicionales. Una muestra adicional significa que la muestra no ha sido seleccionada al azar y/o contiene fallas que no son representativas de la sección. El sistema PAVER toma en cuenta las muestras adicionales de un modo especial y así su influencia en el cómputo del PCI de la sección es mucho menor que el de las muestras seleccionadas por la inspección.

4.1.2 IDENTIFICACION DE FALLAS

En esta parte se presenta la información necesaria para llevar a cabo la encuesta de fallas en el campo para pavimentos flexibles (Concreto Asfáltico = AC, Tratamientos Superficiales Bituminosos = TSB y Concreto Asfáltico sobre Hormigón = AC/PCC).

Falla No. 1

a) <u>Nombre de la Falla.-</u> Fisuramiento "Piel de Cocodrilo" (Aligator Cracking).

b) <u>Descripción.-</u> El fisuramiento "Piel de Cocodrilo" o de fatiga es una serie de fisuras interconectadas causadas por fatiga del concreto asfáltica, bajo las cargas repetitivas del tráfico.

   El fisuramiento comienza en la parte inferior de la capa de superficie donde se desarrollan los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión bajo la carga, y se propagan hacia la superficie, inicialmente como una serie de fisuras longitudinales paralelas. Bajo repeticiones adicionales de carga, las fisuras se interconectan formando como un mosaico que asemeja la piel del cocodrilo. Las piezas tienen menos de 60 cm en su lado mayor.

   Este fisuramiento ocurre solamente en áreas sujetas a las cargas de tráfico repetitivo, tales como las huellas. Por eso, no se presenta sobre toda una área, a menos que toda esta área este sujeta al tráfico. El fisuramiento que si se puede presentar sobre toda un área es el fisuramiento en bloque aunque éste no es causado por la carga de tráfico.

El fisuramiento "Piel de Cocodrilo" es una falla estructural mayor que está generalmente acompañada de surcos o deformaciones permanentes en las huellas.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: Fisuras Finas, Longitudinales, paralelas entre sí, con ninguna o pocas intersecciones. No hay desmembramiento de material a los lados.

Media: Desarrollo mayor de las fisuras formando una red o mosaico. Algunas fisuras pueden estar moderadamente desmembradas.

Alta: Amplio desarrollo de la red de fisuras con significativo desmembramiento. Algunas piezas pueden moverse bajo el tráfico.

d) Medición.- El fisuramiento "piel de cocodrilo" se mide en pies^2 o m^2 de área. La mayor dificultad al medir esta falla, es que el fisuramiento puede presentarse a 2 ó 3 niveles de severidad dentro del área afectada.

De ser posible, se tratará de registrar cada nivel por separado; caso contrario se registrará la falla en su nivel de severidad más alto para toda el área.

En las Fotos No. 4.1, No. 4.2 y No. 4.3 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.1.- Falla Piel de Cocodrilo – Severidad Baja

FOTO No. 4.2.- Falla Piel de Cocodrilo – Severidad Media

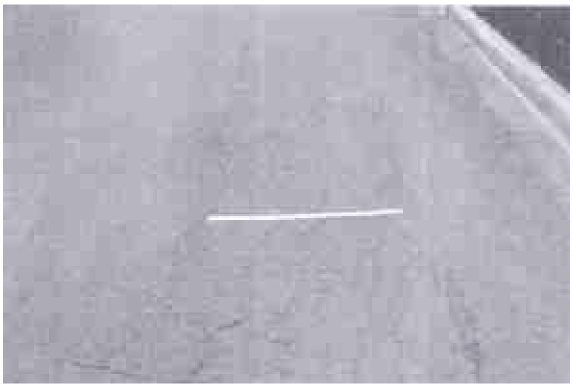


FOTO No. 4.3.- Falla Piel de Cocodrilo – Severidad Alta

Falla No. 2

a) Nombre de la Falla.- Exudación (Bleeding).

b) Descripción.- La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento que crea una textura vidriosa, brillosa y bastante pegajosa y resbaladiza en condiciones húmedas.

La exudación es causada por un exceso de cemento asfáltico en la mezcla, una aplicación excesiva de sello o imprimación bituminosa, y/o por un bajo contenido de vacíos en la mezcla. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos durante el clima cálido y fluye hacia la superficie del pavimento. Como el proceso de exhumación es irreversible durante climas más fríos, el cemento asfáltico se acumula en la superficie.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: La exudación se manifiesta muy levemente y es notoria sólo durante pocos días en el año. El asfalto no se paga a los zapatos o a los vehículos.

Media: La exudación se manifiesta al extremo que el asfalto se pega a los zapatos y a los vehículos durante algunas semanas del año.

Alta: La exudación se manifiesta extensamente, y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y vehículos durante varias semanas al año.

d) <u>Medición.-</u> La exudación se mide en pies^2 o m^2 de superficie. Cuando se cuenta la exudación no se considera el Agregado Pulido.

En las Fotos No. 4.4, No. 4.5 y No. 4.6 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.4.- Falla Exudación – Severidad Baja

FOTO No. 4.5.- Falla Exudación – Severidad Media

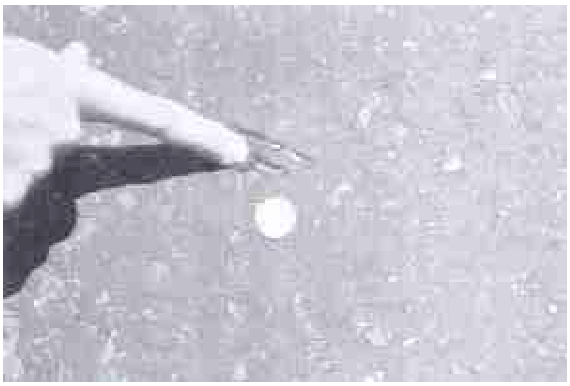


FOTO No. 4.6.- Falla Exudación – Severidad Alta

Falla No. 3

a) Nombre de la Falla.- Fisuramiento en bloque (Block Cracking).

b) Descripción.- El fisuramiento en bloque es una serie de fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de unos 30 x 30 cm a 3 x 3 m. Las fisuras en bloque son causadas principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos diarios de temperatura (que causan ciclos diarios de esfuerzos y deformaciones). El fisuramiento en bloque insinúa que el asfalto se ha endurecido u oxidado significativamente. Los bloques se manifiestan en la mayoría sobre áreas externas del pavimento, aunque a veces aparecen sólo en áreas no traficadas. Este tipo de falla difiere del fisuramiento “piel de cocodrilo” que forma piezas mas pequeñas con ángulos agudos y se concentra únicamente en las áreas sujetas al tráfico vehicular.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: Los bloques se definen como fisuras de baja severidad.

Media: Los bloques se definen como fisuras de mediana severidad.

Alta: Los bloques se definen como fisuras de alta severidad.

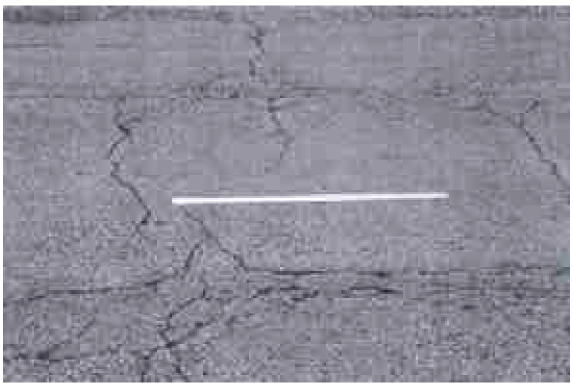
d) Medición.- El fisuramiento en bloque se mide en $pies^2$ o m^2 de área afectada. Generalmente se manifiesta con la misma severidad en toda el área, sin embargo, si hubiera diferentes severidades se deberán registrar separadamente.

En las Fotos No. 4.7, No. 4.8 y No. 4.9 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.7.- Falla Fisuramiento en Bloque – Severidad Baja

FOTO No. 4.8.- Fisuramiento en Bloque – Severidad Media

FOTO No. 4.9.- Fisuramiento en Bloque – Severidad Alta



Falla No. 4

a) Nombre de la Falla.- Desniveles Localizados (Bumps and Sags)

b) Descripción.- Los desniveles localizados son pequeños desplazamientos hacia arriba o hacia abajo de la superficie del pavimento.

Los desplazamientos hacia arriba (Bumps) se diferencian del desplazamiento (Falla 16) en que éste último es causado por inestabilidad del pavimento.

Estos desniveles hacia arriba pueden ser causados por varios factores, entre otros.

1. Pandeo o combadura de la subcapa de hormigón en el caso de capas de refuerzos de concreto asfáltico sobre ese tipo de pavimentos.

2. Infiltración y acumulación de material en una fisura agravada por el tráfico vehicular.

3. Infiltración localizada de agua (por rotura de tubo) que causa un hueco en las subcapas del pavimento.

Los desniveles hacia abajo (Sags) son pequeñas y repentinas inmersiones del nivel circundante de la superficie asfáltica como la que suele manifestarse a veces sobre un tubo subterráneo de agua.

Si los desplazamientos hacia arriba o hacia abajo aparecieran en áreas relativamente grandes de la superficie asfáltica, se definirán como Hinchamiento (Falla 18) o como Depresión (Falla 6), respectivamente.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: Desniveles que causan una calidad de rodadura de baja severidad.

Media: Desniveles que causan una calidad de rodadura de mediana severidad.

Alta: Desniveles que causan una calidad de rodadura de alta severidad.

d) Medición.- Los desniveles se miden en pies o m.

Si los desniveles se manifiestan en dirección perpendicular al tráfico y están espaciados a distancias menores de 3 metros, la falla se denomina "Corrugación" (Falla 5). Si el desnivel se manifiesta en combinación con fisuramiento, éste también se registrará separadamente.

En las Fotos No. 4.10, No. 4.11 y No. 4.12 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.10.- Falla Desnivel Localizado – Severidad Baja

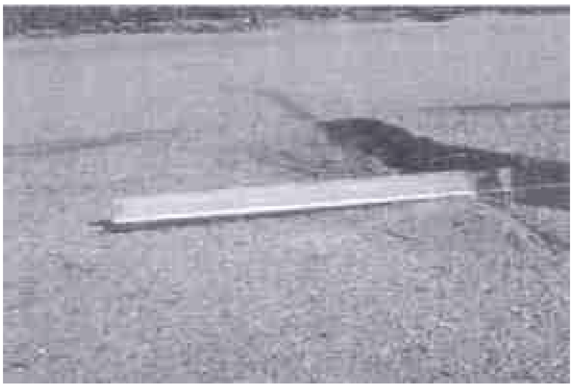
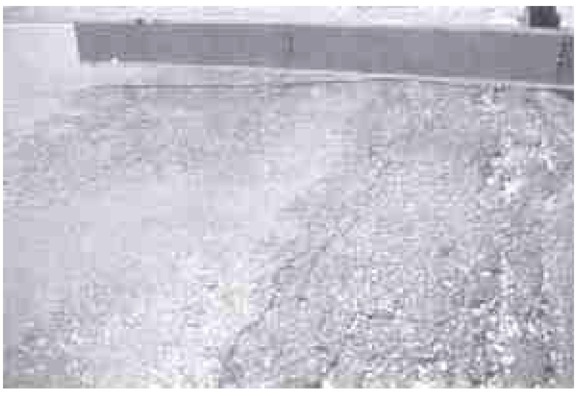


FOTO No. 4.11.- Falla Desnivel Localizado – Severidad Media

FOTO No. 4.12.- Falla Desnivel Localizado – Severidad Alta



Falla No. 5

a) Nombre de la Falla.- Corrugación (Corrugation)

b) Descripción.- La corrugación u ondulación es una serie de pequeñas acanaladuras espaciadas a intervalos regulares, generalmente menores de 3 metros, a lo largo de un tramo del pavimento o en dirección perpendicular al tráfico.

Este tipo de falla es usualmente causado por la acción del tráfico en combinación con una capa de superficie o base inestables.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: La corrugación produce una calidad de rodadura de baja severidad.

Media: La corrugación produce una calidad de rodadura de mediana severidad.

Alta: La corrugación produce una calidad de rodadura de alta severidad.

d) Medición.- La corrugación se mide en pies^2 o m^2 de área afectada.

En las Fotos No. 4.13, No. 4.14 y No. 4.15 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.13.- Falla Corrugación – Severidad Baja

FOTO No. 14.- Falla Corrugación – Severidad Media

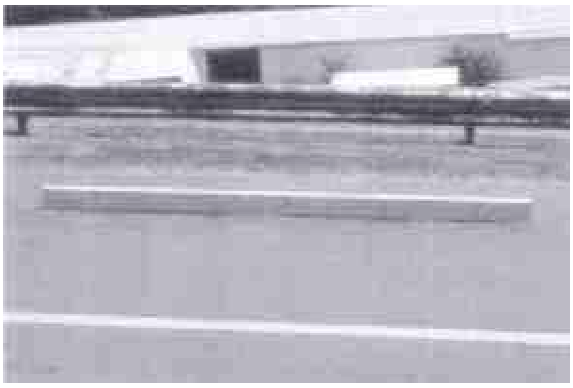
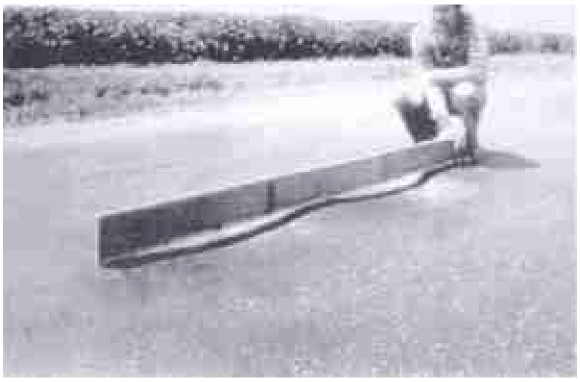


FOTO No. 15.- Falla Corrugación – Severidad Alta



Falla No. 6

a) Nombre de la Falla.- Depresión (Depression)

b) Descripción.- Las depresiones son zonas localizadas del pavimento con niveles inferiores a los de las zonas adyacentes. En algunos casos las depresiones leves no son notorias hasta que, luego de una lluvia, se manifiesta la acumulación de agua en el área deprimida. En pavimentos secos, las depresiones pueden descubrirse por las manchas que deja el agua. Las depresiones son causadas por el asentamiento del subsuelo o por construcción deficiente, pueden causar cierta aspereza en la calidad de rodadura, y cuando están llenas de agua de cierta profundidad, las depresiones pueden causar hidroplaneo y otros problemas de seguridad.

c) Niveles de Severidad.-

Profundidad máxima de la depresión:

Baja: De 13 a 25 mm (1/2” a 1”).

Media: De 25 a 50 mm (1” a 2”).

Alta: Más de 50 mm (más de 2”).

d) Medición.- Las depresiones se miden en pies^2 o m^2 de área afectada.

En las Fotos No. 4.16, No. 4.17 y No. 4.18 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.16.- Falla Depresión – Severidad Baja

FOTO No. 4.17.- Falla Depresión – Severidad Media

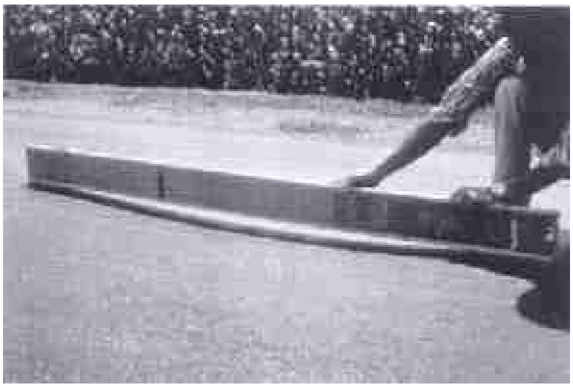
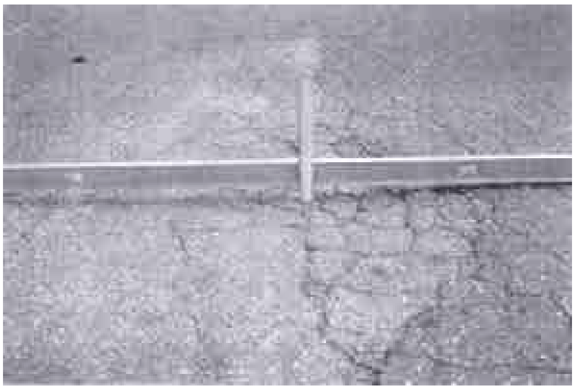


FOTO No. 4.18.- Falla Depresión – Severidad Alta



Falla No. 7

a) Nombre de la Falla.- Fisuramiento en borde (Edge Cracking)

b) Descripción.- Este fisuramiento es paralelo al borde exterior del pavimento y generalmente dentro de los 30 a 60 cm de este borde.

Esta falla es acelerada por el tráfico vehicular y puede ser causada por una falta de soporte lateral del espaldón, drenaje inadecuado y falta de compactación y confinamiento en el borde del pavimento. El área entre la fisura y el borde del pavimento es considerada desmoronada si hay desprendimiento y rotura de piezas completas.

c) <u>Niveles de Severidad.-</u>

Baja: Fisuramiento bajo o mediano sin desmoronamiento.

Media: Fisuramiento mediano con moderada rotura o desmoronamiento.

Alta: Rotura y desmoronamiento considerable a lo largo del borde.

d) <u>Medición.-</u> El fisuramiento de borde se mide en pies o metros.

En las Fotos No. 4.19, No. 4.20 y No. 4.21 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.19.- Falla Fisuramiento en Borde – Severidad Baja

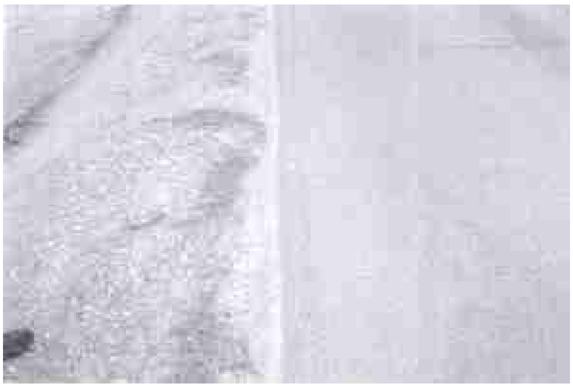


FOTO No. 4.20.- Falla Fisuramiento en Borde – Severidad Media

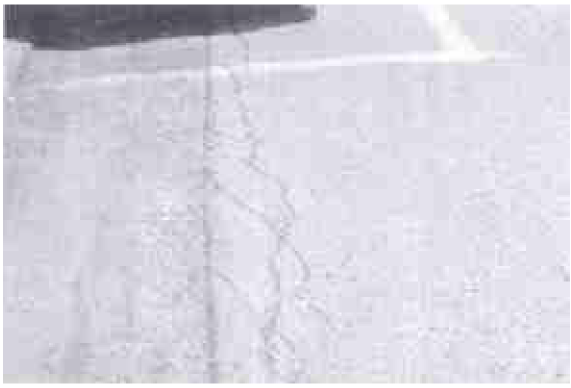


FOTO No. 4.21.- Falla Fisuramiento en Borde – Severidad Alta

Falla No. 8

a) <u>Nombre de la Falla.-</u> Fisuramiento de Reflexión de losas de hormigón (Joint Reflection Cracking)

b) <u>Descripción.-</u> Esta falla ocurre solamente en pavimentos asfálticos colocados sobre pavimentos rígidos. No se incluyen fisuras de reflexión que puedan prevenir de otro tipo de subcapas, ya que éstos se registran bajo Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal (Falla 10). Las fisuras de reflexión de juntas se producen generalmente por movimientos de las sub-losas causados por gradientes térmicos o de humedad. A pesar de no tener su origen en las cargas del tráfico, esta falla puede agravarse con el tráfico. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la fisura se dice que esta fisura está desmembrada. Un conocimiento previo de las dimensiones de las sub-losas puede ayudar a identificar este tipo de falla.

c) <u>Niveles de Severidad.-</u>

Baja: Una de las siguientes condiciones existe:

1. Fisura Abierta con un ancho < 10 mm.

2. Fisura sellada de cualquier ancho.

Media: Una de las siguientes condiciones existe:

1. Fisura abierta entre 10 y 75 mm de ancho.

2. Fisura abierta de cualquier ancho rodeada de fisuramiento leve.

3. Fisura sellada de cualquier ancho rodeada de fisuramiento leve.

Alta: Una de las siguientes condiciones existe:

1. Cualquier fisura sellada o abierta rodeada de fisuramiento de mediana o alta severidad.

2. Una fisura de cualquier ancho con una severa rotura del pavimento a sus lados.

d) Medición.- Las fisuras de reflexión se miden en pies o metros. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse separadamente. Por ejemplo, una fisura de 15 metros puede tener 5 metros de una severidad y 10 metros de otra. Si existe un desnivel en la fisura también debe registrarse.

En las Fotos No. 4.22, No. 4.23 y No. 4.24 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.22.- Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Baja

FOTO No. 4.23.- Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Media

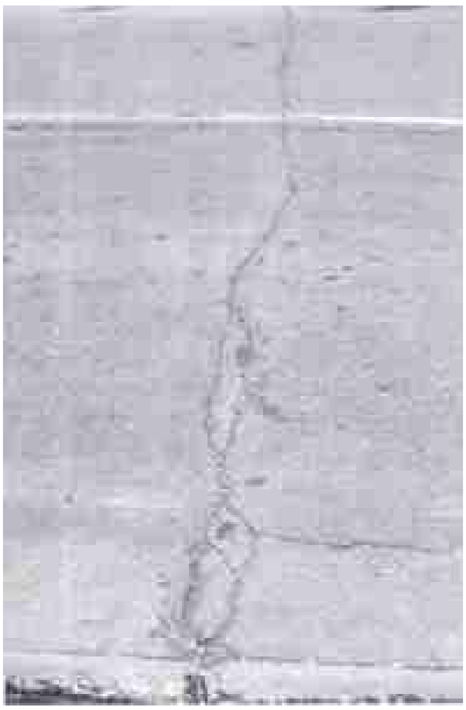
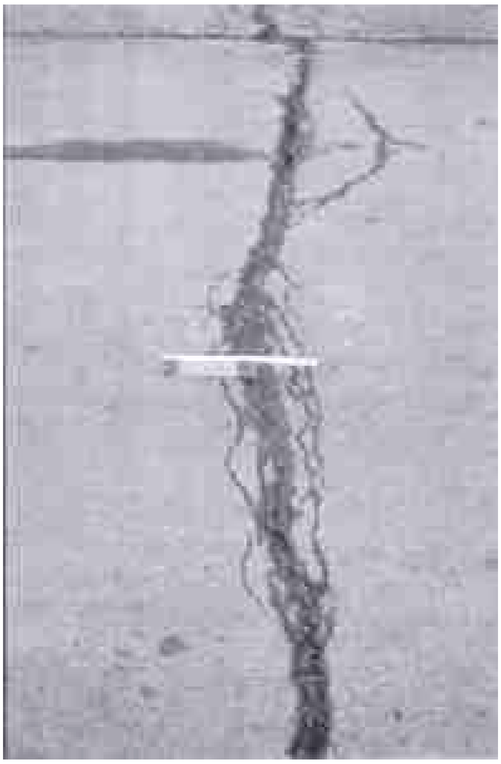


FOTO No. 4.24.- Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Alta



Falla No. 9

a) Nombre de la Falla.- Desnivel Carril/Espaldón (Lane/Shoulder Drop Off)

b) Descripción.- El desnivel carril/espaldón es una diferencia de elevación entre el borde del pavimento y el espaldón causada por erosión asentamiento o defectos constructivos.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el espaldón es de 25 a 50 mm (1 a 2 pulgadas).

Media: La diferencia en elevación es de 50 a 100 mm (2 a 4 pulgadas).

Alta: La diferencia en elevación es mayor de 100 mm (> 4 pulgadas).

d) Medición.- El desnivel carril/espaldón se mide en pies o metros lineales.

En las Fotos No. 4.25, No. 4.26 y No. 4.27 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.25.- Falla Desnivel Carril/Espaldón – Severidad Baja

FOTO No. 4.26.- Falla Desnivel Carril/Espaldón – Severidad Media

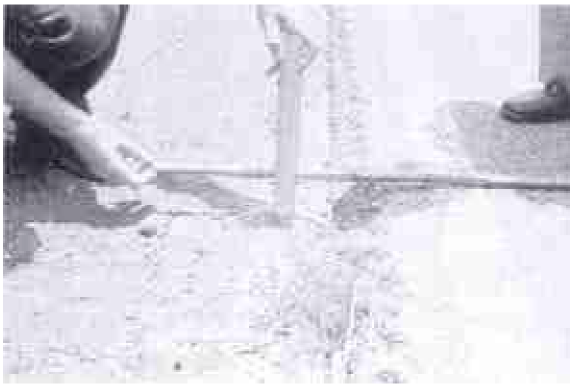
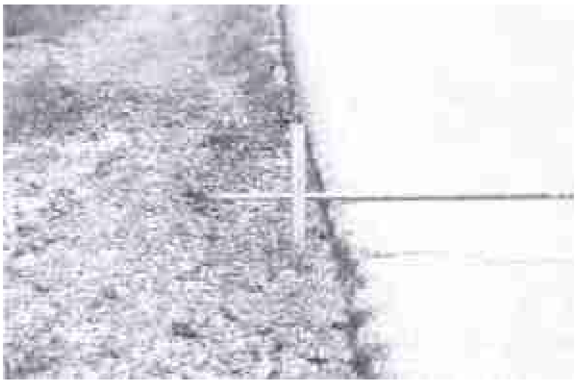


FOTO No. 4.27.- Falla Desnivel Carril/Espaldón – Severidad Alta



Falla No. 10

a) <u>Nombre de la Falla.-</u> Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal (Longitudinal and Transversal Cracking)

b) Descripción.- Las fisuras longitudinales son paralelas al eje de la carretera y pueden originarse en:

1. Una deficiente junta constructiva.

2. Contracción o endurecimiento del asfalto y/o ciclos térmicos.

3. Fisuramiento de reflexión de las sub-capas incluyendo pavimentos de hormigón, pero no de juntas.

Las fisuras transversales se manifiestan cruzando el pavimento en ángulos aproximadamente rectos con respecto al eje. Pueden originarse en los causales 2 y 3 mencionados. Estas fisuras generalmente no están asociadas con las cargas de tráfico.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: Una de las siguientes condiciones existe:

1. Fisura Abierta con un ancho < 10 mm.

2. Fisura sellada de cualquier ancho.

Media: Una de las siguientes condiciones existe:

1. Fisura abierta entre 10 y 75 mm de ancho.

2. Fisura abierta de cualquier ancho hasta 75 mm, rodeada de fisuramiento leve.

3. Fisura sellada de cualquier ancho rodeada de fisuramiento leve.

Alta: Una de las siguientes condiciones existe:

1. Cualquier fisura sellada o abierta rodeada de fisuramiento de mediana o alta severidad.

2. Fisura abierta de más de 75 mm de ancho.

3. Fisura de cualquier ancho con una severa rotura del pavimento a sus lados.

d) Medición.- Las fisuras longitudinales y transversales se miden en pies o metros. La longitud y severidad de cada fisura deben registrarse separadamente. Por ejemplo, una fisura de 15 metros puede tener 5 metros de una severidad y 10 metros de otra. Si existe un desnivel en la fisura debe registrarse como falla No. 4.

En las Fotos No. 4.28, No. 4.29 y No. 4.30 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.28.- Falla Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal – Severidad Baja

FOTO No. 4.29.- Falla Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal – Severidad Media

FOTO No. 4.30.- Falla Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal – Severidad Alta

Falla No. 11

a) Nombre de la Falla.- Parche de corte de Servicio (Patching/Utility Cut)

b) Descripción.- Un parche es un área del pavimento que ha sido reemplazada por material nuevo para reparar el pavimento original.

Un parche es considerado una falla independientemente de lo bien que haya sido ejecutado, ya que generalmente lleva asociada cierta rugosidad.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: El parche está en buenas condiciones y la calidad de rodadura es de baja severidad o mejor.

Media: El parche está moderadamente deteriorado y/o la calidad de rodadura es de mediana severidad.

Alta: El parche está severamente deteriorado y/o la calidad de rodadura es de alta severidad. El parche debe ser reemplazado pronto

d) Medición.- El parche se mide en pies^2 o m^2 de área afectada. Sin embargo si un parche tiene diferentes partes con diferentes severidades, cada una debe ser registrada separadamente. Por ejemplo, un parche de 5 m2 puede tener 2 m2 de severidad baja, y así debe ser anotado. Cuando se considera un parche no se considera ninguna otra falla en la zona del parche, incluso si el parche está fisurado o manifiesta desplazamientos.

Si el parche aparece sobre un área muy grande (más del 50% del área de la muestra) debe considerarse una nueva sección, y no debe anotarse como parche.

En las Fotos No. 4.31, No. 4.32 y No. 4.33 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.31.- Falla Parche – Severidad Baja

FOTO No. 4.32.- Falla Parche – Severidad Media

FOTO No. 4.33.- Falla Parche – Severidad Alta

Falla No. 12

a) Nombre de la Falla.- Agregado Pulido (Polished Aggregate)

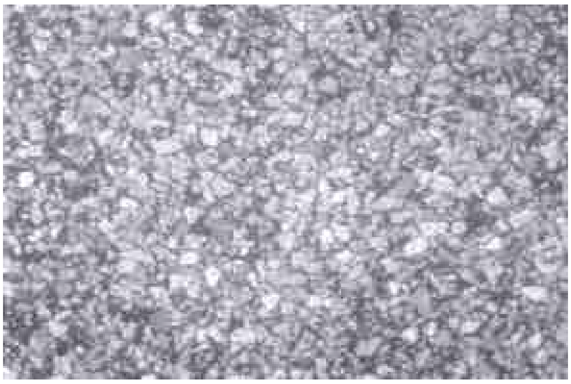
b) Descripción.- Esta falla es causada por las aplicaciones repetitivas del tráfico. Cuando el agregado superficial se torna liso al tacto, se reduce considerablemente la adhesión con las llantas. Cuando el área afectada es pequeña, la textura del pavimento no contribuye mayormente a reducir la velocidad, el agregado pulido debe considerase cuando una inspección minuciosa revela que la superficie afectada es grande y lisa, y hay evidencia que la resistencia al frenado en condiciones húmedas ha decrecido considerablemente.

c) Niveles de Severidad.- No se definen niveles de severidad. Sin embargo el grado de pulido debe ser significativo para que esta falla sea considerada un defecto.

d) Medición.- El agregado pulido se mide en pies^2 o m^2. Si se ha contado exhudación en la misma muestra, no debe contarse agregado pulido.

En la Foto No. 4.34 se ilustra un pavimento con este tipo de falla.

FOTO No. 4.34.- Falla Agregado Pulido



Falla No. 13

a) Nombre de la Falla.- Baches (Potholes)

b) Descripción.- Los baches son pequeños huecos en la superficie de hasta 1 metro de diámetro. Generalmente tienen bordes agudos y lados verticales cerca de su parte superior. Su crecimiento es acelerado cuando se acumula agua en su interior. Los baches se producen por el efecto abrasivo del tráfico sobre la superficie. El pavimento se desintegra por la presencia de mezclas pobres, zonas de bajo soporte de la base o subbase, o porque el pavimento ha alcanzado una condición de fisuramiento "Piel de Cocodrilo" de alta severidad. Los baches son fallas estructurales que no deben confundirse con desmoronamientos o intemperismo (Falla 19).

c) Niveles de Severidad.- Los niveles de severidad de los baches de menos de 1 metro de diámetro se basan en su diámetro como en su profundidad de acuerdo a la siguiente Tabla No. 4.1

TABLA 4.1.- Niveles de Severidad de Baches

PROFUNDIDAD MAXIMA DEL BACHE	DIAMETRO PROMEDIO DEL BACHE		
	10 a 20 cm	>20 y <= 45 cm	>45 y<= 76 cm
1.25 a 2.5 cm	B	B	M
2.5 a 5.0 cm	B	M	M
>5.0 cm	M	M	A

Si el bache tiene un diámetro superior a los 76 cm, su área debe ser determinada en m2 y dividida por 0.45 m2 para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor de 25 mm, los baches equivalentes se consideran de mediana severidad y si la profundidad es mayor de 25 mm se consideran de alta severidad.

d) Medición.- Los baches se miden por unidad de la correspondiente severidad.

En las Fotos No. 4.35, No. 4.36 y No. 4.37 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.35.- Falla Bache – Severidad Baja

FOTO No. 4.36.- Falla Bache – Severidad Media

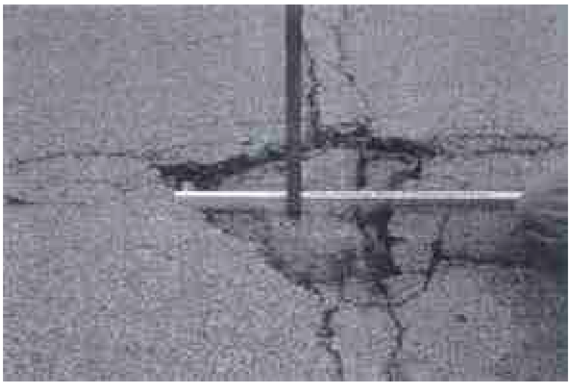


FOTO No. 4.37.- Falla Bache – Severidad Alta

Falla No. 14

a) Nombre de la Falla.- Cruce de Ferrocarril

b) Descripción.- Son los desniveles que se encuentran alrededor y entre las vías asociados con los cruces de ferrocarril.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: El cruce causa una calidad de rodadura de severidad baja.

Media: El cruce causa una calidad de rodadura de severidad mediana.

Alta: El cruce causa una calidad de rodadura de severidad alta.

d) Medición.- El área del cruce se mide en pies^2 o m^2. Si el cruce no afecta la calidad de rodadura no debe contarse. Cualquier otro desnivel causado por las vías debe considerarse como parte del cruce del ferrocarril.

En las Fotos No. 4.38, No. 4.39 y No. 4.40 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.38.- Falla Cruce de Ferrocarril – Severidad Baja

FOTO No. 4.39.- Falla Cruce de Ferrocarril – Severidad Media

FOTO No. 4.40.- Falla Cruce de Ferrocarril – Severidad Alta

Falla No. 15

a) Nombre de la Falla.- Surco en Huella (Rutting)

b) Descripción.- El surco de huella es una depresión que se localiza en la huella del tráfico. En ciertos casos puede notarse una elevación del pavimento a lo largo de la depresión y en muchos casos, el surco sólo es notorio después de una lluvia por la acumulación de agua.

El surco se origina en el asentamiento de las capas del pavimento y la subrasante, ya sea por consolidación, deformación plástica o falla de corte.

Esta falla es definitivamente causada por el tráfico vehicular, y en gran escala, puede resultar en una falla estructural mayor del pavimento.

c) Niveles de Severidad.-

Profundidad promedio del surco:

Baja: De 6 a 13 mm (1/4 a 1/2”).

Media: De 13 a 25 mm (1/2” a 1”).

Alta: Mayor de 25 mm (más de 1”).

La profundidad promedio se establece promediando varias lecturas medidas con una reglilla colocada perpendicularmente a la huella y a una regla estándar de 1.20 m de largo colocada a lo ancho de la huella.

d) Medición.- El surco de huella se mide en $pies^2$ o m^2 de área afectada con la severidad establecida de acuerdo a la profundidad promedio.

En las Fotos No. 4.41, No. 4.42 y No. 4.43 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.41.- Falla Surco de Huella – Severidad Baja

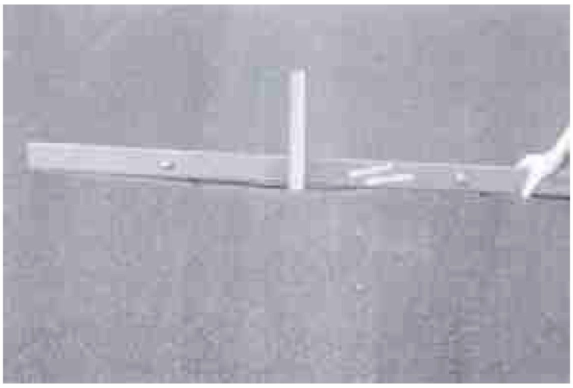


FOTO No. 4.42.- Falla Surco de Huella – Severidad Media

FOTO No. 4.43.- Falla Surco de Huella – Severidad Alta

Falla No. 16

a) Nombre de la Falla.- Desplazamientos (Shoving)

b) Descripción.- El desplazamiento es una deformación permanente, longitudinal, de un área localizada de la superficie del pavimento causada por las cargas del tráfico, que "empujan" el material de superficie produciendo una ondulación corta y abrupta. Esta falla ocurre normalmente sólo en mezclas inestables de asfaltos líquidos (con diluidores como nafta, bencina o con emulsiones asfálticas).

Estos desplazamientos también ocurren en transiciones entre pavimentos asfálticos y pavimentos rígidos, cuando el pavimento rígido se dilata y "empuja" el pavimento asfáltico produciéndose desplazamiento.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: Desplazamiento que causa una calidad de rodadura de baja severidad.

Media: Desplazamiento que causa una calidad de rodadura de mediana severidad.

Alta: Desplazamiento que causa una calidad de rodadura de alta severidad.

d) Medición.- Los desplazamientos se miden en pies^2 o m^2 de área afectada.

Los desplazamientos en zonas parchadas se consideran al establecer la falla "parche" con su apropiada severidad y no como falla aparte.

En las Fotos No. 4.44, No. 4.45 y No. 4.46 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.44.- Falla Desplazamiento – Severidad Baja

FOTO No. 4.45.- Falla Desplazamiento – Severidad Media

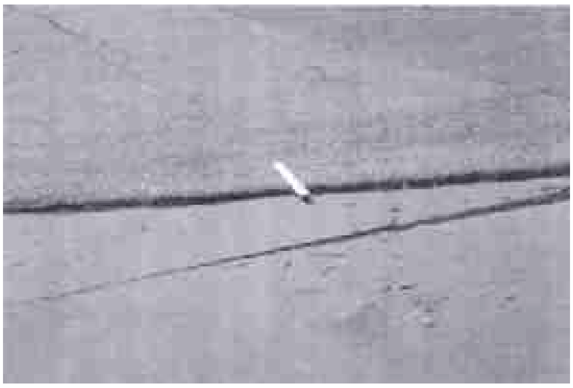


FOTO No. 4.46.- Falla Desplazamiento – Severidad Alta

Falla No. 17

a) Nombre de la Falla.- Fisuramiento de Resbalamiento (Slippage Cracking)

b) Descripción.- Las fisuras de resbalamiento son en forma de media-luna que tienen dos extremos apuntando en sentido contrario al tráfico. Se producen cuando el frenado o cambio de dirección de las llantas causan una deformación en la superficie. Esta falla ocurre usualmente cuando hay una mezcla de baja resistencia o una mala adherencia entre la capa de superficie y sus sub-capas.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: El ancho promedio de la fisura es menor de 1 cm (< 3/8”).

Media: Existe una de las siguientes condiciones:

1. El ancho promedio de la fisura esta entre 1.0 y 3.8 cm (3/8” y 1 ½“).
2. El área alrededor de la fisura evidencia piezas rotas pero firmes.

Alta: Existe una de las siguientes condiciones:

1. El ancho promedio de la fisura es mayor de 3.8 cm (> 1 ½“).
2. El área alrededor de la fisura evidencia piezas rotas fácilmente removibles.

d) Medición.- El área asociada con la fisura de resbalamiento se mide en pies^2 o m^2 y es anotada con el máximo nivel de severidad en el área afectada.

En las Fotos No. 4.47, No. 4.48 y No. 4.49 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.47.- Falla Fisuramiento de Resbalamiento – Severidad Baja

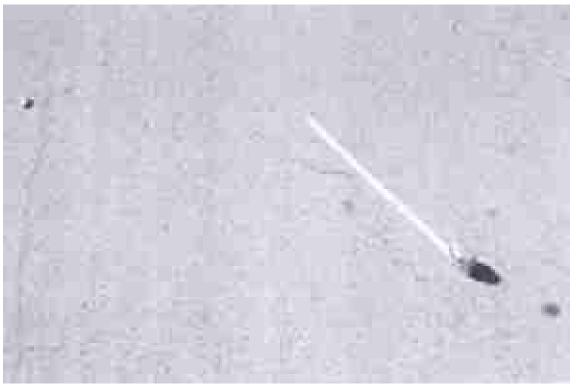


FOTO No. 4.48.- Falla Fisuramiento de Resbalamiento – Severidad Media

FOTO No. 4.49.- Falla Fisuramiento de Resbalamiento – Severidad Alta

Falla No. 18

a) Nombre de la Falla.- Hinchamiento (Swell)

b) Descripción.- El hinchamiento se caracteriza por un combeo hacia arriba en la superficie del pavimento, una ondulación larga y gradual de más de 3 m de longitud. El hinchamiento puede estar acompañado de fisuramiento superficial y es usualmente causado por la acción de un suelo expansivo.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: El hinchamiento causa una calidad de rodadura de baja severidad. Los hinchamientos de este nivel de severidad no son fáciles de detectar, pero pueden “sentirse” viajando a velocidad norma, al producirse una aceleración hacia arriba si hay un hinchamiento.

Media: El hinchamiento causa una calidad de rodadura de mediana severidad.

Alta: El hinchamiento causa una calidad de rodadura de alta severidad.

d) Medición.- El Hinchamiento se mide en $pies^2$ o m^2 de área afectada.

En la Foto No. 4.50 se ilustra un pavimento con este tipo de falla.

FOTO No. 4.50.- Falla Hinchamiento – Severidad Baja

Falla No. 19

a) Nombre de la Falla.- Desmoronamiento / Intemperismo (Weathering / Ravelling)

b) Descripción.- El desmoronamiento e intemperismo representan el desgaste de la superficie por pérdida de ligante asfáltico y la disgregación de las partículas pétreas. Estas fallas indican que, o el asfalto se ha endurecido considerablemente o que la mezcla asfáltica es de baja calidad. El ablandamiento de la superficie y la disgregación de los agregados causados por el derramamiento de aceites y petróleos se incluyen también en esta falla.

c) Niveles de Severidad.-

Baja: El agregado o el ligante asfáltico han comenzado a desgastarse. En algunas áreas, la superficie está comenzando a picarse. La superficie está manchada de aceite aunque aún está dura e impenetrable con una moneda.

Media: El agregado y/o el ligante asfáltico se han desgastado. La textura del pavimento está moderadamente rugosa o picada. En el caso de manchas de aceite, el pavimento está blando y puede penetrarse con una moneda.

Alta: El agregado y/o el ligante asfáltico están considerablemente desgastados. La superficie está muy rugosa y picada.

Las áreas picadas son menores de 10 cm en diámetro y 13 mm en profundidad. Áreas picadas de dimensiones mayores que estas se consideran baches (Falla 13). En el caso de manchas de aceite/petróleo, el ligante asfáltico ha perdido sus cualidades y el agregado está prácticamente suelto.

d) Medición.- El desmoronamiento / intemperismo se mide en pies^2 o m^2 de área afectada.

En las Fotos No. 4.51, No. 4.52 y No. 4.53 se ilustran pavimentos con este tipo de fallas con distintas severidades.

FOTO No. 4.51.- Falla Intemperismo – Severidad Baja

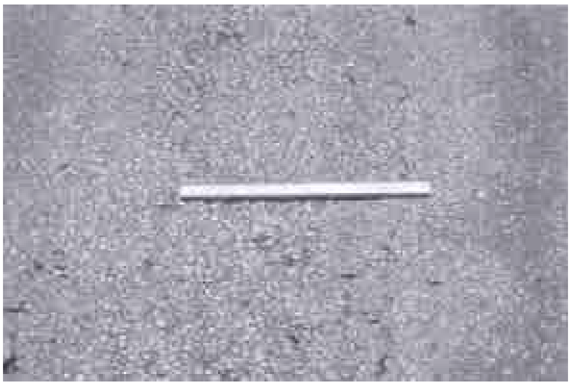


FOTO No. 4.52.- Falla Intemperismo – Severidad Media

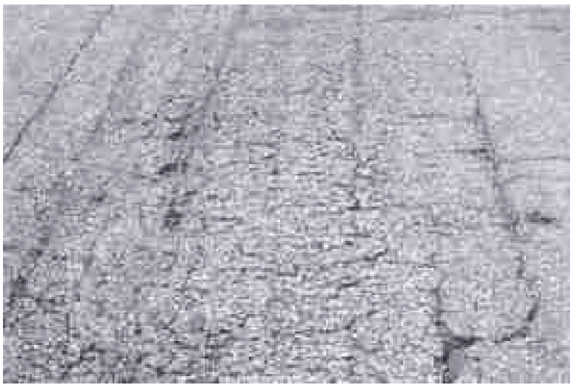


FOTO No. 4.53.- Falla Intemperismo – Severidad Alta

4.1.3 CALCULO DEL PCI

Los resultados obtenidos de la inspección de muestras son usados para calcular el PCI.

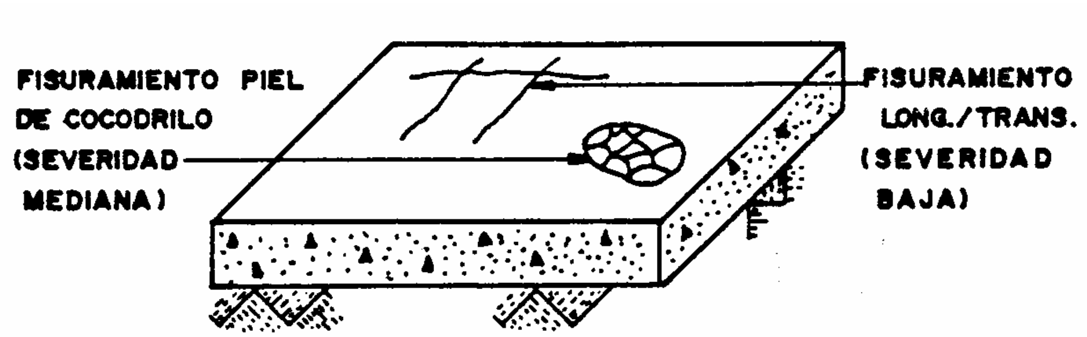
Un elemento importante para el cálculo del PCI lo constituye el "valor de deducción" que varía de 0 a 100. Un valor de 0 indica que la falla en cuestión no tiene impacto sobre la condición del pavimento, mientras que un valor de 100 indica que la falla es extremadamente severa.

Calculo Del PCI De Una Muestra

El cálculo del PCI de una muestra es un procedimiento sencillo que involucra 5 pasos. En los pasos 1 y 2 se ha proveído lo necesario para implementar el método de inspección requerido por el sistema PAVER, o sea identificación y clasificación de la red de acuerdo a lo detallado anteriormente.

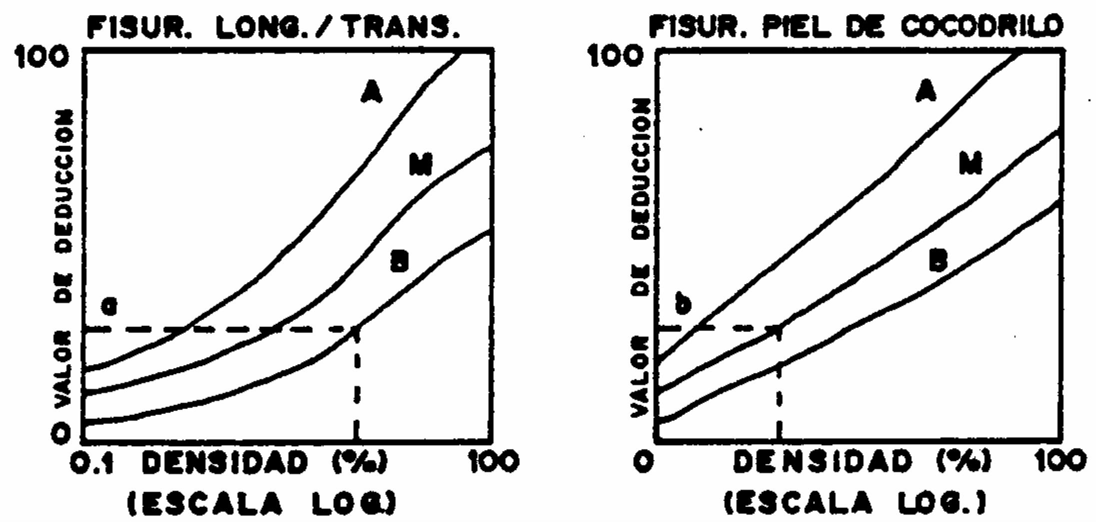
Paso 3.- Se inspecciona cada muestra en el campo, se definen las fallas y su intensidad y las cantidades correspondientes diseñadas para ello, tal como se muestra en la Figura No. 4.1.

FIGURA No. 4.1- Muestra de Inspección de Fallas



Paso 4.- Se determinan los valores de Deducción (DV) para cada tipo de falla según su severidad y densidad, como se muestra en la Figura No. 4.2.

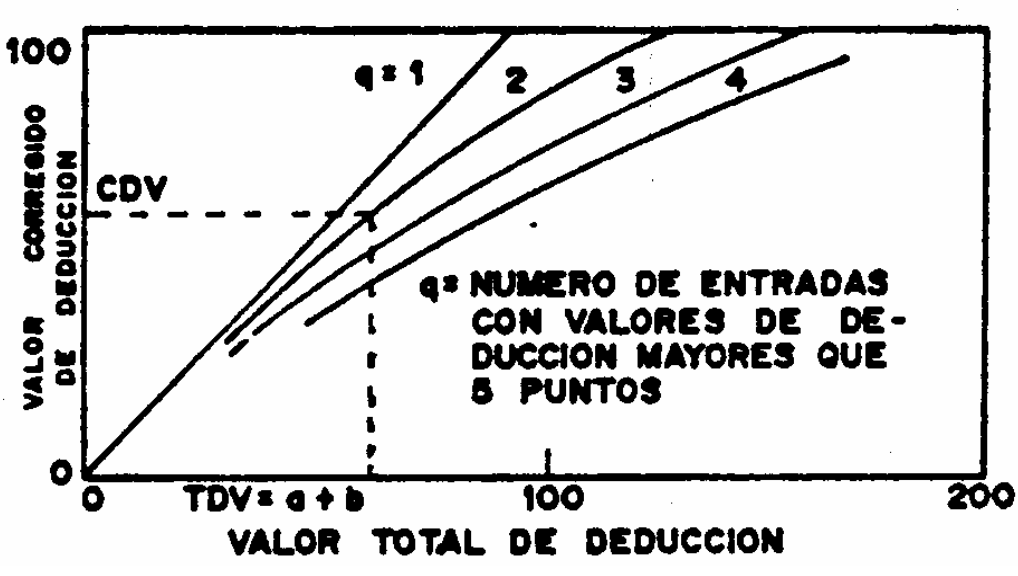
FIGURA No. 4.2.- Forma de determinar el Valor de Deducción



Paso 5.- Se calcula el Valor de Deducción Total (VDT) sumando los valores de deducción para cada tipo de falla.

Paso 6.- Se determina el Valor de Deducción Corregido (DVT) usando las curvas de corrección las cuales toman en cuenta el factor "q" que es la cantidad de fallas que producen un impacto más considerable en el pavimento. Si uno de los valores de deducción individuales es mayor que el total corregido (CDV), se asigna a CDV el mayor valor de deducción individual. Por ejemplo si se encontraron 2 fallas en un pavimento asfáltico, una con un valor de deducción de 50 y la otra con un valor de deducción de 10, la curva de corrección da un valor corregido de CDV = 44. como 44 es menor de 50, se asigna a CDV el valor de 50, tal como se muestra en la Figura No. 4.3.

FIGURA No. 4.3.- Forma de determinar el Valor de Deducción



Paso 7.- Se calcula el PCI de la relación: PCI = 100 - CDV.

Calculo Del Pci De Una Sección

El cálculo del PCI de una sección es un proceso que involucra el cálculo de las muestras. Si todas las muestras de una sección son inspeccionadas, el PCI de la sección es simplemente el promedio de los valores de PCI de sus muestras. Del mismo modo si todas las muestras inspeccionadas han sido seleccionadas al azar, utilizando técnicas de muestreo sistemático.

Por último, se gradúa la condición del pavimento de la sección, calificándole entre Excelente y Deteriorada en función de su PCI calculado, mediante la Tabla No. 4.2.

TABLA No. 4.2.- Calificación del PCI

Calculo De La Densidad De La Falla

La densidad de una falla en la muestra es indispensable para el cálculo del PCI de esa muestra.

1. La densidad de fallas medidas en unidades de área (pies^2 o m^2) se calcula:

$$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{AREA DE LA FALLA (Pies}^2 \text{ ó m}^2\text{)}}{\text{AREA DE LA MUESTRA (Pies}^2 \text{ ó m}^2\text{)}} \times 100$$

2. La densidad de fallas medidas en unidades de longitud (pies o metros) tales como fisuramientos varios, desnivel carril/espaldón, etc., se calcula:

$$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{LONGITUD DE LA FALLA (Pies ó m) x 0.30 m (1 pie)}}{\text{AREA DE LA MUESTRA (Pies}^2 \text{ ó m}^2\text{)}} \times 100$$

Ancho de influencia representativo de la falla = 0.30 m = 1 pie

3. La densidad de fallas medidas en unidades (número) tal como baches, se calcula:

$$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{NUMERO DE BACHES}}{\text{AREA DE LA MUESTRA (Pies}^2 \text{ ó m}^2\text{)}} \times 100$$

4.2 METODOLOGIA DE EVALUACION ESTRUCTURAL

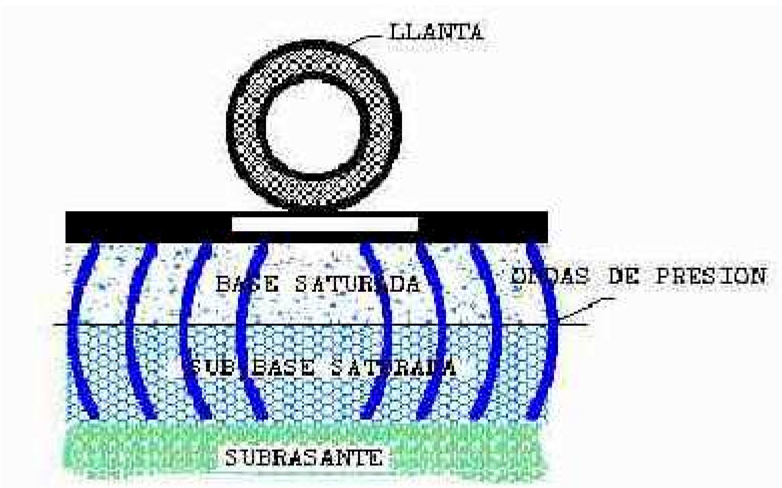
Las capas constitutivas del pavimento presentan poros intercomunicados que, idealmente, están llenos de aire. El aire es altamente compresible y en consecuencia no se opone al libre movimiento de las partículas minerales, permitiendo la deformación requerida para el desarrollo de las fuerzas de contacto entre las partículas y conduciendo a la adecuada distribución de las presiones aplicadas sobre la capa.

Si los poros y sus interconexiones están llenos de agua, la capa se transforma en un conjunto de dos materiales, a saber: el material granular, que debe deformarse para distribuir las presiones, y el agua, que por ser incompresible o mejor, de muy alto módulo elástico a la compresión, prácticamente no se deforma ante las cargas. En la Figura No. 4.4 se muestra la distribución de presiones en la estructura de un pavimento.

FIGURA No. 4.4.- Distribución de Presiones en la Estructura de un Pavimento

Bajo condiciones de saturación, como las cargas viajan sobre el pavimento a una velocidad muy superior a la que puede alcanzar el agua dentro de la estructura (que se encuentra saturada), es imposible que el agua fluya libremente, y así las cargas del tránsito se trasforman en un aumento de la presión de poros que se trasmite sin ningún alivio y en todas las direcciones, tal como se muestra en la Figura No. 4.5. La consecuencia de la transmisión constante de presiones inestabiliza las capas produciendo el desvanecimiento de la cohesión entre los materiales de los elementos, originando de esta forma la falla estructural.

FIGURA No. 4.5.- Transmisión de la presión de un neumático en una capa saturada.



Dicho de otra manera, para que dos materiales puedan trabajar en conjunto, ayudándose entre sí, es necesario que presenten una curva de esfuerzo-deformación similar, es decir que tengan comportamientos elásticos similares. De lo contrario, cada material trabaja independientemente, y el primero en hacerlo es aquél que sea menos deformable. Como consecuencia de las diferencias elásticas de los materiales, cuando el agua llena los espacios vacíos entre las partículas minerales, las presiones ejercidas por el tránsito, como ya se dijo, viajan a través de ella y se trasmiten sin ningún alivio hasta llegar al suelo de subrasante, hecho que impide a las capas de base y subbase cumplir con su función estructural de diseño.

Para realizar la evaluación de la capacidad de soporte estructural de una carretera se han desarrollado métodos basados en el conocimiento empírico y estadístico del comportamiento del pavimento.

Los datos que se requieren para el cálculo de la evaluación estructural de pavimentos son los siguientes:

- Espesores de las diferentes capas de construcción de la carretera.
- Tráfico, caracterizado por el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y el número de Ejes equivalentes de 8.2 Ton.
- Deflexión de la capa de rodadura sometida a una carga conocida.
- Temperatura del pavimento y superficial.
- Contenido de humedad.
- Ancho de calzada

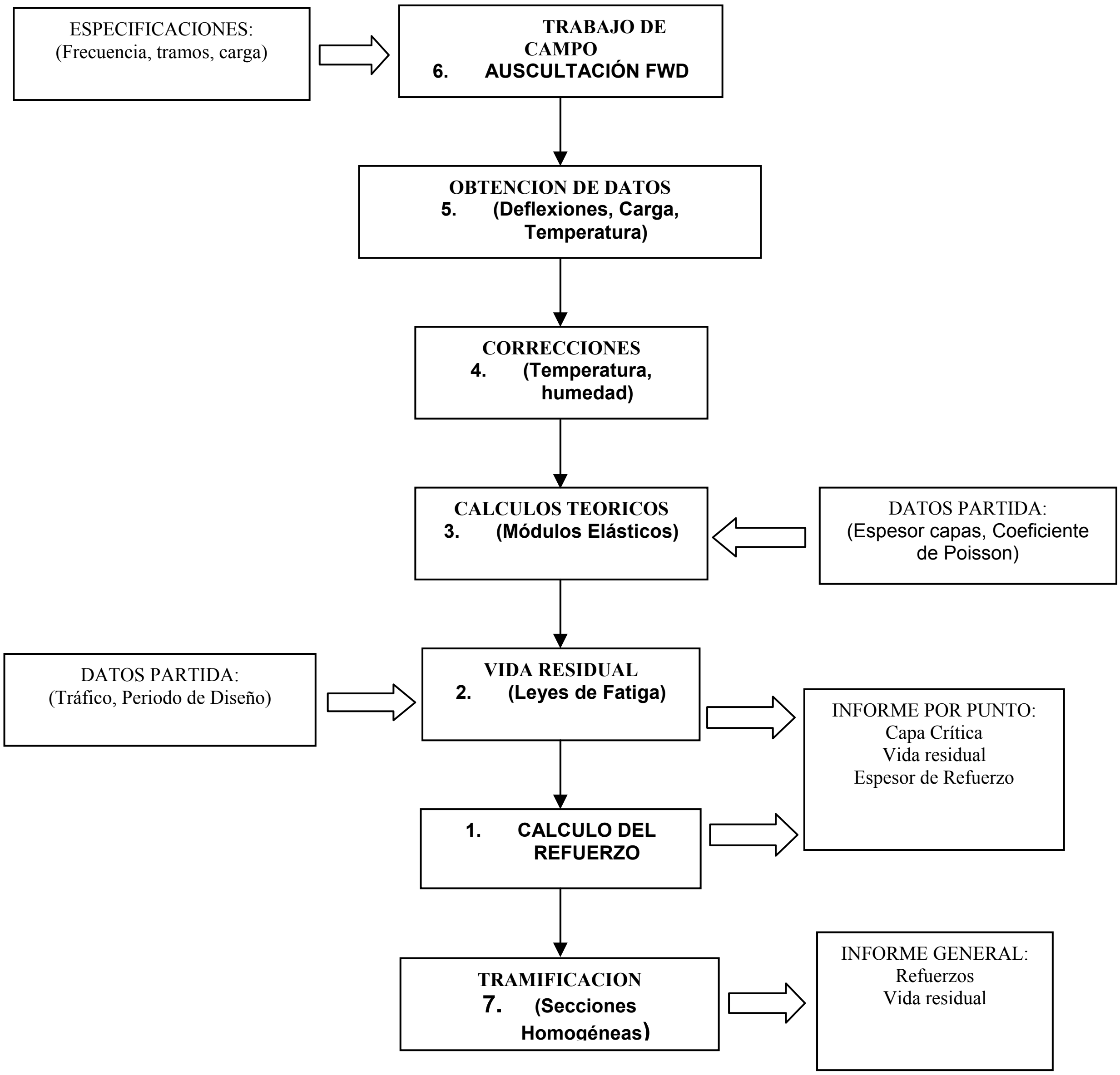
Por medio de la interpretación del cuenco de deflexiones generado por el Deflectómetro, y utilizando la técnica conocida con el nombre de Cálculo Inverso, Retrocálculo o Backcalculation se puede conocer el estado estructural del firme y determinar el estado actual y tomar las medidas efectivas o correctoras correspondientes.

Metodología Según Teoría Multicapa

En este método se aprovecha toda la información que ofrece el software del Def1etómetro. Se basa en obtener los módulos de rigidez de las diferentes capas que componen el firme (a partir de la comparación de los cuencos de def1exiones obtenidos y calculados) y determinar mediante leyes de fatiga los parámetros críticos que evalúan el estado de agotamiento. A partir de estos parámetros y el tráfico previsto se realizan los cálculos del espesor de refuerzo y la vida residual del firme para cada tramo homogéneo.

En la Figura 4.6 se muestra un diagrama de flujo de la Metodología del Retrocálculo Pasos a seguir:

FIGURA 4.6.- Diagrama de Flujo de la Metodología de Retrocálculo



Pasos a seguir:

1.- Se especifican los tramos a realizar la Auscultación, y la normativa de frecuencia (cada 50 o 100 metros) y la carga a utilizar (10-250 KN).

2.- Se realiza el trabajo de campo mediante el Deflectómetro de Impacto, según lo indicado en la sección 3.2.

3.- Se obtienen los datos de campo: para cada punto se obtienen nueve deflexiones correspondientes a los nueve ge6fonos, las cargas reales producidas y las temperaturas (aire y superficial puntualmente en función de los cambios atmosféricos).

4.- Se establecen las correcciones que se deben realizar a las deflexiones obtenidas ya sean por humedad de la explanada ó temperatura de la mezcla bituminosa.

5.- Se introducen en el programa informático de gestión los datos referentes a espesores tanto de las capa bituminosas como de las granulares, así como el coeficiente de Poisson de la capa superior.

6.- Se realiza el cálculo de los módulos de elasticidad de cada una de las capas con el programa informático.

7.- Se introducen los datos de tráfico futuro previsto (en función del No. de ejes equivalentes de 8.2 Ton) y del periodo de proyecto (10 años para rehabilitaciones).

8.- Se obtiene la capa crítica en cada punto (capa por la cual el pavimento llegará antes al agotamiento estructural).

9.- Se calcula la vida residual del firme a partir del parámetro crítico obtenido, mediante leyes de fatiga previamente especificadas para cada tipo de firme.

10.- Se obtiene el espesor de refuerzo necesario (del material con el que se quiera rehabilitar) para que el firme cumpla con las solicitaciones de tráfico previstas durante toda la vida de proyecto en cada muestra.

11.- Se determinan las secciones homogéneas mediante métodos estadísticos.

Se determina el espesor de refuerzo y la vida residual de las secciones homogéneas.

METODOLOGIAS DE DISEÑO

A través del análisis y cálculo de los datos recolectados por el FWD, es posible encontrar respuestas a varias preguntas relacionadas al mantenimiento de una red de carreteras tales como:

Módulo E Dinámico

Tiempo de vida restante

Capas críticas

Necesidad de Refuerzo

Las solicitaciones de tráfico y el acondicionamiento estructural medido por la deflexión característica se configuran como lo establece la tabla 4.3

TABLA No. 4.3.- Correspondencia entre valores de tráfico y deflexiones

Categoría de Tráfico Pesado	IMDp (vehículos pesados / día)	(1) Deflexión en milésimas de mm D(0)	(2) Deflexión en milésimas de mm D(0)
T00	mayor a 4.000	**1000**	**500**
T0	Entre 2.000 y 4.000	**1250**	**500**
T1	Entre 800 y 2.000	**1500**	**750**
T2	Entre 200 y 800	**2000**	**1.000**
T3	Entre 50 y 200	**2500**	**1.250**
T4	Menor a 50	**3000**	**1.500**

Normas PG3 / PG-4 Ministerio de Fomento. España.

Se reconoce que existen niveles de agotamiento estructural que compromete la subrasante o explanada, en circunstancias en que la deflexión D(0) supera los umbrales de cada categoría de la columna (1).

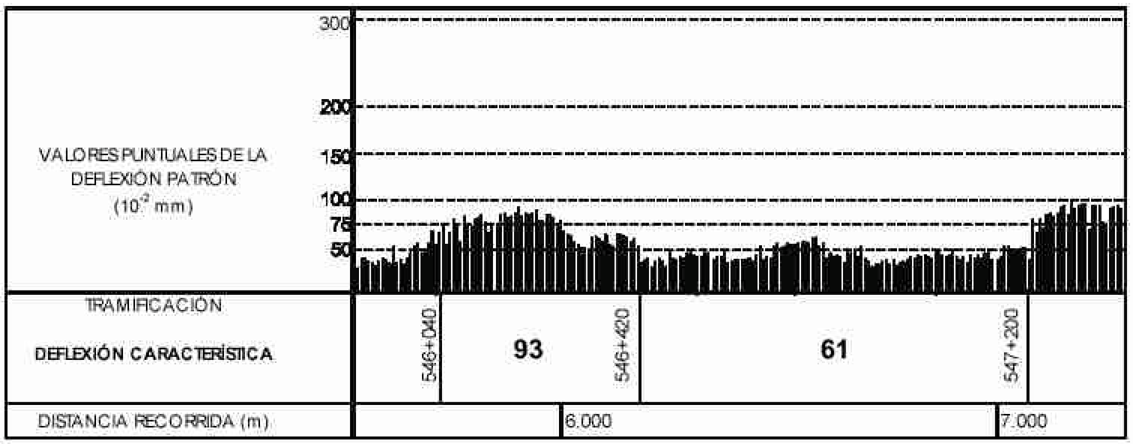
Por otra parte, se considerará que el pavimento tiene una vida residual insuficiente siempre que el valor puntual de la deflexión supere los umbrales indicados en la columna (2). La evaluación estructural con las herramientas de análisis utilizadas en este estudio permite conocer la vida residual.

A continuación detallaremos algunas de las metodologías de procesamiento de los datos.

4.2.1 DEFLECTOGRAMA CARACTERISTICO

Para establecer una tramificacion de zonas homogéneas a las que luego se aplicará una única solución de rehabilitación estructural, es recomendable disponer de una representación gráfica de las deflexiones (deflectograma), tomando como abscisas las distancias al origen de los puntos de medida y, como ordenadas, los valores de las deflexiones. Un ejemplo puede ser el esquematizado en la Figura No. 4.7

FIGURA No. 4.7.- Esquema de Deflectograma



Se puede realizar visualmente en él una tramificacion provisional de zonas homogéneas de comportamiento uniforme que complete o corrija la efectuada previamente.

Como a efectos constructivos no es operativo que los espesores de recrecimiento varíen cada pocos metros, convendrá establecer en cada proyecto de rehabilitación estructural una longitud mínima operativa de tramo de estudio, considerándose zonas singulares, que requerirán un estudio especial, las que no alcancen la longitud mínima, que a los efectos de aplicación se considera de 100 m.

En un tramo homogéneo que tenga un comportamiento uniforme, sus deflexiones se distribuirán aleatoriamente alrededor de la media *(*m), siguiendo una distribución normal con una desviación típica muestral *(s*). La experiencia sobre el tratamiento de las deflexiones medidas con cualquiera de los equipos de auscultación indica que es frecuente encontrar, en este tipo de tramos, unos coeficientes de *(s/*m) comprendidos entre 0,20 y 0,30. En tramos muy uniformes se dan valores inferiores a estos. Valores entre 0,30 y 0,40 indican menor uniformidad, pero se considera todavía aceptable. Si el coeficiente de variación de las deflexiones supera ampliamente el valor de 0,40, no podrá considerarse que el tramo tenga un comportamiento uniforme.

Como consecuencia de todo lo expuesto, la tramificación deberá hacerse, entre otros, con los criterios siguientes:

1. En los tramos homogéneos de comportamiento uniforme, los valores de las deflexiones variarán aleatoriamente en torno al valor medio *(*m).

2. Del orden del 95% de los valores de las deflexiones de cada tramo estarán comprendidos dentro del intervalo cuyo extremo superior sea vez y media el valor medio de las deflexiones, y cuyo extremo inferior sea la mitad de dicho valor medio (es decir, entre 0,5 *m* y 1,5 m).

3. Se considerarán distintos los tramos con valores medios diferentes.

4. Dos tramos con los mismos valores medios, pero con diferentes amplitudes de variación de las deflexiones (o sea, diferente s), serán asimismo distintos.

5. El coeficiente de variación de las deflexiones será inferior a 0,40.

6. La longitud de los tramos estará, en general, comprendida entre 200 y 1.000 m, diferenciando en el caso de autopistas, autovías y carreteras de calzadas separadas ambas calzadas a los efectos de tramificación de las deflexiones y cálculo de la rehabilitación estructural.

7. En cualquier caso, la longitud mínima en un tramo será de 100 m.

Analizado el deflectograma, las zonas que no hayan podido tramificarse según los criterios indicados, en especial los numerados como 2, 5 y 7, se considerarán como singulares y, por tanto, en ellos será preceptivo disponer de información complementaria.

Estudios Complementarios

Realizada la tramificación, según los criterios definidos en el apartado anterior, deberá ser comprobada y verificada in situ. Se estudiarán especialmente los casos en que exista discrepancia entre los valores de la deflexión, el aspecto superficial del pavimento y la sección estructural del firme, para conocer las razones de tal discrepancia, efectuando eventualmente trabajos adicionales de reconocimiento (nuevas medidas de deflexión, calicatas y ensayos complementarios, etc.).

La Tabla No. 4.4 recoge y resume las diferentes opciones que se pueden presentar. En general, se considerará que hay suficiente concordancia cuando, siendo las deflexiones altas, el pavimento esté degradado y se estime que la sección estructural del firme es escasa para las solicitaciones que soporta; así mismo, cuando las deflexiones sean bajas, el pavimento presente buen aspecto superficial y la sección estructural del firme parezca adecuada para las solicitaciones que soporta.

Conviene tener en cuenta que la calificación de las deflexiones como altas o bajas es relativa y éstas deben relacionarse siempre con las características de la sección estructural del firme existente; como es evidente, no cabe esperar los mismos valores de deflexión en los firmes flexibles, que en los semiflexibles y semirígidos.

TABLA No. 4.4. – Comparación Y Contraste De La Inspección Visual, El Tipo De Sección Estructural Y Las Medidas De La Deflexión

ASPECTO SUPERFICIAL	SECCIÓN ESTRUCTURAL DEL FIRME	DEFLEXIONES	DIMENSIONAMIENTO POR DEFLEXIONES	OBSERVACIONES Y ALGUNAS CAUSAS POSIBLES DE DISCREPANCIA
Malo	Escasa	Altas	Sí	Se precisa una rehabilitación estructural.
Malo	Escasa	Bajas	No	Si las deflexiones son bajas por haberlas medido en época seca, repetirlas en época adecuada o emplear un coeficiente corrector más ajustado al real. La aparente discrepancia también puede deberse a que alguna capa del firme haya sido tratada con un conglomerante hidráulico, y no se haya tenido en cuenta esta circunstancia.
Malo	Adecuada	Altas	Dudoso	Si hay deterioros de una capa del firme o de la explanada, corregirlos antes de efectuar la rehabilitación generalizada. Si la vida del firme está agotada,

				puede dimensionarse la rehabilitación por deflexiones
Bueno	Escasa	Altas	Dudoso	Posible rehabilitación o renovación superficial reciente, firme recién construido (en tales casos, puede dimensionarse la rehabilitación por deflexiones)
Malo	Adecuada	Bajas	No	Defectos en la capa superficial (debe hacerse rehabilitación superficial)
Bueno	Escasa	Bajas	No	Si el buen aspecto del pavimento proviene de una reciente renovación superficial, se está en un caso análogo al 2.
Bueno	Adecuada	Altas	No	Posible medida de deflexiones con temperatura elevada del pavimento, o tramo con pocas medidas
Bueno	Adecuada	Bajas	Sí	Puede no ser precisa una rehabilitación

Deflexión característica

Cada tramo homogéneo establecido se estudiará por separado y en él se determinará un valor de la deflexión que se considerará representativo del estado del firme. Lo normal será emplear un valor de deflexión característica dk el cual, suponiendo que los valores de la deflexión se reparten según una curva de Gauss, vendrá definido por la expresión:

$$\mathrm{dk} = m + 2\,s$$

en donde:

$$m = \frac{\sum di}{n}$$

y

$$s = \sqrt{\frac{\sum (di - m)^2}{n-1}}$$

siendo:

*d*i: la deflexión patrón, sin corregir por humedad y temperatura, del punto *i*

n: el número de puntos medidos.

El coeficiente 2 que figura en la expresión de dk equivale a una probabilidad del 97,5 % de que la deflexión característica no sea sobrepasada en el tramo (el valor 2 es una aproximación del 1,96 que se obtiene con una distribución normal).

Es importante, en todo caso, tratar independientemente las poblaciones de las deflexiones del carril derecho e izquierdo de la misma calzada, puesto que corresponden, en general, a familias claramente diferenciadas, para evitar cometer un error no admisible en el tratamiento de los datos y en el cálculo del espesor de recrecimiento correspondiente. La diferencia entre los valores de los diferentes carriles podría explicarse porque, aparte de que la sección estructural del firme es a veces distinta en ambos (sobre todo, si se ha ensanchado la carretera por un lado), las condiciones de drenaje y del suelo suelen ser diferentes en las carreteras a media ladera, y también en ocasiones las de drenaje en los desmontes, ya que el agua del subsuelo puede provenir preferentemente del lado derecho o izquierdo de la carretera, en función de las pendientes longitudinales y transversales de la calzada y de la explanada.

Si se miden por separado las deflexiones en la rueda derecha e izquierda del equipo de auscultación, como hacen los deflectógrafos, se podrá observar también que las medidas corresponden a poblaciones distintas, siendo generalmente más desfavorables la de la rodada derecha, situada más cerca del borde de la carretera, que la de la rodada interior, correspondiente al centro, que normalmente tiene menos humedad en la explanada.

Cuando la solución de rehabilitación estructural que se adopte consista en un recrecimiento por igual en toda la anchura de la calzada, a efectos de dimensionamiento del espesor necesario deberán tomarse las deflexiones del carril y su rodada más desfavorables.

4.2.2 METODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS

El método de las diferencias acumuladas es un método estadístico utilizado por el AASHTO 1993 conforme al apéndice J de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos, para establecer Secciones Homogéneas.

La metodología se basa en los siguientes pasos:

- Se realiza una hoja de cálculo en donde la primera columna denotara la abscisa del ensayo correspondiente.

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \ldots X_n$$

  Siendo

  X_1: La abscisa en el punto 1
  X_n: La Abscisa en el enésimo punto.

- La segunda columna denominada Distancia de Intervalo mostrara la diferencia entre las Abscisas de la columna 1, longitud expresada en metros.

$$\Delta X_1 = 0$$

$$\Delta X_1 = X_1 - X_0$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_1$$

$$\Delta X_n = X_n - X_{n-1}$$

- La tercera columna denominada Distancia Acumulativa es el cálculo del acumulado de las distancias de la columna 2.

$$\Sigma \Delta X_1 = 0$$

$$\Sigma \Delta X_2 = \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\Sigma \Delta X_3 = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3$$

$$\Sigma \Delta X_n = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \ldots + \Delta X_{n-1} + \Delta X_n$$

- La cuarta columna indica la respuesta (r) del pavimento en nuestro caso la deflexión máxima de los 9 geófonos (D1).
- La quinta columna expresa el promedio entre las deflexiones.

$$\check{r}_1 = r_1$$

$$\check{r}_2 = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$\check{r}_n = \frac{r_{n-1} + r_n}{2}$$

- La columna sexta denominada el Área de Intervalo se determina mediante la expresión siguiente:

$$a_1 = 0$$

$$a_2 = \Delta X_2 \times \check{r}_2$$

$$a_n = \Delta X_n \times \check{r}_n$$

- La columna séptima denominada el Área Acumulativa se determina mediante la expresión siguiente:

$$\Sigma a_1 = 0$$

$$\Sigma a_2 = a_1 + a_2$$

$$\Sigma a_3 = a_1 + a_2 + a_3$$

$$\Sigma a_n = a_1 + a_2 + a_3 + \ldots\ldots + a_{n-1} + a_n$$

- Se determina el factor de diferencia mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{Área Acumulativa}}{\text{Distancia Acumulativa}}$$

$$F = \frac{\Sigma a_n}{\Sigma \Delta X_n}$$

- La columna octava determina la Diferencia Acumulada a través de la siguiente expresión:

$$Zx_1 = 0$$

$$Zx_2 = \Sigma a_2 - (F \times \Sigma \Delta X_2)$$

$$Zx_n = \Sigma a_n - (F \times \Sigma \Delta X_n)$$

- Se realiza un gráfico **Zx** Vs **Abscisa,** el cual nos ayudará a la visualización de las secciones homogéneas. En teoría cada vez que el gráfico cambie de pendiente, esta determinará una nueva sección. Se deberá tener en cuenta que secciones muy pequeñas son antieconómicas para un tratamiento de rehabilitación.

4.2.3 PROGRAMA ROMDAS

Con el programa ROMDAS, se puede procesar los siguientes parámetros:

. Perfil Transversal

. Perfil Longitudinal

. GPS

. Puntos de Localización Referenciada

. Tiempos de viaje y Congestión

En la captura de datos los parámetros son grabados en diferentes archivos. Para procesar estos archivos se los hace por separado.

Para el procesamiento del Perfil Longitudinal, se deberá seleccionar la ecuación de calibración más acorde a la situación del pavimento estudiado. Una vez procesado el archivo es guardado en la base de datos general del proyecto. De igual manera se procede con el Perfil Transversal.

Estos archivos dependiendo de los parámetros de captura deberán ser presentados según la normalización cada 100 m a lo largo del proyecto.

Es recomendado realizar los ensayos cada 10 m y luego sacar un promedio por hectómetro, para obtener un perfil mas ajustado a la realidad.

4.2.4 PROGRAMA UNIANALYSE

Es un sistema de medida de fisuras sobre la carretera, que permite medir automáticamente el tipo de fisura, severidad y densidad de un segmento.

Recoge todas las imágenes pertenecientes a un segmento y mide las fisuras a lo largo de la sección del pavimento.

Para el análisis de las imágenes se emplea fundamentalmente dos pasos principales que son:

- Segmentación de la imagen,
- Clasificación de fisuras.

Segmentación de la imagen.- La segmentación de imagen es un proceso usado para identificar objetos dividiendo la imagen original en subgrupos.

Consiste en diferenciar las fisuras en el pavimento del resto del pavimento y para esto emplea el siguiente procedimiento:

- Divide la imagen del pavimento en cuadriculas. El cómputo basado en cuadrículas reduce significativamente la complejidad computacional de cálculos basados en píxeles. Como resultado es posible determinar más rápidamente existencia de fisuras y tipo de fisuras.

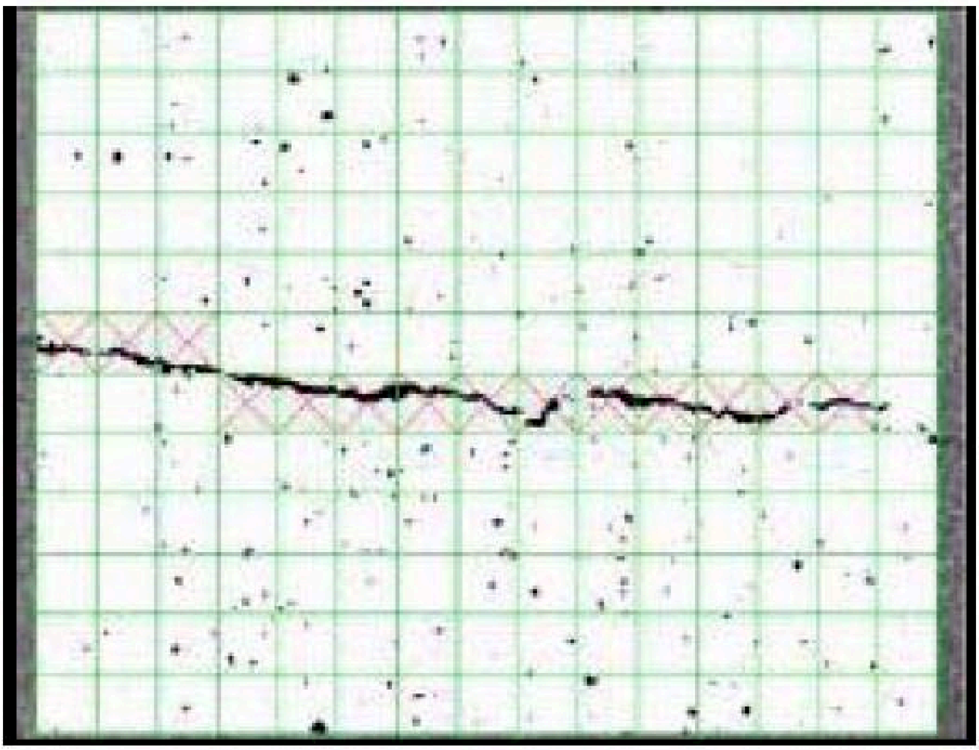
- Aplica filtros a la imagen para eliminar distorsiones en la imagen causadas por la textura del pavimento, las líneas entre carriles, sombras, etc. Además ya que el cómputo se realiza por cuadrículas, se ve menos afectado por perturbaciones de fondo debido a que pocos píxeles aislados no son suficientes para clasificar una cuadricula como fisurada.

Un filtro del medio calcula el valor medio del tamaño del filtro determinado clasificando los píxeles en orden ascendente o descendente. Entones un valor se determina usando una ecuación de regresión, la cual está desarrollada como una función de nivel de brillo de cada cuadrícula. Aplicando este valor a cada cuadrícula, cada píxel se convierte en un valor binario. (1,0)

- Si el porcentaje de píxeles representando fisuras en una cuadrícula es mayor que lo predefinido la cuadrícula se considera como fisurada. Se determina si una cuadricula está o no fisurada basado en el porcentaje de píxeles de fisuras en una cuadrícula.

Como se puede ver en la figura 4.7, la imagen de la superficie del pavimento ha sido dividida en cuadrículas y se ha corrido los filtros que han permitido distinguir entre cuadrículas fisuradas y no fisuradas.

FIGURA 4.7.- Imagen de la Superficie del pavimento divida en cuadrículas



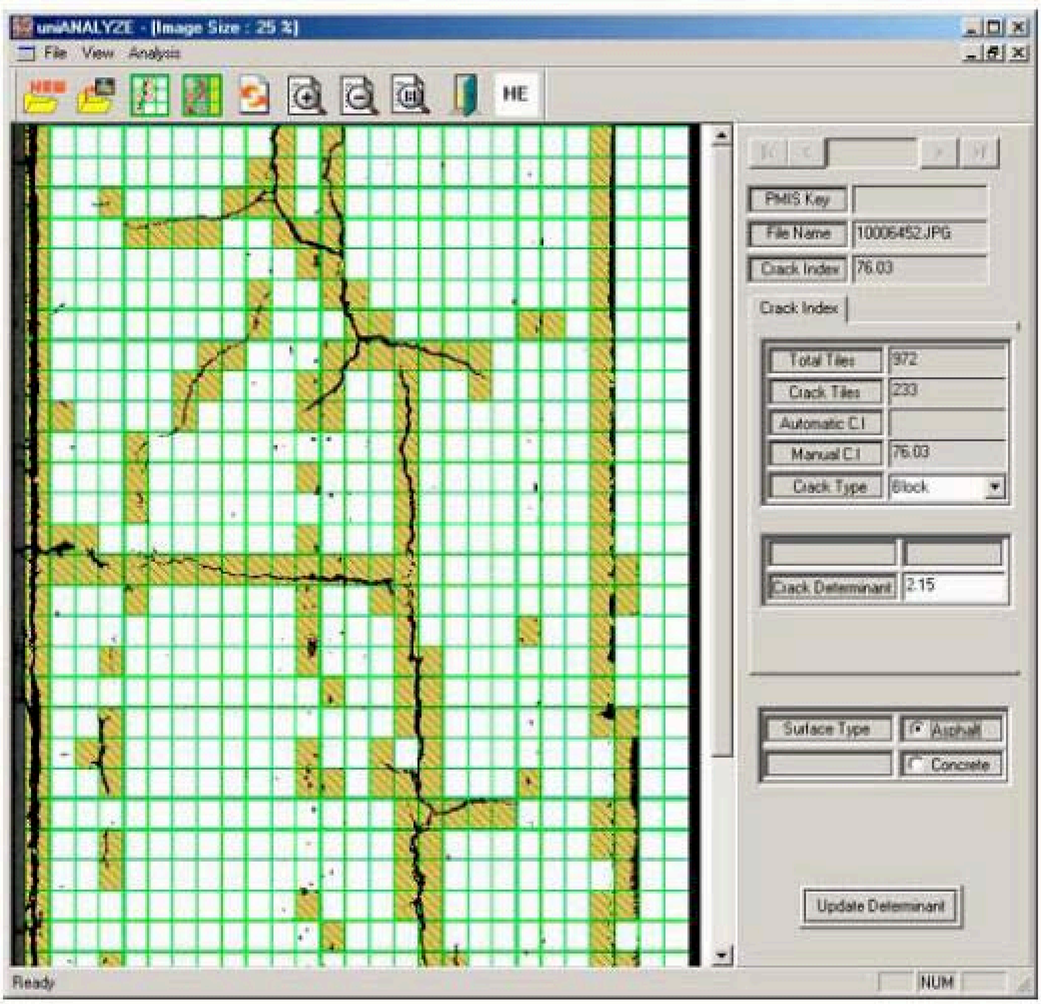
Clasificación de Fisuras.- diferenciación entre cinco tipos: sin fisuras, fisura transversal, longitudinal, piel de cocodrilo, y de bloque.

El resultado del análisis de las imágenes se presenta en unidades UCI (Unified Crack Index) o Índice Unificado de Fisuramiento, que se encuentra bajo norma ASTM STP 1121 [Pavement Management Implemnentation].

Este índice adimensional representa el porcentaje de la superficie del pavimento libre de fallas. Bajo este método uniANALIZE cuenta el número de cuadrículas afectadas por fisuras y las divide entonces para el numero total de cuadriculas en las que fue dividida la imagen, obteniendo de esta forma le UCI para cada imagen de la superficie del pavimento.

La figura 4.8 se muestra un ejemplo del como se ve el proceso de análisis de imágenes del pavimento.

FIGURA 4.8.- Procesamiento de Imagen del pavimento en programa UCI



Índice Unificado de Fisuras.- Es el porcentaje de la superficie del pavimento afectado por fisuras. Bajo este método se cuenta el número de cuadrículas afectadas por fisuras y las divide entonces para el número total de cuadrículas en las que fue dividida la imagen, obteniendo de esta forma el UCI para cada imagen del pavimento. Los estándares de clasificación del UCI se encuentran bajo regulaciones ASTM.

Estándares Provisionales AASHTO.- Los estándares provisionales de AASHTO han sido adoptados por este paquete informático y usados desde el año 2000. Se puede determinar el tipo de fisura de cada imagen basada en los protocolos AASHTO. Después de definir el tipo de fisura, calcula la extensión y severidad de la fisura. Esto es medido ya sea por longitud o área de la fisura.