## 2. TECNICAS DE EVALUACION DE CARRETERAS NO DESTRUCTIVAS.

La incidencia de factores de diverso origen determinan alteraciones de la superficie de rodamiento de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro. La finalidad de todo proceso de mantenimiento o refuerzo de los pavimentos en servicio, es corregir los defectos mencionados para alcanzar un grado de transitabilidad adecuado durante un período de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión necesaria.

Las causas de los defectos mencionados son de distinto origen y naturaleza; entre las que cabe destacar las siguientes:

- Elevado incremento de las cargas circulantes y de su frecuencia con respecto a las previstas en el diseño original.

- Deficiencias durante el proceso constructivo en la calidad real de los materiales en espesores o en las operaciones de construcción, particularmente en la densificación de las capas.

- Diseños deficientes (ejemplos: empleo de métodos de diseño que resultan inadecuados en la actualidad; incorrecta valoración de las características de los materiales empleados; incorrecta evaluación del tránsito existente y previsto durante el período de diseño del pavimento).

- Factores climáticos regionales desfavorables (ejemplos: elevación del nivel freático, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia de drenaje superficial ó profundidad prevista).

- Deficiente mantenimiento por escasez de recursos económicos disponibles, equipo, maquinaria especializada y personal capacitado.

- Problemas de aprovisionamiento en algunas zonas del país, por agotamiento de materiales adecuados en las proximidades de los puntos de empleo, obligando a mayores distancias de acarreo. A veces la limitante es legal, por razones urbanísticas y aún ambientales.

Por los anteriores y otros problemas, existe la necesidad perentoria de determinar, mediante diferentes tipos de ensayos, parámetros estructurales y funcionales, que nos indiquen el estado actual del pavimento y su desempeño futuro.

### 2.1 DEFLECTOMETRIA.

La Deflectometría comprende los defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir de una o más de las capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitaciones que impone el tránsito y el conjunto de factores climáticos regionales. En la corrección de este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado.

Teniendo en cuenta que un pavimento es una estructura con cierta capacidad para absorber como energía elástica potencial el trabajo de deformación impuesto por cada carga circulante durante su vida útil; retirada la carga, dicha energía es la determinante de la recuperación elástica o cuasi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuanto menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga. La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

- Si la capacidad mencionada es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura.

- Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción de sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de Fisuramiento.

Para poder realizar la rehabilitación de un firme en conservación de carretera, uno de los datos que el Ingeniero encargado del Proyecto necesita es el de conocer el estado estructural del firme a rehabilitar. El estado estructural se acostumbra a definirse mediante la auscultación con alguno de los equipos disponibles.

Las carreteras además de proporcionar una superficie segura y cómoda deben resistir las cargas de los vehículos pesados que producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad inicial de resistir esas cargas. La forma más frecuente de establecer la capacidad estructural del firme es determinando la deflexión o desplazamiento vertical bajo una carga normalizada de referencia.

**Deflexión.-** El parámetro que se utiliza de forma determinante y que ofrece mayor significado en los procesos de rehabilitación y de cálculo de refuerzo de firmes es la deflexión elástica del firme bajo una carga.

La deflexión es el valor del desplazamiento vertical en superficie del firme al aplicarle una carga normalizada.

El valor de la deflexión depende de una serie de factores, entre los que destacan:

- El tipo de firme

- El estado del firme
- La temperatura del pavimento
- El equipo de medida

Los valores de la deflexión se expresan normalmente en centésimas o milésimas de milímetro.

La deflexión es un valor evolutivo que representa el estado estructural del firme, respecto a un valor inicial de deflexión mínima. Las técnicas de interpretación de los valores de la deflexión permiten cuantificar las actuaciones necesarias de refuerzo o rehabilitación del firme. La mayor dificultad que presenta la deflexión es la lentitud de la medida con los equipos actuales, por lo que su medida se suele realizar como atributo local (a nivel de tramo donde ya se ha decidido que es necesario actuar). Asimismo la deflexión elevada no es buena o mala por si misma, sino que su valor se tiene que interpretar en función del tipo de firme y de los espesores de las capas que lo constituyen. Por esta razón disponer de una Información fiable y suficiente de los espesores es un elemento fundamental para determinar las características estructurales.

Finalmente la otra variable básica que interviene en el estudio de la capacidad estructural del firme es la cuantificación adecuada de las solicitaciones. En esta cuestión se descubre la interrelación entre características estructurales y superficiales. El efecto de superposición más conocido, aunque difícil de cuantificar, es el crecimiento exponencial del daño en el firme debido a que las cargas dinámicas se incrementan con la mala regularidad superficial. Es decir, un mismo eje de 13 t es mucho mas "agresivo" para el firme en un tramo de mala regularidad (IRI elevado) que en otro en buen estado. La inversa también suele ser cierta, un tramo de mala regularidad presenta, muy probablemente, un estado estructural deficiente. Por esta razón el lRI es un parámetro de un gran contenido informativo para estimar las características estructurales.

Los resultados de la Auscultación Deflectométrica se organizan en ficheros que contienen información sobre los siguientes aspectos:

- Datos de la carretera (Identificación de Tramo y Subtramo, Número de Distrito, Abscisa Inicial
- Nombre del cliente y código
- Fecha del Ensayo
- Altura de caída
- Número de golpes por ensayo
- Hora de cada ensayo
- Tipología de Pavimento

- Abscisa ensayada
- Valores de la deflexión en los 9 geófonos
- Valor de la carga
- Temperatura del aire y del pavimento

Los resultados de las auscultaciones deflectométricas requieren dos tipos de análisis:

1.- En primer lugar un tratamiento estadístico que permita identificar y agrupar tramos con igual comportamiento estructural. Para ello se utilizarán deflexiones normalizadas, que corrigen la influencia de la temperatura del pavimento y humedad de la explanada en los valores de deflexiones obtenidos. El análisis estadístico se realiza por zonas preestablecidas donde se conoce o se supone que la sección de firme es la misma. A las deflexiones obtenidas en esa zona se le aplica algún test de homogeneidad para establecer tramos homogéneos (se suele realizar un análisis de la varianza de las deflexiones obtenidas ó similar). A cada tramo homogéneo se le asigna una deflexión de cálculo, que se emplea para conocer la capacidad estructural remanente del firme medido.

   Se entiende por tramo homogéneo aquel que una vez conocido su estado estructural va a ser rehabilitado uniformemente.

2.- El segundo tipo de análisis calcula la capacidad estructural del firme, mediante el procedimiento conocido como "Cálculo Inverso", o determina la adecuación del firme a la vida de diseño mediante la comparación de la deflexión de cálculo con las deflexiones críticas.

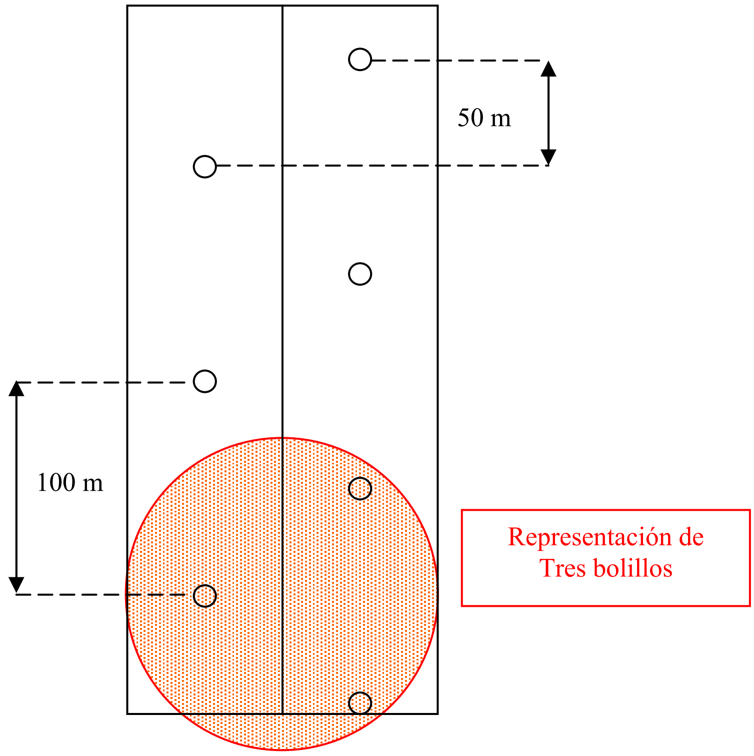
El procedimiento de mayor difusión internacional para el análisis de las deflexiones se conoce con el nombre de "Cálculo Inverso" ó "Backcalculation" que consiste en calcular los módulos de las diferentes capas del firme, mediante el ajuste de las deflexiones medidas a las deflexiones teóricas que se obtendrían con un modelo de firme (definido por unos espesores conocidos y unos módulos desconocidos). Para ello se necesita trabajar con todo el cuenco de deflexiones (los 9 valores de deflexión de cada ensayo).

El conocimiento del estado estructural del firme permite determinar el espesor de refuerzo necesario para una vida de cálculo dada.

El proceso es largo y requiere experiencia ya que puede haber diversos ajustes para los que se necesita un conocimiento de los modelos de comportamiento del firme. Este método se discernirá en el capitulo 4.

**Estándar Recomendado.-** La frecuencia de datos según la Deflexión debe ser evaluada cada 50 metros en tres bolillos a lo largo del tramo. En la figura No. 2.1 se muestra un gráfico de la captura de datos en tres bolillos.

**FIGURA 2.1.- Gráfico de Captura de Datos en tres**




## 2.2 REGULARIDAD SUPERFICIAL.

Se define como regularidad superficial de una carretera a la mayor o menor aproximación del perfil real al teórico que es aquél que no produce, dentro de un vehículo en marcha, aceleraciones verticales. La cuantificación de la regularidad se puede realizar con la medida de diferentes magnitudes (desnivelaciones verticales, modificaciones de la energía en el movimiento de un vehículo, determinación de las aceleraciones dentro del vehículo, etc). La evaluación del grado de irregularidad de una carretera debe efectuarse tanto en sentido longitudinal como transversal.

La regularidad superficial comprende los defectos de la superficie de rodamiento debido a fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La correlación de estas fallas se efectúa con sólo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y regularidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan desde el punto de vista estructural en forma directa.

En la actualidad se considera que determinadas ondulaciones de un perfil tienen relación directa con el grado de deterioro de la sección estructural, pero existen otras de diferente longitud de onda que, además, afectan a la seguridad y a la comodidad del usuario. Así, por ejemplo, las deformaciones transversales de un perfil pueden producir acumulaciones de agua superficial y originar hidroplaneo. Ondulaciones longitudinales con longitud de onda corta (0 a 3 m) suponen peligrosidad al usuario que circula a alta velocidad, ya que en los movimientos del vehículo se pueden producir despliegues de la carretera, con la consiguiente pérdida de la adherencia neumático-pavimento. Ondas de cualquier longitud producen movimientos en el vehículo y aceleraciones verticales en los pasajeros (cabeceos y balanceos) que resultan incómodos, tanto más cuanto mayor es la velocidad.

La regularidad superficial es una de las características básicas del estado del pavimento. Se mide a través del análisis del perfil longitudinal y del perfil transversal.

### 2.2.1 Perfil Longitudinal.

El perfil longitudinal se define por las variaciones relativas en altura de la superficie de la carretera en dirección longitudinal, es decir, en la dirección del movimiento de los vehículos. El perfil longitudinal también puede definirse como el conjunto de desniveles e irregularidades de la carretera.

Tiene una gran influencia sobre aspectos funcionales, tales como el consumo de combustible o el desgaste de los neumáticos y otras partes del vehículo, sobre todo las relacionadas con la suspensión. Por otra parte, afecta a la comodidad del usuario y provoca fatiga durante la conducción. También repercute en el medio ambiente, por los ruidos producidos con el paso de los vehículos, y afecta a los firmes por los impactos dinámicos que aparecen como consecuencia de una regularidad inadecuada.

Todos estos factores han provocado que el interés por una regularidad superficial adecuada crezca con el paso del tiempo, no sólo en el ámbito nacional, sino en el internacional. En este sentido, la regularidad es objeto de análisis en el Comité Técnico "Características Superficiales de los Firmes" de la AIPCR (Asociación Mundial de Carreteras).

De acuerdo con los estudios relacionados y homologados internacionalmente, la regularidad es el factor principal para determinar el nivel de servicio de la vía.

El Índice de Regularidad Internacional se lo define como la distancia vertical acumulada por la suspensión del vehículo en metros por un kilómetro viajado. Por consecuencia la unidad del IRI es m/Km, algunos equipos miden la regularidad en unidades equivalentes como mm/m, esto variará de la distancia recorrida en los ensayos.

Asimismo, y aunque no esté regulado, se emplea el IRI para la conservación de la red de carreteras, indicando qué valores de IRI mayores de 4 m/Km deben ser evitados en carreteras con tráfico importante (IMD > 1.000).

En la tabla No. 2.1 se establece el Porcentaje de Hectómetros que deberán tener un IRI de especificación.

**TABLA No. 2.1.- Porcentaje de Hectómetros Vs. IRI Especificado**

| IRI ESPECIFICADO | % HECTOMETROS |
|---|---|
| < 1.5 m/Km | 50 |
| < 2.0 m/Km | 80 |
| < 2.5 m/Km | 100 |

Un tramo de carretera se clasifica utilizando el valor de IRI medio expresado en metro / Kilómetro en los niveles establecidos en la tabla No. 2.2 siguiente:

**TABLA No. 2.2.- Calificación del IRI**

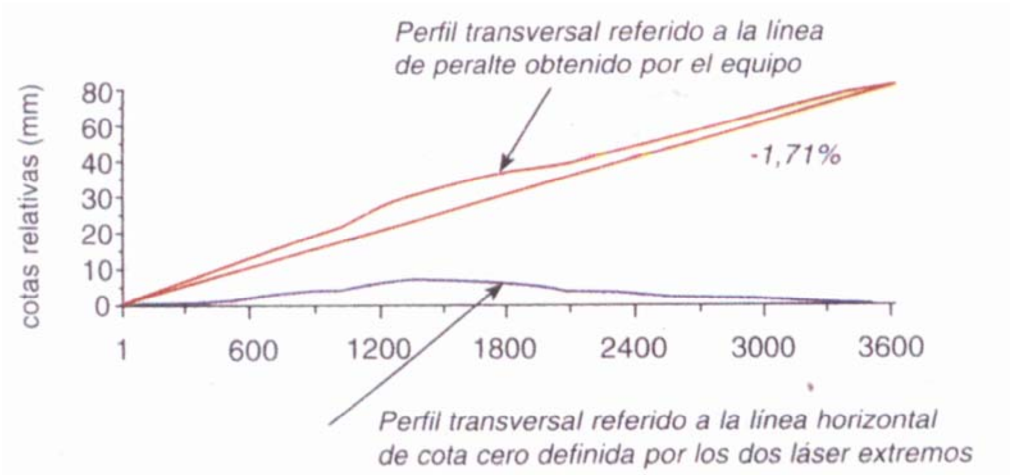
| CALIFICACION | IRI MEDIO (m/Km) |
|---|---|
| EXCELENTE | < 1.5 |
| ACEPTABLE | 1.5 – 2.5 |
| REGULAR | 2.5 – 4.0 |
| NO DESEABLE | > 4.0 |

**Estándar Recomendado**.- La frecuencia de datos según el IRI debe ser ensayada cada 100 metros a lo largo del tramo. Se recomienda realizar medidas a 10 m de distancia y sacar un promedio por Hectómetro, para mayor exactitud del perfil.

### 2.2.2 Perfil Transversal.

El perfil transversal se define como el resultado de las variaciones en altura relativa del pavimento en sentido lateral a lo largo de la carretera. Casi todas las variaciones del perfil transversal se encuentran en las zonas de rodadas y aparecen debido a la acción abrasiva de los neumáticos y a la deformación plástica causada por los vehículos pesados. A estas deformaciones se les llama **roderas**. En la Figura 2.2 se muestra la Representación del Perfil Transversal.

**FIGURA 2.2.- Representación del Perfil Transversal**



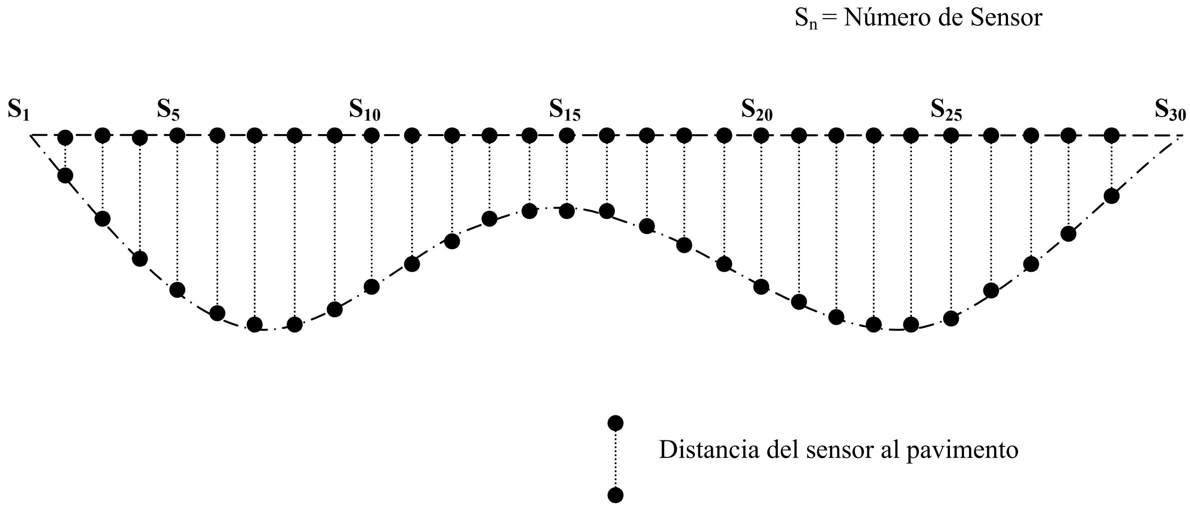

Calcular el perfil transversal cada 10 cm proporciona un nivel alto de exactitud y reproducibilidad para las medidas del perfil transversal, tales como las roderas. Sin embargo varias cuestiones, mencionadas a continuación, se deben tener en cuenta cuando se comparan las medidas del perfil de alta velocidad con las medidas estacionarias típicas de topografía.

La medida normal del perfil transversal es un valor medio de la longitud de un tramo especificado de la carretera mientras que las medidas realizadas por un equipo estacionario son medidas puntuales y a menudo se realizan donde se han detectado visualmente roderas profundas. Por lo tanto las medidas estacionarias en ocasiones dan medidas de roderas más profundas que las medidas, no estacionarias.

Otra explicación de la diferencia entre los perfiles transversales estacionarios y no estacionarios es que, debido al pequeño punto de luz de la cámara láser, a veces mide los picos del perfil de textura y a veces, los valles. El resultado es la distancia.

**Roderas.-** En la mayoría de los casos, la forma del perfil transversal es la que se muestra en la Figura No 2.3, donde se pueden distinguir dos roderas. La arista que separa las roderas puede ó no puede exceder la línea que conecta los puntos extremos del perfil. En algunos casos, sin embargo, la arista no existe, dejando un perfil transversal con una sola depresión ancha.

**FIGURA 2.3.- Gráfico de Roderas**




Un tramo de carretera se clasifica utilizando el valor medio de la rodera máxima expresada en milímetros en los niveles establecidos en la Tabla No. 2.3 siguiente:

**TABLA No. 2.3.- Calificación de Roderas**

| **CALIFICACION** | **RODERAS (mm)** |
|---|---|
| BUENO | < 10 |
| ACEPTABLE | 10 – 15 |
| NO DESEABLE | > 15 |

El perfil transversal se precisa para determinar zonas donde el agua no pueda desaguar a pesar de la pendiente del pavimento.

Las roderas son una consecuencia de la erosión provocada por el vehículo y de la deformación del pavimento. Dependen del tráfico (intensidad, peso y velocidad) y del tipo de material usado. La magnitud de la profundidad de las roderas está muy influenciada por la temperatura, por la velocidad de los vehículos pesados y por el tipo de mezcla que se emplee. Además de reducir la comodidad. Las roderas pueden resultar peligrosas al interferir en el control del vehículo y permitir el estancamiento del agua, aumentando el riesgo de hidroplaneo.

El hidrodeslizamiento se puede resaltar como una de las características de las carreteras que pueden afectar al usuario.

**Estándar Recomendado**.- La frecuencia de datos según las roderas debe ser tomadas cada 100 metros a lo largo del tramo. Se recomienda realizar medidas a 10 m de distancia y sacar un promedio por Hectómetro, para mayor exactitud del perfil.

### 2.2.3 Textura.

Se define la textura como las desviaciones de la superficie del firme respecto a una superficie planar menores o iguales a 0,5 metros. La textura se subdivide en Microtextura, Macrotextura y Megatextura.

La microtextura es la característica global que comprende las longitudes de onda más pequeñas. Se puede definir como la irregularidad superficial de los componentes individuales de la superficie de la carretera, por ejemplo los áridos utilizados en la capa de rodadura. La microtextura se considera particularmente importante en la valoración de la resistencia al deslizamiento (fricción) de la superficie; un exceso de pulimento en los áridos disminuye la fricción en la superficie. Una forma indirecta de medir la microtextura es determinando el coeficiente de fricción o rozamiento.

La macrotextura incluye longitudes de ondas mayores, desde el tamaño del árido hasta la huella del neumático. Tiene relación con la parte vertical y lateral del drenaje y con los áridos de la capa superficial. La macrotextura influye en muchos aspectos del funcionamiento de la carretera. La medida de la macrotextura permite el control y predicción de muchos de los parámetros relacionados con la carretera, los neumáticos, y el comportamiento de vehículo y del conductor.

Un termino nuevo, megatextura, ha sido recientemente asociado con la regularidad superficial. El término intenta señalar los aspectos de las características superficiales que se repiten con longitudes de ondas entre medio centímetro y medio metro. Los casos que se presentan irregularidades grandes incluidas en estas longitudes de ondas no tienden a ser repetitivas se señalan como características locales, incluso sobre grandes tramos de firmes. Los baches son un ejemplo de megatextura elevada.

La resolución requerida para la medida de la macrotextura es bastante más exigente que para la medición de la profundidad de las roderas. Se puede considerar la macrotextura superficial como un atributo local (como en el caso de desconchones o arrancamientos localizados de partículas) o como una característica global (la textura general del firme). En este último caso, debe realizarse un muestreo muy intenso para capturar las características más pequeñas, al mismo tiempo que resume los resultados como características globales de la superficie.

La medida de la textura superficial ha evolucionado a lo largo de los años con diferentes conceptos de análisis, métodos de medida y criterios de evaluación. En el Congreso Mundial de Carreteras de Bruselas (1987), el Comité Técnico de Características Superficiales, propuso una clasificación de las características geométricas superficiales que se fundamenta en las medidas de la longitud de onda y en las amplitudes de las irregularidades. La Tabla No. 2.4 resume esta clasificación.

**TABLA No. 2.4.- Clasificación de las Características Superficiales**

| | DIMENSIONES DE LAS IRREGULARIDADES | |
|---|---|---|
| **TIPOLOGIA** | **HORIZONTAL** | **VERTICAL** |
| MICROTEXTURA | 0 – 0.5 mm | 0 – 0.2 mm |
| MACROTEXTURA | 0.5 – 50 mm | 0.2 – 10 mm |
| MEGATEXTURA | 5 – 50 cm | 10 – 50 mm |
| REGULARIDAD | 50 cm – 50 m | |

Longitudes de onda mayores a $10^{1,5}$ mm resultan indeseables al momento de evaluar, aunque hasta cierto límite aceptable; sin embargo, longitudes menores son necesarias para una adecuada interacción vehículo – carretera, entre microtexturas, macrotexturas y algunas megatexturas, vale señalar que la huella del neumático tiene una longitud de $10^2$ mm. Los defectos de regularidad superficial influyen en la resistencia y comodidad de la rodadura, estabilidad en marcha, cargas dinámicas, desgaste del vehículo y ruido durante el contacto neumático – pavimento. Una vez idealizadas las magnitudes de onda (m) y relacionadas las frecuencias medidas (Hz), es posible representar correlaciones de seguridad y comodidad del viaje, cuando se administran bases de datos extensas.

**Estándar Recomendado**.- La frecuencia de datos según la textura debe ser tomadas cada 20 metros a lo largo del tramo.

## 2.3 FISURAMIENTO.

Las fisuras son reflejo de una mala actuación de la capa de pavimento ante las cargas recibidas a diario, estas se pueden producir por distintos factores entre los que se destacan:

- El Tránsito,

- El Clima,
- Tipo de Carpeta de Rodadura, entre otros

Cuando uno realiza el diseño de un pavimento a n años, normalmente se magnifican las cargas de tránsito, para prever futuros desarrollos automotrices, pero debido a la mala regulación de pesos de los camiones, estas cargas son sobresaturadas por el parque automotriz, produciendo aceleradamente la aparición de fisuras.

Las fisuras no representan necesariamente características de tramos largos de pavimento, sino manifestaciones de cambios locales de corto plazo en la superficie del pavimento.

En la Fotos No. 2.1 y No. 2.2 se muestran ejemplos de Fisuración.

**FOTO No. 2.1.- Fisura de Bajo Nivel**

**FOTO No.2.2.- Fisura de Alto Nivel**

La aparición de fisuras es el primer aviso de una carretera con problemas. Es indicio de tensiones, debidas a condiciones climáticas o de cargas de tráfico que han sobrepasado los límites de la resistencia del firme o a problemas con la explanada. Es la señal para el ingeniero de que los costos de conservación se van a disparar si no se actúa con prontitud.

**Estándar Recomendado**.- La frecuencia de datos según el Fisuramiento deberá ser tomadas cada 100 metros a lo largo del tramo. Se recomienda realizar cada 10 metros y luego sacar un promedio, para mayor exactitud en la medida.

## 2.4 INSPECCION VISUAL.

Es el procedimiento normalmente más usado, se basa en una inspección visual detallada que permita establecer la condición superficial del pavimento. Este procedimiento puede arrojar valores bastante dispares, por lo que es siempre conveniente comprobar que se encuadran dentro de valores avalados por la experiencia de quien evalúa.

En todo pavimento se producen fallas superficiales, las cuales pueden ser causadas por efectos del tráfico, por efectos ambientales, por problemas de durabilidad o por una combinación de efectos. La existencia de fallas en un pavimento reduce su condición de servicio.

El parámetro que refleja la serviciabilidad funcional del pavimento es el PCI (Índice de Condición del Pavimento).

El PCI es calculado en base a los resultados de una evaluación visual de la condición del pavimento identificando los tipos de fallas en éste, sus severidades y cantidades. La metodología aplicada a este parámetro es el PAVER, metodología que será descrita en el Capítulo 4.

## 2.5 HIDRODESLIZAMIENTO.

El ensayo de Hidrodeslizamiento es un parámetro que está representado por el coeficiente de rozamiento que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la meteorología (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc.). La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

La fricción en carreteras es muy importante para la seguridad del tránsito, pero es difícil particularizar el efecto de una pobre (o baja) fricción como causa del riesgo de accidente. En condiciones de invierno, los caminos con características similares pueden tener diferentes valores de fricción; por otra parte, las carreteras con características diferentes pueden tener las mismas condiciones de fricción. En ambos casos, el conductor principalmente se adapta a las condiciones de clima y no a las condiciones de fricción.

Existe indudablemente una fuerte correlación entre la fricción de la carretera y el riesgo de accidentes. Los problemas se incrementan cuando requerimos una visión más detallada de esa correlación. Existen diferentes métodos para evaluar y cuantificar la fricción de la carretera y además diversos criterios para tratar y categorizar los datos de accidentes.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de adherencia de un pavimento evolucionan con el tiempo como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de los neumáticos de los vehículos. Por tanto se tiene que comprobar el coeficiente de rozamiento mediante técnicas de auscultación.

Está comprobado que las necesidades de adherencia y de capacidad de evacuación de agua en los "huecos" del neumático y del pavimento se pueden asegurar razonablemente con pavimentos que tengan determinados valores de microtextura (fricción) y de macrotextura. Es decir, la microtextura influye en la fricción y la macrotextura en la capacidad de evacuar agua rápidamente, impidiendo o dificultando los fenómenos de hidroplaneo, lo que también ayuda a mejorar la fricción.

Dentro de este tópico es importante analizar la adherencia que existe entre las llantas del vehículo y el pavimento, se encuentra subdividida cuando se presentan dos casos dependiendo del estado en el que se encuentre el suelo (seco o mojado):

**Adherencia en suelo seco.-** La fuerza procede de dos mecanismos superpuestos (adhesión, identación) en los que el estado de la superficie del suelo desempeña un papel determinante.

Diferentes tipos de suelos: (1) La microrugosidad (unos pocos angstroms) pone en juego las fuerzas moleculares de adhesión. Por ello observamos este fenómeno de adherencia en superficies aparentemente lisas. (2) La macrorugosidad (de unas pocas micras a unos pocos milímetros), pone en juego fuerzas de adherencia muy importantes: es el mecanismo de indentación.

**Adherencia en suelo mojado.-** Una cierta altura de agua en la calzada produce mecanismos de degradación de la adherencia. El viscoplaning se debe a la presencia de una película residual de agua entre le suelo y el neumático (altura de agua 0.5 mm). Esta fina película de agua se interpone entre la goma y el suelo, las uniones moleculares se interrumpen totalmente entre ellos. La adhesión tiende a cero y el deslizamiento no encuentra oposición alguna.

El hidroplaneo (o aquaplaning) es una perdida progresiva del contacto con el suelo por la formación de una capa entre el neumático y el suelo (altura de > 0.5 mm) por la velocidad del vehículo. Bajo el efecto de la velocidad de desplazamiento del neumático, la presión del agua situada ante él aumenta y va levantando el neumático progresivamente. Al aumentar la velocidad, la cuña de agua aumenta también debajo del neumático y acaba por despegarlo totalmente del suelo. El fenómeno de aquaplaning puede resumirse en 3 puntos:

- Puesta en presión del agua, por la velocidad de avance del neumático,
- Evacuación de una parte del fluido por los lados del neumático,
- Levantamiento del neumático cuando las presiones hidrodinámicas son superiores a las presiones de contacto.

Se produce, por tanto, una disminución del potencial de adherencia que conlleva:

- El aumento de la distancia de frenado,
- La disminución de la capacidad de dirección.

Este fenómeno además se asocia con el peso del vehículo, las características de los neumáticos, la textura y el espesor de agua en el pavimento. Aunque son muchas las variables que intervienen, la fundamental es la existencia en el pavimento de agua con una profundidad crítica. Por tanto, el potencial de riesgo de una sección de carretera al hidroplaneo viene determinado por la existencia de profundidades críticas que suelen ocurrir durante inundaciones y lluvias intensas repentinas.

Puesto que el hidroplaneo solamente puede ocurrir cuando hay agua en el pavimento, el riesgo de hidroplaneo de cada tramo de carretera se determina considerando la topografía del pavimento: su geometría superficial, textura y peralte que determinan la película de agua. El espesor sobre el pavimento es función directa de la cantidad de agua, de la intensidad y duración de la precipitación (lluvia torrencial repentina) e inversa de la capacidad de drenaje del pavimento. La capacidad de evacuación de un pavimento se clasifica en: drenaje por infiltración (drenaje a través del pavimento) y drenaje por escorrentía (agua que escurre longitudinal y transversalmente hacia el arcén). En casi todos los tipos de pavimento el agua infiltrada es mínima, excepto en los diseñados específicamente para infiltraciones elevadas (mezclas porosas). El drenaje por infiltración depende de la textura del pavimento (valor que también afecta al drenaje de escorrentía) de las pendientes longitudinal y transversal y de las depresiones de la superficie que forman valles que disminuyen o impiden el drenaje (como es el caso de las roderas).

Para determinar las características del drenaje del pavimento es necesario conocer los valores del peralte y pendiente longitudinal para determinar la evacuación adicional puede atribuirse a una pendiente favorable o, por lo contrario. La altura de agua que puede deberse a retenciones o inundaciones a lo largo de la superficie del pavimento.

El trazado de la carretera se relaciona con el cambio angular vertical y horizontal del pavimento. Una curva de radio demasiado pequeño, para la velocidad de proyecto, puede requerir reducción de velocidad y además causar accidentes, especialmente cuando se combina con peraltes elevados o incluso contra peraltes. Carreteras con pendientes longitudinales extremas son antieconómicas y peligrosas.

**Estándar Recomendado**.- La frecuencia de datos según el Hidrodeslizamiento deberá ser tomadas cada 200 metros a lo largo del tramo, especialmente en curvas verticales y horizontales.

## 2.6 REGISTRO DE VIDEO.

Con ayuda del registro de video uno puede realizar un inventario vial, que constituye una de las primeras y más importantes tareas de los responsables de una red de carreteras. Los inventarios sirven para tener un conocimiento básico de la red (longitud) y para obtener una serie de informaciones adicionales hasta el nivel de detalle que los administradores consideren (Inventario de señalización, de puentes, de tipo de pavimentos, de espesores de firme, etc.).

Una de las primeras tareas asociadas o derivadas del inventario es la clasificación (Red Principal, Secundaria, etc) y la designación o numeración (Carretera "X 100") de la red. Los criterios de numeración son muy variables, siendo bastante usual emplear la numeración par en carreteras Este-Oeste y la numeración impar en carreteras Norte-Sur.

Los inventarios deben estar informatizados y organizados en bases de datos gráficas y numéricas que permitan fácilmente su explotación y la preparación de los mapas do la Red y de los tratamientos numéricos que se requieran. Asimismo los inventarios deben organizarse de forma que permitan la conexión fácil y rápida con datos evolutivos (tráfico, estado de los pavimentos, de los puentes, etc.). Es normal organizar el inventario por:

- Carretera
- Tramo
- Kilómetro
- Distancia al kilómetro anterior
- Sentido

**Estándar Recomendado**.- La captura de video es un ensayo continuo a lo largo de toda la carretera.