## 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y PROGRAMAS.

En la actualidad, la obtención de parámetros que definan las características del pavimento requiere de un trabajo más allá de laborioso, científico. Gracias a la ayuda de la Informática, podemos realizar esta captura de datos con modernos equipos que a más de generarnos beneficios con la facilidad de tiempo, nos provee de una seguridad de los parámetros ya que su grado de error es cada vez más ínfimo.

Entre los beneficios que nos brindan estos equipos están:

**Permanencia.-** Basado en la continuidad y en la estabilidad de los ensayos.

**Localización Referencial.-** Determina y señala el desplazamiento exacto de los ensayos a lo largo del proyecto.

**Exactitud.-** Puntualidad y fidelidad de los datos obtenidos en la ejecución de los ensayos.

**Valoración y Registro.-** Referente a la apreciación de los equipos.

**Relevancia.-** La información obtenida en este tipo de ensayos es destacada y de significativa importancia en los procesos de diseño y construcción.

**Adecuación.-** La acomodación de los equipos al terreno de trabajo facilita la obtención de los datos y el procesamiento de los mismos.

**Fiabilidad. -** El buen funcionamiento y la calibración contínua de los equipos, proporciona la seguridad de los datos obtenidos.

**Precisión y Velocidad.-** La exactitud y prontitud de los ensayos en la determinación de los parámetros, es la ventaja más relevante de este tipo de equipos.

**Automatización.-** El beneficio de la tecnología se hace presente en este tipo de equipos, ya que son operados manualmente desde un ordenador, sin la necesidad de bajarse del vehículo, de igual forma los datos son grabados de forma inmediata para su utilización posterior.

**Información Por Niveles.-** Es posible la programación de la evaluación dependiendo del grado de estudio a realizar, ya sea este a nivel de estudio, diseño, construcción o control.

**Bajos Costos.**- Los costos que se generan de las inspecciones son considerablemente más bajos tomando en cuenta el tiempo de ejecución de los ensayos y de la fiabilidad de los datos obtenidos.

La auscultación del firme mediante equipos de alto rendimiento proporciona información precisa y cuantitativa sobre el estado de sus características estructurales y superficiales, esto ayudado de los programas de procesamiento conforma parte de la tecnología más avanzada del primer mundo.

Teniendo en cuenta de que los Equipos y Programas son propiedad de la Compañía INEXTEC CIA. LTDA. Solo se podrá referir de estos las características principales de los mismos.

## 3.1 ODÓMETRO.

El Odómetro es un equipo que mide la distancia horizontal recorrida por el vehículo, generalmente está conectado al neumático del vehículo.

Todos los vehículos vienen con odómetros incorporados en sus contadores de Kilometraje, pero la precisión de estos varía de acuerdo a la tecnología empleada por sus fabricantes.

En el estudio de parámetros viales, es necesario la veracidad de las medidas, por ejemplo: Al realizar el estudio de rehabilitación de un pavimento, se llegó a determinar que en un tramo (entre las abscisas 9+820 – 9+870) se necesita realizar un bacheo por la excesiva fisuración en él, en un proyecto de varios Kilómetros, es imprescindible la exactitud de las abscisas ya que el operario podría ejecutar mal el trabajo y en consecuencia el problema de incrementaría.

Existen varios tipos de odómetros, el más importante es el odómetro de alta precisión que se instala en el neumático posterior del vehículo en la parte externa, desde donde registra la distancia horizontal que recorre el vehículo (su grado de error es de 1 mm) la Foto No 3.1 muestra un Odómetro de precisión.

**FOTO No. 3.1.- Odómetro de Precisión**


Generalmente los equipos de auscultación tienen integrados odómetros en su estructura (menos los manuales), para poder tener referenciados las medidas obtenidos en ellos.

En el caso de los equipos manuales, es imprescindible realizar primero un levantamiento de abscisado general del proyecto, ya sea este topográfico, a cinta o utilizando equipos automáticos (dependiendo del estudio), para poder referenciar los ensayos medidos.

## 3.2 DEFLECTÓMETRO.

El análisis de las características estructurales del pavimento y el conocimiento de las propiedades resistentes de cada una de las capas en servicio, es la información relevante que proporciona estos equipos de evaluación mediante ensayo de carretera.

La medición de la capacidad de carga en carreteras puede ser llevada a cabo con varios dispositivos.

Entre los más conocidos están:

- Viga benkelman simple,
- Viga benkelman doble,
- Deflectómetro de impacto FWD,
- Curviámetro
- Deflectógrafo tipo Lacroix, entre otros

El tipo de equipo de medida más utilizado internacionalmente es el denominado Deflectómetro de Impacto o FWD (de sus siglas inglesas Falling Weight Deflectometer) que permite determinar no solo la deformación bajo el punto de carga o impacto, sino también en una serie de 9 puntos secuencialmente separados del punto inicial de ensayo a distancias de 21, 30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 milímetros. Con estas medidas se obtiene lo que se denomina "Cuenco de Deflexiones" o línea de influencia deformada. Esta información es mucho más precisa y útil que la obtenida por aparatos adicionales como Viga Benkelman , Deflectógrafos o Curviámetros.

A nivel de red, el Deflectómetro de Impacto es a menudo la herramienta principal para elaborar una base de datos de capacidades de soporte.

A nivel de proyecto, las medidas se efectúan sobre un tramo en concreto, con el fin de conocer el comportamiento estructural de esa sección en particular. Estas medidas pueden usarse para proyectar las actuaciones de refuerzo.

Este equipo mide las deflexiones verticales producidas en superficies pavimentadas y en las no pavimentadas bajo un impacto producido por la caída en gravedad de una masa conocida desde una altura también conocida. Las deflexiones se miden en el eje de carga, bajo la carga y a distancias previamente especificadas a lo largo del eje hasta una distancia máxima de 2,10 metros (9 medidas de deflexión) en la Foto No 3.2 se muestra el equipo de referencia.

**FOTO No. 3.2.- Deflectómetro de Impacto**

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El Deflectómetro esta basado normalmente en un remolque de eje sencillo que puede remolcarse con un vehículo de tamaño medio; sin embargo, hay versiones basadas en furgonetas pequeñas. El remolque es básicamente una plataforma rodante con un sistema de guía que permite dejar caer un peso especificado desde una altura también especificada.

El principio general de funcionamiento del Deflectómetro de impacto se basa en la generación de un impulso de carga sobre el firme. Esto se consigue mediante el impacto provocado por la caída libre de una masa sobre un sistema de amortiguación instalado sobre una placa circular segmentado en cuatro partes de 30cm. de diámetro, que se apoya en la carretera. La masa, el sistema de amortiguación y la altura de la caída pueden regularse para obtener la carga de impacto deseada sobre el firme. La pulsación del impacto aplicado a la carretera tiene la forma de la mitad de un período de onda sinusoidal. Una serie de sensores llamados geófonos miden las deflexiones verticales máximas del firme bajo el centro de la placa de carga y en línea recta radialmente a distintas distancias de este centro. Las deflexiones medidas y el valor máximo de la carga de impacto quedan registrados en un soporte magnético.

La carga aplicada a la superficie de rodadura se encuentra en un intervalo de 20 a 250 KN, esta depende del tipo de pavimento a inspeccionar. La carga más corriente es de 45 KN con una desviación de ± 5 KN, aplicada sobre una placa de 300 mm de diámetro.

Las deflexiones producidas pueden correlacionarse directamente al comportamiento del firme o utilizadas para determinar las características estructurales de las capas del pavimento.

El impulso de carga generado por el Deflectómetro pretende simular el originado por el paso de un vehículo pesado (8.2 Ton) en movimiento, por tanto, ha de tener un intervalo entre el origen y el máximo de carga próximo al de dicho impulso.

El equipo dispone de nueve sensores de medida de deflexiones, suficiente para describir adecuadamente la forma del cuenco de deflexiones, en la Foto No 3.3 se muestran los geófonos.

**FOTO No. 3.3.- Geófonos del FWD**

Adicionalmente el equipo registra la temperatura del aire y del pavimento, el kilometraje, y comentarios que el operador puede introducir mediante el computador que controla la operación.

El equipo consta con una interfase de medición y comunicaciones montado en el vehículo y un sistema de control de ensayo, implementado a través de un programa de computador.

Mediante la automatización del sistema el ciclo de trabajo puede llevarse a cabo hasta un tiempo mínimo de 26 segundos por punto que lo convierte en un equipo de gran rendimiento y especialmente útil para el diseño de pavimento nuevo, auscultación de pavimento existente, rehabilitación de pavimento flexible, etc.

La tecnología nos permite hacer pruebas bajo la modalidad FWD y HWD, para carreteras, calles y aeropistas, con una carga máxima de hasta 250 KN.

Normalmente, el procedimiento de medida es automático, de manera que sólo se necesita una parada corta para cada punto de medida y el conductor-operador no tiene que abandonar el vehículo para realizar la medida. Además del modo automático el equipo se puede operar en forma manual para efecto de verificación de funcionamiento de las partes y calibración.

Cuando se mide con el FWD la capacidad por día es de 50 a 60 Km (valor medio: 54 Km). En la Foto No 3.4 se muestra al equipo ensayando.

**FOTO No. 3.4.- Toma de ensayo de FWD**

Los costos de medida se encuentran entre 200 y 500 UDS/Km, dependiendo en parte del número de puntos en que se hagan las medidas y del sitio a efectuar (distancia al proyecto).

## 3.3 GPS.

Mejor conocido como Sistema de Posicionamiento Global el GPS es un sistema de coordenadas (longitud, latitud y altitud) con el que se referencia los datos obtenidos en diversos ensayos como por ejemplo el de inventario vial y el de Fisuramiento.

El GPS consta de tres partes principales:

- Antena
- Receptor
- Visualizador

En la Foto No 3.5. Se muestran las partes principales del GPS.

**La Antena**.- se coloca en la parte superior del carro, en donde el GPS pueda encontrar señal de transmisión. El GPS puede obtener el registro de hasta 9 satélites, pero funciona si por lo menos captura 3 satélites. Cuando existen condiciones climatológicas que no permiten la captura de los satélites, la información es guardada en el **Receptor**.

**FOTO No. 3.5.- Partes Principales del GPS**


**El Receptor.-** Cada vez que se realiza un registro de GPS, este es grabado en el receptor. Este archivo puede ser corregido a través de los Institutos Operadores de Satélites, en aquellos puntos donde no hubo señal, para esto hay que estar inscritos en los mismos anualmente.

**El Visualizador.-** Es el equipo que nos permite la configuración de cada registro. Cada vez que se va a realizar una captura de datos, el Visualizador nos indica las opciones de tipo de archivo tales como: nombre del archivo, función del archivo, etc. A través del Visualizador, se puede crear un mapa referencial del proyecto en análisis, así mismo se denota aquellos puntos en los que no hubo una recepción de señal, en la Foto No 3.6 se muestra el Visualizador.

**FOTO No. 3.6.- Utilización del Visualizador**

## 3.4 PERFILÓMETRO LONGITUDINAL.

Existen varios equipos para realizar levantamientos de información sobre la regularidad del perfil longitudinal, basados en distintos principios y tecnologías, como por ejemplo:

- Integrador de resaltes (BI)
- Video Láser RST,
- Láser Portable,
- Inclinómetro
- Merlín, entre otros

Los equipos de medida de esta característica han sufrido una considerable evolución con el tiempo, desde los de referencia geométrica (tales como reglas fijas y rodantes) a los actuales perfilómetros láser de alta velocidad, pasando por equipos del tipo respuesta, en la Foto No 3.7 se muestra el equipo Merlín.

**FOTO No. 3.7.- Equipo Merlín**


Como consecuencia, los equipos utilizados en diferentes países para determinar la regularidad son también distintos. Además, a pesar de existir un Índice de Regularidad Internacional (IRI), los indicadores utilizados internacionalmente varían considerablemente, esto es fácil de entenderse comprendiendo, que el avance tecnológico es diferente en algunas regiones.

Durante los últimos años el perfil longitudinal se ha medido recorriendo las diferentes carreteras con una rueda de medida, siendo esta una idea base para el desarrollo de dispositivos. Un intento de normalización de un vehículo de medida se llevo a cabo a través de la inserción de un equipo llamado Integrador de Resaltes o su nombre en Inglés Bump Integrator, equipo que consta de tres partes fundamentales para su funcionamiento:

- Una rueda de coche
- Un muelle, y
- Un amortiguador asociado (modelo de cuarto de coche)

El desplazamiento del neumático con respecto a la rueda se registra como el movimiento vertical y es acumulado por un integrador, el índice de regularidad establecido en el caso de la utilización de este equipo es la sumatoria en valor absoluto de los desplazamientos verticales para determinado intervalo dividido por la longitud de dicho intervalo.

De esta manera se registra el valor de la regularidad longitudinal en m/Km, es decir, metros verticales acumulados por la suspensión del vehículo por un kilómetro viajado.

Al final de la década de los setenta, y con la intervención del programa de investigación Nacional Coordinated Highway Research Program (NCHRP), se establece el método de calibración de este tipo de dispositivos para la obtención de la regularidad, que con parámetros normalizados deja dos variables para el cálculo:

- La velocidad del vehículo, y
- Si la simulación del perfil se genera para una o ambas huellas de las ruedas.

Así, se define el Índice de Regularidad Internacional (IRI) como el desplazamiento acumulado dividido por la distancia recorrida del cuarto de coche normalizado a 80 Km/h. Actualmente este es el método más aceptado a nivel internacional para el cálculo del perfil longitudinal, en la Foto No 3.8 se muestra el equipo Bump Integrator.

**FOTO No. 3.8.- Bump Integrator**

Otro método de medida del perfil longitudinal es el que usa tecnología láser para el levantamiento de información, empleando un dispositivo instalado en el bastidor de un vehículo mediante el que se determina de forma continua entre el chasis y la superficie de la carretera (en algunos casos se usa una pequeña quinta rueda como sensor de contacto).

La distancia medida tiene dos componentes:

1.- Los desplazamientos verticales de la superficie de la carretera respecto a un valor inicial,

2.- Los movimientos verticales propios del vehículo.

Para detectar el segundo componente del movimiento se usa un acelerómetro instalado en el bastidor junto al sistema de medida. Si se resta el desplazamiento del vehículo del movimiento obtenido por el dispositivo de medida (distancia entre el bastidor y el pavimento) la diferencia proporciona los desniveles ó irregularidades de la superficie que definen el perfil longitudinal.

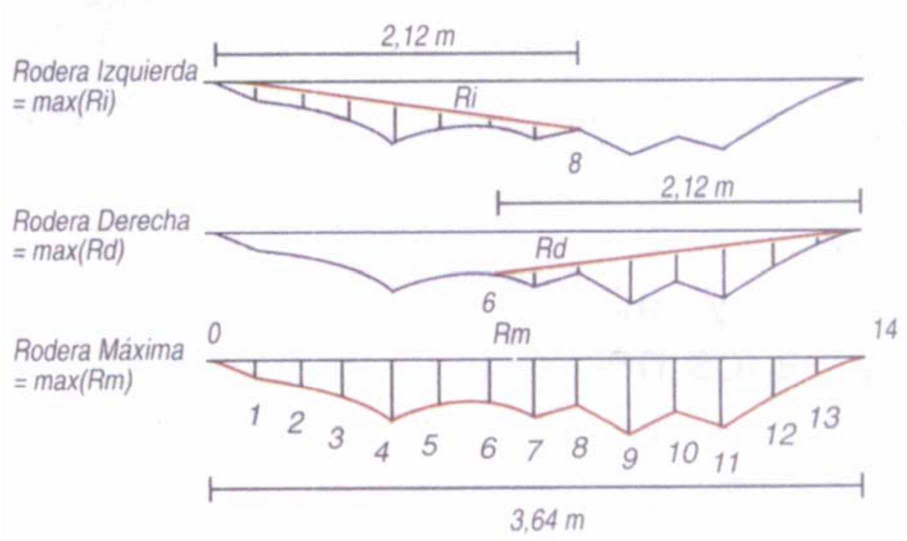
El perfil se mide de forma independiente para cada rodada usando una cámara láser, un acelerómetro y una tarjeta de procesamiento de señales digitales (especialmente diseñada para este tipo dispositivo), además se pueden obtener varios indicadores de la regularidad superficial correspondiente al perfil medido.

Los costos de medida se encuentran entre 60 y 150 UDS/Km, dependiendo de la longitud del proyecto y del sitio a efectuar (distancia al proyecto).

## 3.5 PERFILÓMETRO TRANSVERSAL.

Para la determinación de la Regularidad del Perfil Transversal, existen distintos métodos como el que se usa con el equipo Video Láser RST que comprueba la distancia desde el vehículo a 15 puntos de la superficie de la carretera a una velocidad mínima de 16000 muestras por segundo y que permite la medida de un ancho de vía de 3.65 m. En la Figura 3.1 se muestra el Cálculo de las Roderas.

**FIGURA 3.1.- Cálculo de Roderas**




Un procedimiento matemático de cálculo combina las medidas de cada cámara láser en un valor del perfil medio para cada uno de los 15 puntos de la superficie. A una velocidad máxima de 90 Km/hora, aproximadamente corresponde una medida del perfil medio cada 10 cm de distancia, lo que proporciona un alto nivel de exactitud y reproducibilidad para las medidas del perfil transversal, tales como las roderas. Sin embargo, se deben tener en cuenta varias consideraciones cuando se compara este tipo de medidas con las típicas medidas topográficas estacionarias.

Otra tecnología usada para este propósito esta basada en el funcionamiento de sensores ultrasonido, en el dispositivo llamado Registrador del Perfil Transversal (TPL), este equipo está constituido por una viga en la cual se encuentran ensamblados 30 sensores ultrasonido, dispuestos a una distancia de 10 cm unos de otros, esta dividida en tres secciones (con dos alas de 50 cm plegables a los extremos y un segmento largo de 2 m en el centro) lo que nos permite tener tres opciones de trabajo:

1.- Con las alas extendidas que significa recolectar información en un ancho de vía de 3 metros,

2.- Con las alas retraídas midiendo un ancho de 2 metros, y

3.- Con una de las alas retraídas y la otra extendida, es decir, 2.5 metros de ancho.

En la Foto No 3.9 se muestra el equipo con las alas extendidas.

**FOTO No. 3.9.- TPL con alas retraídas**

El equipo está instalado en la parte frontal del vehículo a una distancia determinada entre 350 mm y 450 mm.

Cuando se realiza el ensayo se dispara una onda sonora hacia el pavimento desde cada uno de los sensores. Las ondas se receptan después de chocar con la superficie, permitiendo obtener las alturas correspondientes desde el pavimento a cada sensor, es decir, altura de distintos puntos en la vía (entre 20 y 30 dependiendo de la configuración de las alas que se use) que luego mediante el procesamiento de datos y una previa calibración del equipo permite la obtención del perfil transversal y las roderas.

Este equipo permite registrar el perfil transversal a distintas velocidades que dependen directamente de la distancia a la que se quiere hacer cada muestra (por ejemplo, cuando se realizan muestras cada 5 m se puede hacer el estudio a 70 Km/h), a este método se le agrega el uso de poderosas herramientas de software que aseguran la exactitud de las medidas (mediante la correcta calibración) y dan varias opciones de visualización que facilitan la interpretación de datos. En la Foto No 3.10 se muestra el equipo ensayando.

Los costos de medida se encuentran entre 60 y 150 UDS/Km, dependiendo de la longitud del proyecto y del sitio a efectuar (distancia al proyecto).

**FOTO No. 3.10.- Ensayo de Perfil Transversal con TPL**

## 3.6 SCANNER DIGITAL.

Se debe tener en cuenta que la fisuración es una de las propiedades de la superficie de la carretera más complicada y difícil de medir usando equipos automáticos.

Todavía hoy en día, la fisuración se mide manualmente por evaluadores entrenados usando sistemas normalizados de evaluación del estado del firme. Esta forma de obtención manual de datos es lenta, costosa y propensa a errores. Está comprobado que la consistencia de las evaluaciones subjetivas es pequeña y los resultados indican una baja correlación entre evaluadores (incluyendo ingenieros de carreteras con mucha experiencia).

Sin embargo, existen alternativas a la obtención manual de datos si se precisa medir el 100 % de la superficie. El Scanner Láser fue desarrollado para la obtención automática de información respecto a la fisuración, pero su funcionamiento es limitado. Sin embargo, el coeficiente de fiabilidad es razonable para tramos de carreteras de más de 100 metros de longitud y además se eliminan los problemas de cansancio y seguridad de los evaluadores.

La limitación de funcionamiento respecto a la fisuración no es una limitación del diseño sino el reflejo del estado de la tecnología actual. Las fisuras son características locales difíciles de manejar con un tratamiento estadístico, pero sus dimensiones son lo suficientemente pequeñas para lograr una medida exacta sin recurrir a un proceso de análisis muy complejo. El sistema se basa en el reconocimiento de imágenes de alta resolución de la superficie a través de un Scanner Láser. En la Foto No. 3.11 se muestra el equipo Scanner Láser.

**FOTO No. 3.11.- Equipo Scanner Láser**

El Scanner Láser mide las fisuras del pavimento en 4 tipos de categoría:

1.- Piel de Cocodrilo

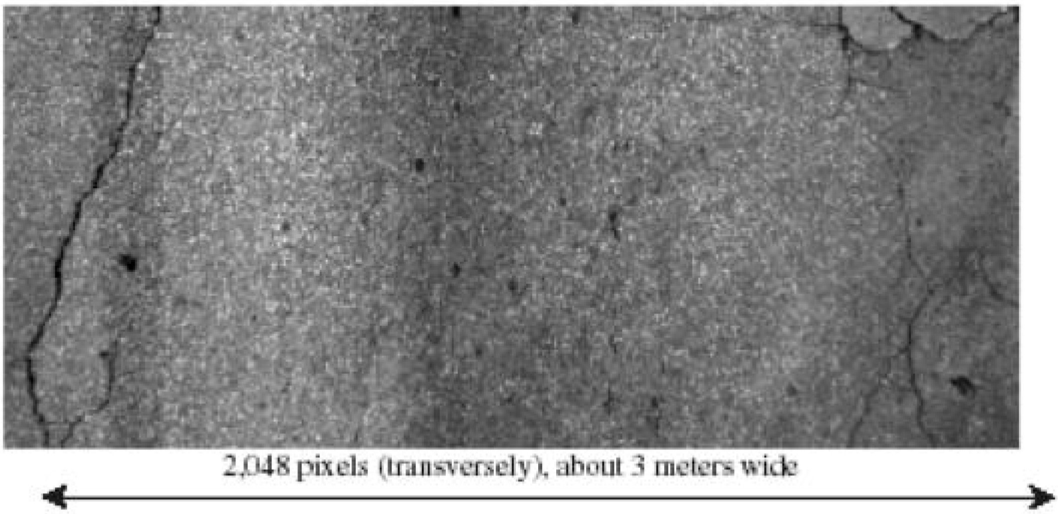
2.- Falla en Bloque

3.- Fisuramiento Transversal, y

4.- Fisuramiento Longitudinal.

Estos tipos de fallas se explicarán en extensión en el Capítulo 4.

**FIGURA 3.2.- Imagen JPG, tomada con una cámara digital de escaneo**




El sistema consta de tres partes fundamentales:

1.- Instrumentos de Colecta de Datos,

2.- Software para Colecta de Datos, y

3.- Software de Análisis de Datos.

A manera de equipos se hablará solo del punto 1, los puntos 2 y 3 se explicarán en la sección 3.10.

**Instrumentos de Colecta de Datos.-** El sistema consiste en un módulo de captura de imagen, odómetro de precisión, DGPS y computadora. El módulo de captura de imagen utiliza una cámara scanner digital mega-pixel de alta resolución y de alta velocidad. Este módulo es capaz de capturar imágenes de 1370 x 1024 pixels a una velocidad máxima del vehículo de 65 MPH.

El sistema puede definir con razonable fiabilidad una fisura de 3 mm de ancho a una velocidad de 90 Km/h. A menor velocidad la resolución de la medida mejora en proporción con la reducción de aquella. Para la medida de las fisuras, debido a la necesidad de un muestreo de alta resolución, es necesario el uso de una cámara láser de 32 kHz o superior.

Se detecta una fisura por un incremento repentino de la profundidad. El ancho de la fisura se evalúa midiendo el tiempo que tarda en recuperarse la profundidad normal (la discontinuidad se invierte), mientras que la profundidad es la media de la distancia medida mientras el rayo láser está en la fisura.

Los valores de fisuración indican la severidad de la fisuración existente y el tamaño de las fisuras más significativas. Las fisuras se clasifican en varias categorías, dependiendo de la profundidad, el ancho y la macrotextura de la carretera.

Debido al principio de funcionamiento del scanner, una superficie de elevada macrotextura (como las mezclas porosas o los pavimentos de hormigón) puede interpretarse como completamente cubierta de fisuras.

Las principales medidas son histogramas de los anchos y profundidades de las fisuras. Por ejemplo, un histograma del ancho de las fisuras en cuatro categorías indica el número de fisuras dentro de cada categoría, conjuntamente con un histograma de categorías de profundidades.

Actualmente, se están desarrollando nuevas técnicas para la medida de fisuras mediante combinación de los sistemas de medida que utilizan cámaras láser y un sistema de registro en vídeo de alta definición y procesamiento digital de imágenes para contar y clasificar las fisuras.

Los costos de medida se encuentran entre 200 y 400 UDS/Km, dependiendo de la longitud del proyecto y del sitio a efectuar (distancia al proyecto).

## 3.7 LASER.

El sistema de Perfilómetro Láser consiste en sensores alojados en un sistema de montaje ubicado en la parte posterior del vehículo. El Perfilómetro Láser consiste de un láser, un acelerómetro y sus procesadores.

La unidad de láser detecta la distancia desde un nivel de referencia en el instrumento a un blanco usando geometría del haz de láser reflejado. El haz de láser se refleja a través de un sistema de lentes ópticos en una placa lineal sensible. La posición del haz de láser reflejado a lo largo de la placa se mide y se procesa por el sistema. La naturaleza no lineal de la respuesta de esta placa y cualquier alteración óptica se corrigen usando una tabla de calibración detallada dentro del procesador del láser. Las lecturas de elevación del láser se calculan a 16kHz.

La referencia inercial es proporcionada por un acelerómetro. Un acelerómetro es un sensor que mide la aceleración. Los algoritmos de procesamiento de datos convierten la medida de aceleración a una referencia inercial que define la altura instantánea del acelerómetro en el vehículo alojador.

La aceleración vertical del Perfilómetro es medida por un acelerómetro de alta precisión montado en el mismo plano vertical que el láser. Hay un procesador dedicado, para medir las señales de aceleración vertical. La adquisición de datos de aceleración es a 16kHz.

El láser y el acelerómetro están contenidos en un alojador IP65. Las especificaciones generales son:

• Para regularidad longitudinal el láser se utiliza a 16kHz

• El láser está diseñado específicamente para aplicaciones de medida de la carretera.

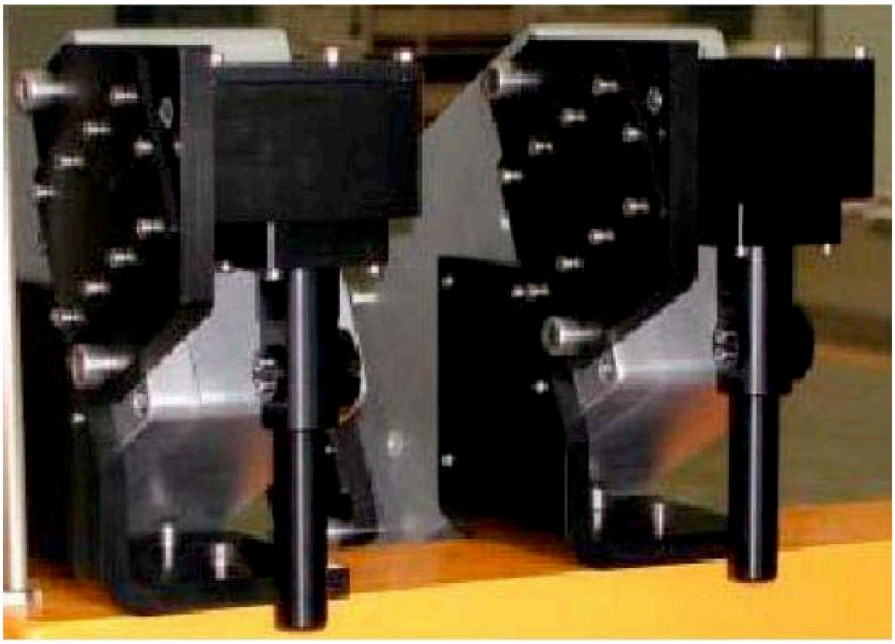
• El rango dinámico del láser es +/- 128mm sobre o bajo el nivel óptimo. Esto es importante tomarlo en cuenta para prevenir que datos salgan del rango debido a movimiento excesivo de la suspensión.

• Los datos se convierten directamente a datos digitales dentro del láser y permanecen digitales a través de las etapas de procesamiento, así se eliminan problemas de ruido debido al paso de los datos análogos a lo largo del cable.

• La salida de datos es vía red Ethernet para una conexión fácil de varios lásers. • Las características de seguridad del Láser incluyen – una llave de paso para aislar el haz de láser, llave de activación del láser, corte de haz de láser a velocidad baja.

En la Foto No. 3.12 se muestra el equipo Perfilómetro Láser.

**FOTO No. 3.12.- Equipo Perfilómetro Láser**



## 3.8 FRICCIÓMETRO.

Los equipos y los principios de medida del coeficiente de rozamiento han sido muchos y muy variados. Esto conduce en ocasiones a situaciones poco prácticas. Por ejemplo, los proyectistas de carreteras emplean para determinar la distancia de parada valores del "coeficiente de rozamiento longitudinal" que no tienen una correspondencia coherente con los criterios empleados; en la construcción y en la conservación.

Por esta razón se realizó el Experimento Internacional de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento, del cual se distinguen cuatro tipos de equipos:

1.- Equipos de rueda oblicua,

2.- Equipos de rueda parcialmente bloqueada con grado de bloqueo fijo,

3.- Equipos de rueda parcialmente bloqueada con grado de bloqueo variable, y

4.- Equipos de rueda bloqueada.

Los equipos de medida que realizan la comprobación del coeficiente de razonamiento siempre realizan los ensayos sobre la superficie mojada (se vierte agua de forma controlada) y a una velocidad constante par poder comparar la variación  del rozamiento a lo largo de la carretera. En la Foto No. 3.13 se muestra un ejemplo de la captura del Coeficiente de Fricción.

**FOTO No. 3.13.- Captura de Coeficiente de Fricción**

Asimismo y de forma clara el experimento estableció que la fricción y la textura están íntimamente relacionadas y que solo se puede garantizar un comportamiento adecuado haciendo que el pavimento tenga una adecuada combinación de ambas características.

El experimento definió un "índice Internacional de Fricción (International Friction Index "IFI"), indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por una coma. El primero representa la fricción y el segundo la macrotextura. El primero es un número adimensional y el segundo un número positivo sin límites determinados y unidades de velocidad (Km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno indica adherencia. (No es posible describir con una relación sencilla como la anterior la segunda componente del Índice).

El Índice de Fricción Internacional es una escala de referencia basada en un modelo que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento y que sirve para estimar la constante de referencia de velocidad (Sp) y la de fricción a 60 Km/h (F60) de un pavimento. El par de valores (F60 y Sp) expresan el IFI de un pavimento.

El equipo más conocido y de uso más frecuente es el equipo denominado Grip Tester que permite determinar un Coeficiente de Rozamiento Transversal, CRT, que debe superar determinados valores para que el pavimento ofrezca un adherencia adecuada.

Este equipo fue desarrollado en el Laboratorio de Investigación de Transporte TRL del REINO UNIDO en 1960. Originalmente fue diseñado para verificar superficies de Carretera, pero se le ha dado otros usos y siguen surgiendo nuevas aplicaciones.

El aparato mide la resistencia a la fricción entre un deslizador de caucho (montado al final del brazo del péndulo) y la superficie de prueba, bajo condiciones de saturación. En la Foto No. 3.14 se muestra el equipo Grip Tester.

**FOTO No. 3.14.- Equipo Grip Tester**

Las aplicaciones de este equipo incluyen los siguientes aspectos:

- Comprobación de la superficie existente de la carretera.
- Verificación de nuevos materiales en desarrollo para la superficie de la carretera.
- Verificación de agregados en la prueba PSV Polished Stone Value (Valor de Piedra Pulida).
- Verificación de pisos y veredas.
- Desarrollo de productos para materiales de pisos.
- Investigaciones de accidentes, tráfico y peatones.
- Investigación de litigación.
- Verificación de pavimentadoras, en la Pulidora de Cama Llana.

Tradicionalmente se ha venido caracterizando el pavimento por el valor de un coeficiente de rozamiento, determinado mediante equipos y ensayos más o menos modernos y mejor o peor adaptados a las condiciones actuales de la circulación y de los pavimentos.

Conviene indicar que la práctica de la auscultación para determinar el coeficiente de rozamiento está evolucionando hacia nuevos equipos mas versátiles (ya que permiten realizar los ensayos a diferentes y mas elevadas velocidades, fijar correctamente la alineación de ensayo, etc.) y más económicos que los SCRIM. A la vez se tiende a dotar a los equipos de un sistema complementario de medida de la textura para poder obtener el lFI con un único ensayo.

Los costos de medida se encuentran entre 100 y 200 UDS/Km, dependiendo de la longitud del proyecto y del sitio a efectuar (distancia al proyecto).

## 3.9 CÁMARA DE VIDEO.

El equipo de Vídeo constituye una gran ayuda en la realización del inventario ya que su sistema de captación de imágenes y de medida de la distancia permite grabar las imágenes debidamente identificadas para su posterior edición e incorporación a la base de datos del inventario. En la Foto No. 3.15 se muestra el Equipo de Video.

El Vídeo dispone de un sistema de aplicación en la realización de inventarios, que consiste en una cámara frontal que filma la perspectiva de la carretera e inserta los datos de identificación de la misma que configura el usuario tales como:

- Identificación de la Carretera
- Fecha del inventario
- Punto Referencial como pueblos, puentes, etc.
- distancia al Punto Referencial de la carretera, entre otros.

**FOTO No. 3.15.- Cámara de Video**

El sistema recoge además la información a un grabador donde se registran las imágenes y datos alfanuméricos.

La pantalla muestra las imágenes de vídeo y los datos alfanuméricos de la auscultación.

Los valores de los parámetros se presentan en pantalla durante todo el recorrido.

Los costos de medida se encuentran entre 100 y 300 UDS/Km, dependiendo de la longitud del proyecto, del tipo de inventario a realizar y del sitio a efectuar (distancia al proyecto).

## 3.10 ACCESORIOS.

A continuación se describen algunos equipos que ayudan con la recopilación de información de distintos ensayos.

Sensores: Estas herramientas permiten la captación y registro de ondas producidas durante la ejecución de los ensayos.

Interfase: Este instrumento es el que integra a los dispositivos físicos para que trabajen conjuntamente con el sistema de colecta de datos. En la Foto No. 3.16 se muestra un ejemplo de Interfase.

**FOTO No. 3.16.- Interfases**

Distanciómetros: Los Distanciometros tratan la medida de espacios; para esto se utiliza un sistema práctico y muy completo de medidas, usando un láser, este tipo de tecnología tiene varias opciones. El LaserAce es un láser portátil, que proporciona una única capacidad de "topografía personal". Le permite al agrimensor profesional, ingeniero u hombre común que midan rango, altura, subidas, distancias perdidas y cálculos del perímetro con absoluta simplicidad.

Tiene muchas utilidades dentro del campo de la agrimensura, no solo usando la capacidad física del láser, sino también con ayuda de cálculos manuales, con los que se pueden logras medidas de largo. ancho y profundidad comprobatorias. En la Foto No. 3.17 se muestra un ejemplo de Distanciómetro.

**FOTO No. 3.17.- Equipo LaserAce Survevor**

Puede medir la distancia horizontal y el ángulo de desplazamiento. Tiene un alcance de un kilómetro aproximadamente.

Contadores: El conocimiento detallado de los volúmenes de tráfico y su composición en una red, proyecto vial o instalaciones fijas; operación y recaudo de peajes, aparcamientos, etc.; demanda la utilización combinada de métodos manuales y automáticos de aforo.

Estos sistemas, complementados por otros de pesos y medidas, del tipo estático o dinámico, permiten realizar bajo diferentes metodologías, la obtención y procesamiento de este tipo de información.

Teclados: Sustentado en metodologías internacionalmente aceptadas para la clasificación y/o registro de eventos, aporta además la adopción de una terminología común. Tienen opciones de clasificación dependiendo del tipo de pavimentos.

Se apoyan en el sistema de levantamiento por teclado (Keyboard Rating), el cual se puede instalar a bordo de un vehículo, consiguiendo un registro exacto de su posición en la calzada y la fecha del monitoreo.

Además, mediante la utilización del sistema EMS / MicroPAVER 4.2 es posible el procesamiento de la información, la obtención del Pavement Condition Index (PCI), la corrida de modelos de predicción de deterioro y su visualización con la interfase de Geographic Informatión System. En la Foto No. 3.18 se muestra un ejemplo de Teclado.

**FOTO No. 3.18.- Keyboard Ratting**

Este teclado consta de 58 teclas, las mismas que pueden ser asignadas para cumplir funciones diferentes dentro de un estudio, como: registrar eventos, conteos de tráfico, señalización, deterioros, etc.

Ordenadores Y Convertidores: Los ordenadores son equipos mediante los cuales se opera los distintos ensayos de captura de datos. En estos se recepta y guarda la información recopilada en los ensayos. Normalmente los vehículos de Auscultación poseen más de un ordenador en el conjunto de equipos para distintos tipos de ensayos. Los convertidores son equipos que se encargan de digitalizar las imágenes capturadas en los videos los cuales tienen en su interior una tarjeta de captura de vídeo, que hace posible digitalizarlo en formato AVI. En la Foto No. 3.19 se muestra la configuración de Ordenadores y Convertidores instalados en un equipo de Auscultación.

**FOTO No. 3.19.- Configuración de Ordenadores y Convertidores**

## 3.11 PROGRAMAS DE CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

Los equipos de Auscultación Vial Automáticos son gerenciados bajo programas de captura de datos, sin estos los equipos no tendrían la capacidad de ser ejecutados.

Entre los principales programas de captura de datos tenemos los siguientes:

- Programa ROSY (captura de Deflexiones)
- Programa ROMDAS (Captura de Regularidad Superficial , Inventario Vial y Video)
- Programa UNISURVEY (Captura de Fisuras)

**PROGRAMA ROSY CAPTURE.**

El programa ROSY se utiliza en la captura de datos de las deflexiones. Inicia con la ingreso de los parámetros primordiales de toda auscultación que es la identificación del proyecto, el mismo que se indican en los siguientes pasos:

1.- Se crea un archivo con el nombre del proyecto a realizar

2.- Al abrir este determinado archivo se deberá llenar la información pertinente:

- Nombre de la carretera
- Distrito de la carretera
- Nombre del cliente
- Código del cliente
- Abscisa inicial
- Fecha del ensayo.

3.- Luego se deberá colocar las características del ensayo como:

- Abscisa en donde empieza el ensayo
- Forma de avance de la abscisas (progresiva o regresiva)
- Tipo de Pavimento (Asfalto, Doble riego bituminoso, hormigón, etc.)
- Carril de Ensayo este se deberá guiar en dos cualidades Izquierdo ó Derecho y dependiendo del tipo de tráfico Pesado o Liviano (este último cuando exista más de 1 carril por calzada)
- Altura de Caída (Generalmente varía entre 110 y 130 mm)

- Golpes de Ensayo (Generalmente 2, de los cuales se guarda el último)

- Avance al próximo ensayo, se encuentra normalizado que los ensayos de deflexión se deberán realizar cada 50 m en tres bolillos es decir que entre el primer y el segundo ensayo de un mismo carril deberá haber 100 m.

- El programa le da una opción de gravar el archivo histórico de los ensayos, este archivo es importante en especial cuando se suscitan problemas de perdida de información.

- También posee la opción de encender las luces del trailer, esta opción es necesaria en la noche o cuando hay se origina neblina.

- Algunos equipos pueden realizar marcas en el pavimento cuando se realizan los ensayos, esta opción se habilitará en los correspondientes.

4.- Una vez concluido lo anterior se comienza con el ensayo.

5.- El ensayo normalizado realizará tres golpes con las pesas el primero para estabilizar la regla que contiene los geófonos que captan la señal y los otros dos que generan una respuesta del pavimento. De estos últimos realiza un estudio estadístico interno de la desviación de los resultados. Si la desviación entre los geófonos 1 al 5 excede el 5 % y/o entre los geófonos 6 al 9 excede el 10 %, el programa le indicará que está mal realizado el ensayo.

6.- De igual manera la deflexión deberá estar en orden decreciente caso contrario el programa rechazará el ensayo.

7.- Si el ensayo estuvo bien realizado le dará la opción de guarda y continuar al otro, en caso contrario tendrá la opción de repetir el ensayo o de continuar al siguiente sin grabar el actual

8.- Al terminar el ensayo el programa le pedirá la Temperatura del Pavimento, para lo cual el equipo consta con un termómetro automático el cual se coloca en el pavimento y registra el valor de la temperatura. El rango de temperatura aceptable es de 5 a 38 ºC.

9.- La secuencia continua hasta cuando guarda el último ensayo y finaliza el estudio.

**PROGRAMA ROSY DESIGN.**

El programa ROSY Design se utiliza para el procesamiento de los datos de deflexión.

Los parámetros que pueden ser obtenidos en este programa son:

- Modulo Elástico de la capas del pavimento
- Vida Remanente
- Refuerzo
- Capa Crítica de la estructura del Pavimento

Los datos que se necesitan ingresar para el procesamiento de los parámetros anteriores son:

- Tiempo para el cual se va a realizar el estudio en años
- Espesores de las capas
- Determinación de tipo de capas (Rodadura, Base, Súbase, etc.)
- # de Ejes Equivalentes de Tráfico
- # de vehículos que transitan diario (TPDA)
- Ancho de Calzada
- Fecha de construcción

Una vez ingresado estos datos el programa se corre con el archivo obtenido en el campo.

**PROGRAMA ROMDAS.**

El programa ROMDAS es aplicable tanto para captura como para procesamiento de datos.

**<u>CAPTURA DE DATOS CON EL PROGRAMA ROMDAS</u>**

El sistema ROMDAS (ROAD MEASUREMENT DATA ACQUISITION SYSTEM) se utiliza para la captura de varios ensayos como son:

- Perfil Longitudinal
- Perfil Transversal
- Video Digital

En la Figura 3.3 se muestra el Programa ROMDAS.

**FIGURA 3.3.- Programa ROMDAS**


Los pasos de la captura son los siguientes:

1.- Se crea un archivo con el nombre del proyecto a realizar

2.- Al abrir este determinado archivo se deberá llenar la información pertinente:

- Nombre de la carretera
- Kilometraje inicial
- Avance de las abscisas (incremento o decremento)
- Fecha del ensayo

3.- El programa le dará la opción de insertar puntos referenciales, si la respuesta es YES, podrá insertar puntos tales como puentes, inicio y fin de pueblos a lo largo de la captura.

4.- Dentro de la misma captura existe la opción de utilizar el GPS, es recomendable utilizar para que los datos capturas estén georeferenciados.

5.- Si se desea realizar los tres ensayos a la vez (longitudinal, transversal y video digital), será necesario activar las casilla de TPL y Ventana reducida. Esto es muy recomendable para evitar realizar dos pasadas con el vehículo en un mismo proyecto.

6.- Al terminar el proyecto tendrá la opción de guardar o abandonar el estudio realizado.

En la Figura 3.4 se muestra una toma del programa ROMDAS.

**FIGURA 3.4.- Toma de Captura de Datos con el Programa ROMDAS**

Las normas indican que se deben realizar dos pasadas por cada carril al realizar los ensayos de Perfil Transversal y Longitudinal. El promedio de las dos pasadas se especifica como el resultado de los ensayos.

## PROGRAMA UNISURVEY

Es un sistema de colecta de datos de condición de la carretera e inventarios viales. Es un programa de adquisición de imágenes digitales en tiempo real y de coordinación de hardware, que permite tomar varias imágenes de la carretera y datos de localización en intervalos periódicos de distancias. Su tecnología permite controlar los dispositivos de hardware como son: Odómetro de precisión, cámara digital y GPS Diferencial. El software ordena a la cámara scanner tomar imágenes sucesivas del pavimento a distancias predefinidas y guardarlas como archivos de imagen, junto con la información del GPS dentro de una base de datos. Los pasos de la captura son los siguientes:

1.- Se crea una base de datos con el nombre del proyecto a realizar

2.- Se selecciona la base de datos creada para realizar la captura en dicha base.

3.- Al iniciar una captura se debe comprobar si la luz de la imagen es la correcta esta variará dependiendo de la luz solar. Se debe revisar como mínimo cada hora la luz de la imagen.

4.- Una vez seleccionada la base se deberán ir creando los segmentos de imagen. Cada vez que cambie la luz de la imagen se deberá crear un nuevo segmento.

5.- Una vez creado el segmento se podrá iniciar la captura. Esta estará referenciada tanto por el odómetro como por el GPS.

6.- Al establecer un nuevo segmento se deberá cambiar los datos de abscisa, correspondientes al nuevo punto.

7.- Se podrán crear los segmentos suficientes hasta terminar un proyecto determinado.