



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS DE GRADO
Previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

MARIA FERNANDA BRAVO CASTRO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2008

DEDICATORIA

A mi esposo, que con su ejemplo forjo en mi el anhelo de superación.

AGRADECIMIENTO

A la compañía INEXTEC CIA. LTDA., por haberme brindado las facilidades que me permitieron llevar adelante este proyecto, en especial al Ing. Sergio Páez Moreno, por haber compartido sus conocimientos, y ser mi guía.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

María Fernanda Bravo Castro

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

**Ing. Edison Navarrete C.
SUB-DECANO FICT**

**Ing. Eduardo Carrión E.
DIRECTOR DE TESIS**

**Ing. Eduardo Santos B.
VOCAL**

**Ing. Carmen Terreros
VOCAL**

RESUMEN

La infraestructura de carreteras, siendo como es un bien comunitario, ha demostrado a lo largo de los años que constituye una poderosa herramienta para mejorar la calidad de vida. Sin embargo, la sostenibilidad de esta mejora exige procesos integrados, participativos y globales que aseguren la consecución de los objetivos. Por esta razón nuestro interés es auscultar mediante modernas técnicas, el estado del pavimento de las carreteras, calles, aeropuertos, etc., para determinar su estado actual y poder ejecutar intervenciones oportunas.

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 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.

Tanto para los países desarrollados como para los países en vías de desarrollo es importante ir de la mano y responsabilizarse conjuntamente de los objetivos compartidos de desarrollo sostenible y erradicación de la pobreza.

Las carreteras han desempeñado siempre un papel primordial en el desarrollo, creando un potencial económico que favorece los cambios en el tejido social, es evidente que las carreteras son necesarias para hacer llegar los servicios sociales y esencialmente para el transporte de mercancías que enriquecen nuestro país.

No podemos dejar de actuar, para ello el mantenimiento vial es un hecho primordial que se debe implementar y ejecutar para así evitar perjuicios tanto al usuario como al estado.

Por todo esto, este trabajo recoge una investigación aplicada con equipos de última generación en evaluación de pavimentos tanto estructural como funcional, en un periodo corto de tiempo y con resultados óptimos para el mejoramiento del caso de estudio.

INDICE GENERAL

	RESUMEN.	I
	ÍNDICE GENERAL.	II
	ABREVIATURA.	V
	SIMBOLOGÍA.	V
	ÍNDICE DE FIGURAS.	VI
	ÍNDICE DE TABLAS.	VII
	ÍNDICE DE FOTOS.	VIII
1.	<u>PLANIFICACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN</u>	<u>1</u>
	1.1 ANTECEDENTES.	1
	1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	2
	1.3 MARCO CONCEPTUAL.	3
	1.3.1 PAVIMENTO.	3
	1.3.2 AUSCULTACIÓN VIAL.	7
	1.3.3 INVENTARIO VIAL.	7
	1.3.4 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.	9
	1.3.5 EVALUACIÓN FUNCIONAL.	10
	1.3.6 NIVELES DE SERVICIO.	11
	1.3.7 DISEÑO DE PAVIMENTO.	13
	1.3.8 ADMINISTRCIÓN VIAL.	14
	1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CASO DE ESTUDIO.	16
2.	<u>TIPOLOGÍA DE ENSAYOS</u>	<u>17</u>
	2.1 DEFLECTOMETRÍA.	17
	2.2 REGULARIDAD SUPERFICIAL.	21
	2.2.1 PERFIL LONGITUDINAL.	22
	2.2.2 PERFIL TRANSVERSAL.	23
	2.2.3 TEXTURA.	26
	2.3 FISURAMIENTO.	27
	2.4 INSPECCIÓN VISUAL.	29
	2.5 HIDRODESLIZAMIENTO.	29
	2.6 REGISTRO DE VIDEO.	32
3.	<u>CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y PROGRAMAS</u>	<u>33</u>

3.1	ODOMETRO.	34
3.2	DEFLECTOMETRO.	35
3.3	GPS.	38
3.4	PERFILOMETRO LONGITUDINAL.	40
3.5	SURCO DE HUELLA.	42
3.6	SCANNER DIGITAL.	45
3.7	LASER.	48
3.8	FRICCIÓNMETRO.	49
3.9	CÁMARA DE VIDEO.	52
3.10	ACCESORIOS.	53
3.11	PROGRAMAS DE CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE DATOS.	55
4.	<u>CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y PROGRAMAS</u>	<u>62</u>
4.1	INSPECCIÓN VISUAL.	62
4.1.1	SISTEMA PAVER.	62
4.1.2	IDENTIFICACIÓN DE FALLAS.	66
4.1.3	CALCULO DEL PCI.	97
4.2	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.	100
4.2.1	DEFLECTOGRAMA CARACTERISTICO.	105
4.2.2	METODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS.	109
4.2.3	PROGRAMA ROMDAS.	112
4.2.4	PROGRAMA UNIANALYSE.	112
5.	<u>DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO. CARRETERA CUMBE – OÑA, TRAMO I, DE LONGITUD 20.1 KM</u>	<u>116</u>
5.1	INFORMACIÓN PRELIMINAR.	116
5.2	INVESTIGACIÓN APLICADA.	116
5.2.1	ENSAYOS ESTRUCTURALES.	117
5.2.2	ENSAYOS FUNCIONALES.	122
5.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	128
5.3.1	CONDICIÓN ACTUAL.	128
5.3.2	CONDICIÓN FUTURA.	129
5.3.3	RECOMENDACIONES.	129
6.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES</u>	<u>130</u>
6.1	ASPECTOS BÁSICOS.	130
6.2	OBSERVACIONES.	132
6.3	ACTIVIDADES RECOMENDABLES.	134

7. BIBLIOGRAFÍA 135

ANEXOS:

- I. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, REPORTE DEFLECTOMETRÍA, MODULOS ELÁSTICOS Y DISEÑO AASHTO.
- II. REPORTE ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL.
- III. REPORTE SURCO DE HUELLA
- IV. REPORTE DE HIDRODESLIZAMIENTO.
- V. REPORTE DE ÍNDICE UNIFICADO DE FISURAS.
- VI. CATALOGO DE BACHES Y PARCHES.
- VII. FOTOGRAFÍAS.
- VIII. VIDEOS.

ABREVIATURA

FWD:	DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (Falling Weight Deflectometer)
IRI:	ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL
TPL:	SURCO DE HUELLA (Transverse Profile Logger)
PCI:	INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
SRV:	RESISTENCIA AL HIDRODESLIZAMIENTO (Value Skid Resistance)
UCI:	ÍNDICE UNIFICADO DE FISURACIÓN (Unified Crack Index)
GPS:	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL
TPDA:	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL
IMD:	INTENSIDAD MEDIA DIARIA
DV:	VALORES DE DEDUCCIÓN
VDT:	VALOR DE DEDUCCIÓN TOTAL
CDV:	VALOR DE DEDUCCIÓN CORREGIDO
PSI:	ÍNDICE DE SERVICIALIDAD PERMITIDA

SIMBOLOGÍA

D(n):	Deflexión en geófono n
Air:	Temperatura del Aire
Sur:	Temperatura de la superficie
Man:	Temperatura manual
H(n):	Espesor de la capa n
E (n):	Módulo Elástico de la capa n
m:	Media
SN:	Número estructural
s:	Desviación Típica muestral
Zx:	Diferencia acumulada
ai:	Area de Intervalo
Σai :	Area Acumulativa
Δxi :	Distancia Intervalo
$\Sigma \Delta xi$:	Distancia Acumulativa

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1	Sección Típica de un Pavimento Flexible	5
FIGURA 1.2	Sección Típica de un Pavimento Rígido	6
FIGURA 2.1	Gráfico de Captura de datos entres bolillo	21
FIGURA 2.2	Representación del Perfil Transversal	24
FIGURA 2.3	Gráfico de Roderas	25
FIGURA 3.1	Cálculo de Roderas	43
FIGURA 3.2	Imagen JPG tomada con una cámara digital de escaneo	46
FIGURA 3.2	Programa ROMDAS	59
FIGURA 3.3	Toma de Captura de Datos con el programas ROMDAS	60
FIGURA 3.2	Programa ROMDAS	59
FIGURA 4.1	Muestra de Inspección de Fallas	97
FIGURA 4.2	Forma de determinar el Valor de Deducción	98
FIGURA 4.3	Forma de determinar el Valor de Deducción Corregido	98
FIGURA 4.4	Distribución de Presiones en la Estructura de un pavimento	101
FIGURA 4.5	Transmisión de la presión de un neumático en una capa saturada	101
FIGURA 4.6	Diagrama de Flujo de la Metodología de Retrocálculo	103
FIGURA 4.7	Imagen de la Superficie del pavimento divida en cuadrículas	113
FIGURA 4.8	Procesamiento de Imagen del pavimento en programa UCI	114
FIGURA 5.1	Distribución de carriles	118

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	Porcentaje de Hectómetros Vs. IRI Especificado	23
TABLA 2.2	Calificación del IRI	23
TABLA 2.3	Calificación de Roderas	25
TABLA 2.4	Clasificación de las Características Superficiales	27
TABLA 4.1	Niveles de Severidad de Baches	86
TABLA 4.2	Calificación del PCI	99
TABLA 4.3	Correspondencia entre valores de tráfico y deflexiones	105
TABLA 4.4	Comparación y contraste de la inspección visual, el tipo de sección estructural y las medidas de la deflexión	107
TABLA 5.1	Características geométricas de la Carretera Cumbe-Oña	116
TABLA 5.2	Deflexiones Máximas	119
TABLA 5.3	Módulos Elásticos carril derecho (MPa)	119
TABLA 5.4	Módulos Elásticos carril izquierdo (MPa)	120
TABLA 5.4	Módulos Elásticos carril izquierdo (MPa)	120
TABLA 5.5	Espesores	121
TABLA 5.6	Índice de Regularidad Internacional IRI (m/Km)	123
TABLA 5.7	Surco de Huella	125
TABLA 5.8	Resistencia al Hidrodeslizamiento SRV	126
TABLA 5.9	Índice Unificado de Fisuración (UCI)	127

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO No. 2.1	Fisura de Bajo Nivel	28
FOTO No. 3.1	Odómetro de Precisión	34
FOTO No. 3.2	Deflectómetro de Impacto	36
FOTO No. 3.3	Geófonos del FWD	37
FOTO No. 3.4	Toma de ensayo de FWD	38
FOTO No. 3.5	Partes principales del GPS	39
FOTO No. 3.6	Utilización del Visualizador	39
FOTO No. 3.7	Equipo Merlin	40
FOTO No. 3.8	Bump Integrator	41
FOTO No. 3.9	TPL con alas retraídas	44
FOTO No. 3.10	Ensayo de Perfil Transversal con TPL	45
FOTO No. 3.11	Equipo Scanner Láser	46
FOTO No. 3.12	Equipo Perfilómetro Laser	48
FOTO No. 3.13	Captura de Coeficiente de Fricción	50
FOTO No. 3.14	Equipo Grip Tester	51
FOTO No. 3.15	Cámara de Video	52
FOTO No. 3.16	Interfases	53
FOTO No. 3.17	Equipo Lacease Survevor	54
FOTO No. 3.18	Keyboard Rattng	55
FOTO No. 3.19	Configuración de Ordenadores y Convertidores	55
FOTO No. 4.1	Falla Piel de Cocodrilo – Severidad Baja	67
FOTO No. 4.2	Falla Piel de Cocodrilo – Severidad Media	67
FOTO No. 4.3	Falla Piel de Cocodrilo – Severidad Alta	68
FOTO No. 4.4	Falla Exudación – Severidad Baja	69
FOTO No. 4.5	Falla Exudación – Severidad Media	69
FOTO No. 4.6	Falla Exudación – Severidad Alta	69
FOTO No. 4.7	Falla Fisuramiento en Bloque – Severidad Baja	71
FOTO No. 4.8	Falla Fisuramiento en Bloque – Severidad Media	71
FOTO No. 4.9	Falla Fisuramiento en Bloque – Severidad Alta	71
FOTO No. 4.10	Falla Desnivel Localizado – Severidad Baja	73
FOTO No. 4.11	Falla Desnivel Localizado – Severidad Media	73
FOTO No. 4.12	Falla Desnivel Localizado – Severidad Alta	73
FOTO No. 4.13	Falla Corrugación – Severidad Baja	74
FOTO No. 4.14	Falla Corrugación – Severidad Media	74
FOTO No. 4.15	Falla Corrugación – Severidad Alta	74
FOTO No. 4.16	Falla Depresión – Severidad Baja	76
FOTO No. 4.17	Falla Depresión – Severidad Media	76
FOTO No. 4.18	Falla Depresión – Severidad Alta	76
FOTO No. 4.19	Falla Fisuramiento de Borde – Severidad Baja	77

FOTO No. 4.20	Falla Fisuramiento de Borde – Severidad Media	77
FOTO No. 4.21	Falla Fisuramiento de Borde – Severidad Alta	78
FOTO No. 4.22	Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Baja	79
FOTO No. 4.23	Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Media	79
FOTO No. 4.24	Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Alta	80
FOTO No. 4.25	Falla Desnivel Carril/Espaldón – Severidad Baja	81
FOTO No. 4.26	Falla Desnivel Carril/Espaldón – Severidad Media	81
FOTO No. 4.27	Falla Desnivel Carril/Espaldón – Severidad Alta	81
FOTO No. 4.28	Falla Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal – Severidad Baja	83
FOTO No. 4.29	Falla Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal – Severidad Media	83
FOTO No. 4.30	Falla Fisuramiento Longitudinal y/o Transversal – Severidad Alta	83
FOTO No. 4.31	Falla Parche – Severidad Baja	84
FOTO No. 4.32	Falla Parche – Severidad Media	85
FOTO No. 4.33	Falla Parche – Severidad Alta	85
FOTO No. 4.34	Falla Agregado Pulido	86
FOTO No. 4.35	Falla Bache – Severidad Baja	87
FOTO No. 4.36	Falla Bache – Severidad Media	87
FOTO No. 4.37	Falla Bache – Severidad Alta	88
FOTO No. 4.38	Falla Cruce de Ferrocarril – Severidad Baja	88
FOTO No. 4.39	Falla Cruce de Ferrocarril – Severidad Media	89
FOTO No. 4.40	Falla Cruce de Ferrocarril – Severidad Alta	89
FOTO No. 4.41	Falla Surco de Huella – Severidad Baja	90
FOTO No. 4.42	Falla Surco de Huella – Severidad Media	90
FOTO No. 4.43	Falla Surco de Huella – Severidad Alta	90
FOTO No. 4.44	Falla Desplazamiento – Severidad Baja	91
FOTO No. 4.45	Falla Desplazamiento – Severidad Media	92
FOTO No. 4.46	Falla Desplazamiento – Severidad Alta	92
FOTO No. 4.47	Falla Fisuramiento de Resbalamiento – Severidad Baja	93
FOTO No. 4.48	Falla Fisuramiento de Resbalamiento – Severidad Media	94
FOTO No. 4.49	Falla Fisuramiento de Resbalamiento – Severidad Alta	94
FOTO No. 4.50	Falla Hinchamiento – Severidad Baja	95
FOTO No. 4.51	Falla Hinchamiento – Severidad Baja	96
FOTO No. 4.52	Falla Hinchamiento – Severidad Media	96

1 PLANIFICACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN

1.1 ANTECEDENTES.

El desarrollo de la vialidad en el Ecuador esta marcado por un lento proceso de cambio tecnológico, precedido por las oportunidades de inversión en la construcción, ampliación y mejora física de sus corredores, como telón de fondo que matiza la gestión estatal.

Una condición de notable influencia en esta gestión, es el constante abandono de las actividades de conservación o mantenimiento, que ha significado la pérdida de perspectiva, si alguna vez la hubo, de un desarrollo sostenido que garantice constantemente altas prestaciones de la carretera para el usuario, basadas en estrategias y políticas que optimicen el empleo de los siempre escasos recursos económicos y la tecnología más eficiente en términos de administración de redes viales.

La administración de la red vial hasta hace 8 años estuvo en general a cargo del Estado¹, con alguna excepción de una parte muy pequeña de esta (12 Km) que fue cedida a la iniciativa privada bajo la modalidad de concesión, en 1994; es el caso de la Autovía General Rumiñahui, entre Quito y Sangolquí.

La red vial primaria en el Ecuador es de aproximadamente 9.000 Km, de los cuales 1124 son gestionados por concesionarias nacionales en la Provincia del Guayas, Manabí y el corredor de la Panamericana en el trazado de montaña; y, 103 Km adicionales, bajo la figura de un contrato de rehabilitación y mantenimiento multianual (7 años) que constituye la principal conexión entre la sierra y la costa (Alóag – Sto. Domingo), a cargo también de la empresa privada.

La red vial nacional que incluye las redes secundaria y terciaria, alcanza aproximadamente 44.000 Km de longitud, con una composición diferente en cuanto a la condición de la capa de rodadura; entre terrecerías, lastre y gravas, tratamientos asfálticos superficiales, concreto asfáltico y hormigón de cemento hidráulico, en orden de extensión.

Si bien la inauguración de las concesiones en el Ecuador ha significado un importante paso hacia el manejo sostenible de la red vial nacional, con todos los aportes que comportan la introducción de nuevas tecnologías de construcción, rehabilitación, mantenimiento y especialmente auscultación y administración; no es menos cierto que las concesiones no pueden sustituir la responsabilidad del Estado en la administración de la red vial nacional; es más, no todos los proyectos viales están en condiciones de ser concesionados y tampoco son atractivos para la inversión nacional y extranjera.

De manera que, el desafío de introducir conceptos modernos de administración y gestionar la red vial bajo requerimientos tecnológicos compatibles con la magnitud de objetivos que se plantean, es un tema pendiente especialmente para el sector público e implica identificar y obtener los recursos necesarios para auscultar, observar, capturar información y administrarla, con el fin de ayudar a la toma de decisiones gerenciales.

¹ Entiéndase gobiernos centrales y seccionales.

Bajo este panorama, nuestra entidad educativa debe encontrar el espacio de colaboración con el Estado y la empresa privada, para apoyar, mediante la investigación, el desarrollo de la vialidad nacional. Considero que existe el interés de todos los sectores por la administración vial y concretamente por la auscultación de pavimentos.

Ahora ya existen empresas dedicadas a la concesión y a la consultoría, que se han unido estratégicamente para cumplir estas actividades; es el momento para que las oportunidades que se han brindado a profesionales y estudiantes, se expresen con el respaldo de la universidad, y concurrir al encuentro de aspectos formativos que nos permitan avanzar en el propósito de cambios cualitativos.

En un país como el nuestro y con la economía actual, no se puede contar con una tecnología de primer mundo, pero esto no debe ser causa para quedarnos atrás en el conocimiento de nuevas tecnologías que nos permitan utilizar eficientemente los recursos a nuestro alcance y mejorar el estado actual de los procesos de estudio, diseño, rehabilitación, construcción y mantenimiento de las vías.

En este orden de ideas y previa consulta con los ejecutivos de la sociedad consultora INEXTEC CIA. LTDA., primera empresa nacional especializada en auscultación de carreteras; propongo el presente tema y sumario de tesis con la certeza de que mi participación laboral en esta compañía en los últimos seis años, sumado a su compromiso en este propósito, me permitirán el acceso a información bibliográfica única y relevante en su poder, y el apoyo necesario para llevar a la práctica el caso de estudio materia de investigación.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La administración vial en el Ecuador ha dado un giro importante en los últimos ocho años. El factor determinante de este giro es la operación del sistema de concesiones.

Esta realidad demanda un análisis pormenorizado especialmente en cuanto a las estrategias y políticas que el sector privado aplica en este contexto y por cierto el marco regulador con el Estado enfrenta la intervención del sector privado, especialmente en cuanto a los aspectos técnicos que son los que motivan nuestro interés.

Para cumplir este objetivo, es necesario realizar un estudio que nos permita conocer las diferentes condiciones (antes y después) de este proceso y, obtener una perspectiva de las realizaciones y omisiones en el nivel de la ingeniería de pavimentos; así como conocer en la esfera internacional, las prácticas recomendables a este respecto y nuestro estado de desarrollo. Pero además, constituye también un objetivo de esta tesis, desarrollar una investigación aplicada en un proyecto de 20,1 Km de longitud bajo competencia de la Ministerio de Obras Públicas en la provincia del Azuay, de donde se intenta sistematizar las experiencias metodológicas en auscultación, para obtener conclusiones que orienten la evolución de estas técnicas.

Al investigar obtenemos varios puntos de los cuales se puede partir; si bien vale decir que las metodologías se mostrarán en sus diferentes variantes, el

resultado que se busca es valorar su grado de aplicación para la realidad actual del desarrollo vial en el país; para esto se establecerá la cobertura de los principios de medida, tanto como el tiempo y costos que generarán dichos métodos.

Las entidades educativas deben tener una nueva visión sobre el desarrollo de la ingeniería vial en el mundo y en el Ecuador, acorde con los avances vertiginosos de la tecnología. Deben preparar a sus estudiantes con una mirada hacia este cambio tecnológico que está empezando a variar en aspectos de diseño, control de construcción, monitoreo y servicio para el usuario; y, por que no decirlo en cuanto al empleo y aprovechamiento de materiales de construcción y conceptos de gerencia vial.

Las experiencias nacionales nos han dado una clara idea de que se puede y que se debe emplear nueva tecnología tanto en los procesos de estudio, diseño, rehabilitación, construcción y mantenimiento de las vías, pues esto genera no solo beneficios económicos para la empresa privada, sino también para los usuarios de las mismas.

Los focos importantes dentro de la vialidad desde el punto de vista económico son los usuarios, las empresas y consecuentemente el país los mismos que se benefician de unas infraestructuras más eficientes, mejor diseñadas, construidas y especialmente conservadas.

La concurrencia del sector público y la empresa privada será de gran valor. Todos los sectores involucrados podrán hacer uso de este trabajo ya sea bien como umbral de la tecnología moderna o como probatorio a sus ya empleadas técnicas.

1.3 MARCO CONCEPTUAL.

1.3.1 Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía, obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetitivas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- ❖ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ❖ Ser resistente ante los agentes del Intemperismo.
- ❖ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ❖ Debe ser durable.

- ❖ Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- ❖ Debe ser económico.
- ❖ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ❖ Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.
- ❖ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semirígidos o semiflexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

Pavimentos flexibles.- Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta de capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante pueden prescindirse de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

En la figura No. 1.1 se muestra un corte típico de un pavimento flexible.

Pavimentos semi-rígidos.- Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas de pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

Pavimentos rígidos.- Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aún cuando existan zonas débiles en la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

En la figura No. 1.2 se muestra un corte típico de un pavimento rígido.

FIGURA 1.1.- Sección Típica de un Pavimento Flexible

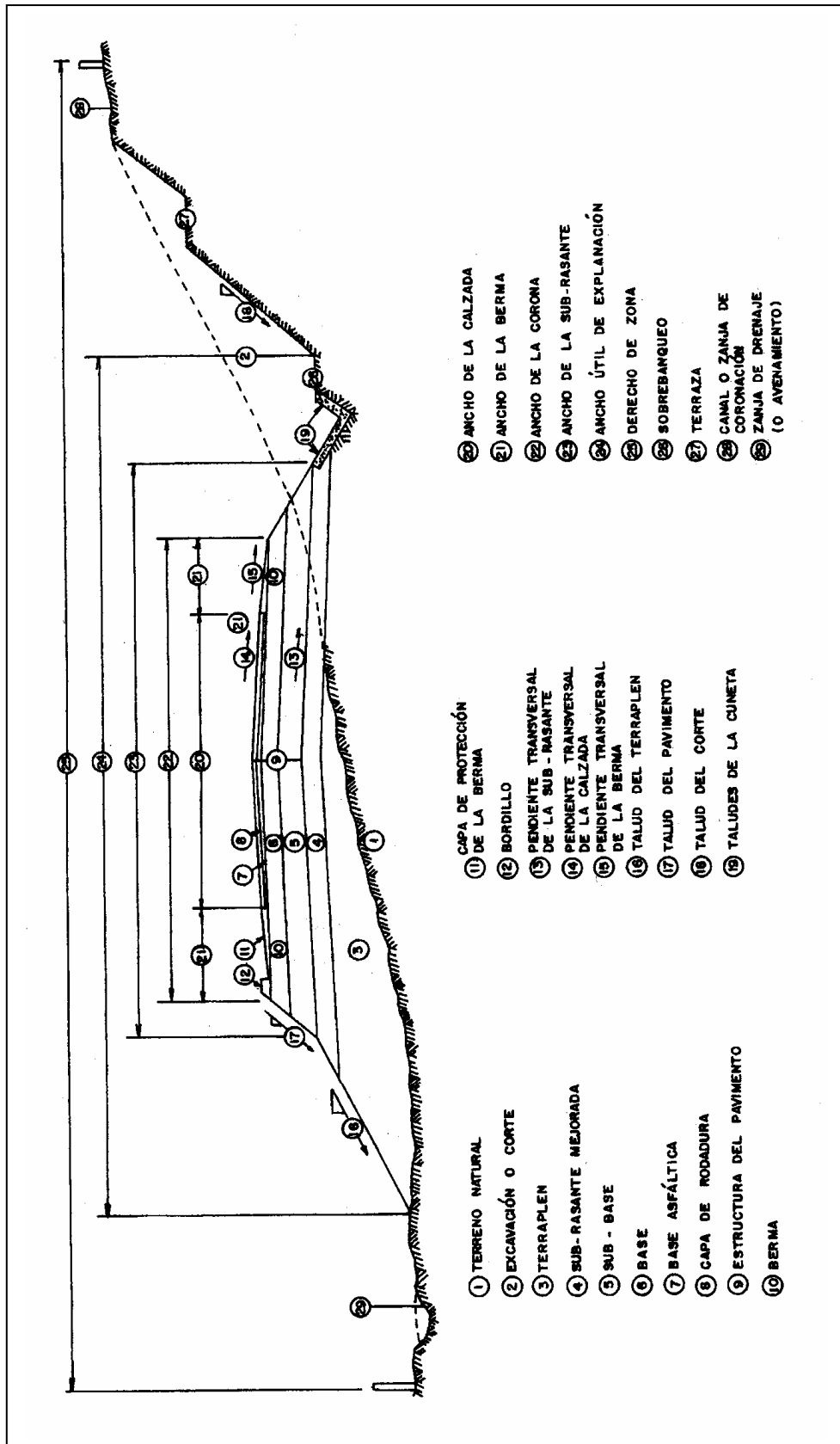
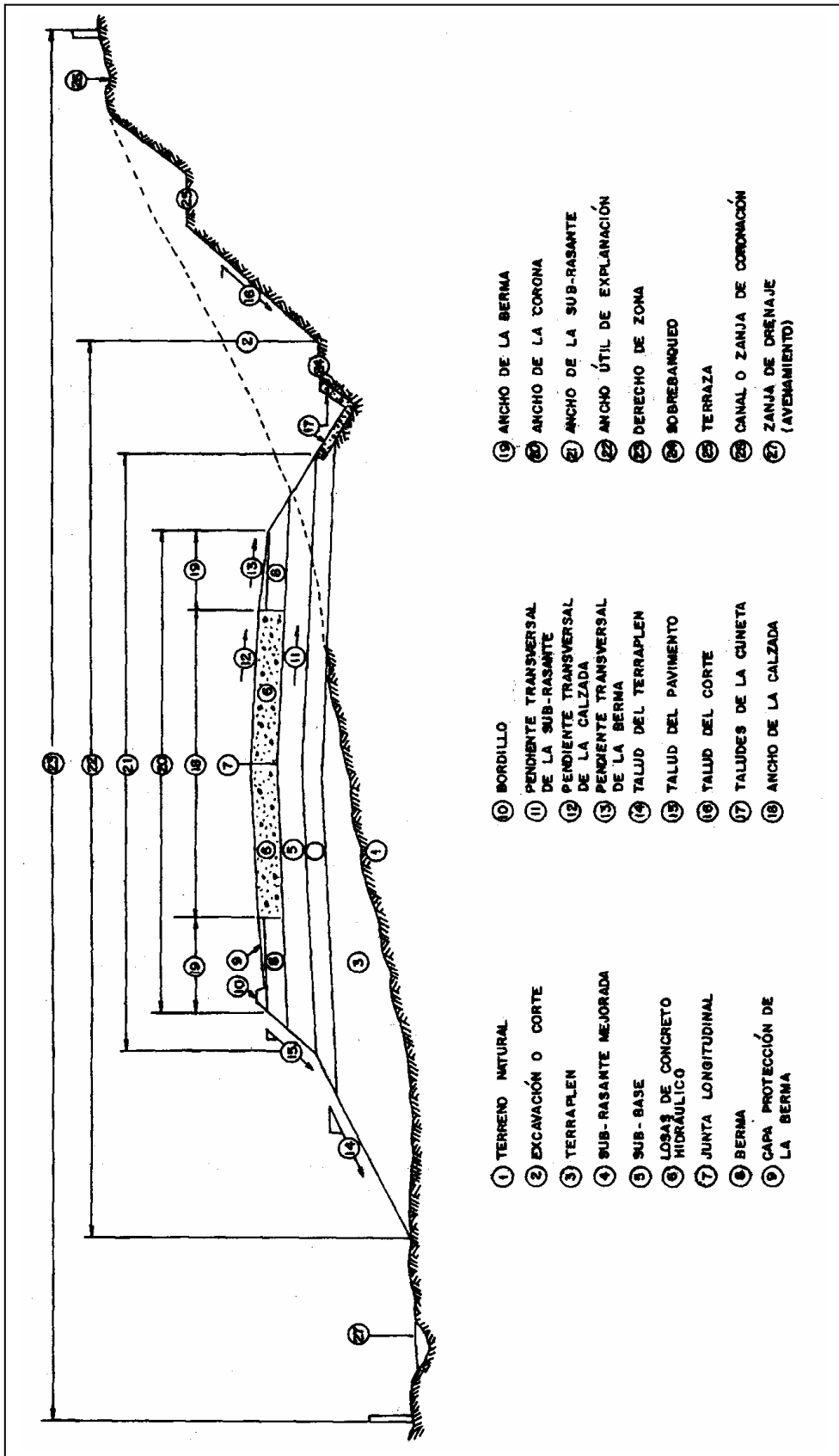


FIGURA 1.2.- Sección Típica de un Pavimento Rígido



Pavimentos articulados.- Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Este puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de las cargas que circularan por dicho pavimento.

1.3.2 Auscultación Vial

La Auscultación es la investigación a detalle de diferentes parámetros, los mismos que se comparan con valores estándares de diversas entidades normativas, que nos ayudan a determinar el estado en nuestro caso de la carretera.

Existen diferentes tipos de instrumentación para la obtención de dichos parámetros, los mismos que abarcaremos en el capítulo 3.

La Auscultación Primaria se la puede entender como el preámbulo de toda investigación. En este proceso se recauda la mayor cantidad de información de acuerdo a los requerimientos del ensayo. Se establece que ensayos se evaluarán y registrarán, que tipo de equipo se utilizará (dependiendo del tiempo y presupuesto sostenido), así como que programas se ejecutarán.

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 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.

Una vez realizada la Auscultación primaria, es conveniente y necesario realizar un seguimiento frecuente y progresivo del desarrollo de la vía, para poder evitar a tiempo daños irreversibles.

1.3.3 Inventario Vial

Un inventario es una relación de unos activos de una empresa u organismo. Su objetivo es disponer en todo momento de una información suficiente para poder hacer uso adecuado de la misma y tomar las decisiones de gestión precisas en las que intervengan esos activos. En el caso de las carreteras, la empresa u organismo es la administración competente y el activo es la red de carreteras.

El inventario de carreteras debe suministrar una información veraz, actualizada y pertinente sobre la extensión, situación y características de una red de carreteras. Habitualmente los inventarios de carreteras han sido utilizados y concebidos para ser la base de la planificación de carreteras, para la realización de diversos tipos de estudios o para la elaboración de estadísticas que permitan conocer el estado general de la red. Actualmente se comienza a pedir otras características adicionales que habiliten al inventario como elemento útil para la gestión económica y por lo tanto que tenga en cuenta las características relacionadas con el mantenimiento y explotación.

Alcance del Inventario

El tipo de características viales a incluir en el inventario y su nivel de detalle han sólido ser determinados por los datos necesarios para los estudios de planificación y para las labores de conservación; actualmente se están incluyendo también datos útiles para la explotación. Al decidir los datos que se han de incluir en el inventario hay que tener en cuenta los procedimientos existentes para la recogida y proceso.

Sistemas de Inventario

El inventario requiere en primer lugar una relación biunívoca y permanente entre los datos y el tramo físico de carretera al que se refieren. Para esto se debe contar con un sistema de referencia de la red para poder inventariar.

Normalmente una red de carreteras de primer orden tiene un sistema de identificación basado en una numeración de las carreteras por tipos, y una partición de las mismas en distancias sensiblemente homogéneas mediante los hitos kilométricos. En cualquier caso los trabajos de planificación, construcción, conservación y explotación exigen una unidad mayor al kilómetro e inferior a la carretera total, que tenga unas características de entorno, geométricas, estructurales y de explotación suficientemente uniformes. Esta unidad, así definida, se denomina tramo y suele ser, por tanto, la unidad operativa del inventario, lo cual obliga a un esfuerzo previo de tramificación de la red a tratar. Los tramos quedan definidos por sus orígenes y términos, que puedan ser nudos de carreteras o hitos de referencia, y que a su vez se determinan por sus coordenadas topográficas en algunos casos o por referencias materiales sobre el terreno en otros. Así mismo dentro de los tramos se pueden definir subtramos los mismos que se podrán identificar de acuerdo al kilometraje, siempre y cuando sea sencilla su referenciación respecto al comienzo y al final del tramo.

Tipos de Inventarios

Los datos recogidos en los inventarios se diferencian en función del tipo de necesidades a cubrir y la tecnología disponible. Existen hoy en el mundo tres tipos o generaciones de inventarios:

Primera generación (manuales), cuya tecnología es anterior a 1975; su objetivo era alcanzar un conocimiento detallado del patrimonio vial, obtenido a través de la observación visual y la medida con instrumentos tradicionales para su registro en soportes de papel.

Segunda generación, hasta 1984, en la que se busca una mayor operatividad del inventario mediante una toma de rendimiento medio, eminentemente fotográfica y con uso de instrumentación y proceso electrónico limitado; los datos, recogidos con un incremento de velocidad notable en determinadas medidas respecto al sistema anterior, se introducen a mano en centros de calculo; en este periodo se comienza el tratamiento estadístico de los mismos.

Tercera generación, desde 1984, caracterizada por una toma automática de alto rendimiento mediante el uso extensivo de la instrumentación automática de precisión y la microinformática, así como por la utilización intensiva de procedimientos informáticos tanto en el proceso, como en la explotación de los datos en bruto y ya elaborados.

Datos requeridos

Un inventario contiene las características permanentes del pavimento, por lo que existe una amplia variedad de datos que serán candidatos a considerarse en el inventario. Debido a esto, hay un compromiso entre el nivel de detalle, el costo y el tiempo invertido en la recolección y análisis de los datos, por esto se han definido los distintos tipos de datos a considerar en la gestión de pavimentos, estos son los siguientes:

- Referencia (ubicación)
- Descripción de la sección
- Espesores de capa
- Características del suelo de fundación, CBR, modulo resiliente (Mr) y modulo de reacción de la subrasante (K)
- Características de la sección transversal
- Características del trazado
- Señalización Vertical
- Señalización Horizontal
- Elementos en las márgenes
- Intersecciones y pasos a nivel
- Medio Ambiente
- Estructuras
- Túneles
- Velocidades de circulación
- Obras de Arte (alcantarillas, Puentes)
- Plazas de Peaje
- Iluminación
- Barreras
- Etc.

1.3.4 Evaluación Estructural

Las carreteras además de proporcionar una superficie segura y cómoda deben resistir la carga 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 firme² es determinando la deflexión con desplazamiento vertical bajo una carga normalizada de referencia.

La deflexión es un valor evolutivo que representa el estado estructural del firme, respecto a un valor inicial de deflexión mínima. Las técnicas de

² Se entiende como calzada.

interpretación de los valores de la deflexión permiten cuantificar las actuaciones necesarias de refuerzo o rehabilitación del firme. El valor de la deflexión se debe interpretar en función del firme y de los espesores de las capas que lo constituyen.

La función estructural depende de la propia capacidad resistente (materiales y espesores), así como del estado de envejecimiento del pavimento, por lo que la auscultación estructural debe incluir mediciones de deflexión y una inspección visual.

La auscultación estructural de carreteras es una técnica que proporciona un conocimiento detallado del estado de los pavimentos, lo que permite efectuar el monitoreo de su comportamiento a través del tiempo y programar el mantenimiento de un modo racional y más económico.

La metodología de auscultación estructural ha ido variando con el tiempo en función de los continuos avances de la tecnología y se requiere que los nuevos equipos de medición permitan la evaluación sistemática de los parámetros característicos del pavimento, posibilitando un buen rendimiento operacional y que su trabajo interfiera lo menos posible con el uso normal de la carretera.

Los posibles resultados de una evaluación estructural son:

- ❖ Evaluación de capacidad de soporte
- ❖ Evaluación de transferencia de carga
- ❖ Diseño de rehabilitaciones
- ❖ Retrocálculo de los parámetros de resistencia de las capas
- ❖ Monitorear cambios de las propiedades
- ❖ Detectar pérdida de soporte en las esquinas
- ❖ Realizar predicciones de vida remanente

1.3.5 Evaluación Funcional

Cuando hablamos de evaluación funcional, nos referimos al estado que la vía representa debido a los deterioros superficiales. La superficie de las carreteras se diseña y conserva siguiendo un sistema de coste efectivo, para proporcionar niveles aceptables de seguridad y calidad de rodadura para los usuarios de las carreteras y para preservar la integridad estructural del firme.

La mayoría de auscultaciones funcionales son del tipo superficial y definitivamente no destructivas (Non Destructive Test), se pueden citar las siguientes características superficiales:

- Resistencia a la rodadura
- Resistencia al deslizamiento
- Regularidad superficial o lisura (longitudinal y transversal)
- Propiedades reflexivas y color
- Ruido de contacto neumático – pavimento
- Proyecciones de agua al paso de los vehículos
- Consumos debidos al contacto neumático – pavimento
- Permeabilidad y drenabilidad

Tiempo de congestión
 Limpieza
 Resistencia al ataque de los aceites y combustibles, entre otras.

Estas características tienen diferente grado de importancia en la funcionalidad de las carreteras, lo cual determina así mismo, su peso en la ponderación matemática del nivel de servicio, junto con las características estructurales, ponderación de la que se hablará posteriormente; por cierto, los diseñadores y constructores no suelen incluir a todas, tanto como establecen los valores mínimos y máximos aceptables cuando se trata de evaluar cada uno de ellos.

Los aspectos funcionales que usualmente se conocen con el apoyo de estas técnicas son la seguridad, comodidad, gastos de explotación, contaminación ambiental, etc.

1.3.6 Niveles De Servicio

El **nivel de servicio** es una medida puramente cualitativa de las condiciones de circulación, que tiene en cuenta el efecto de varios factores tales como velocidad y el tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad de conducción y los costes de funcionamiento. La manera de combinar estos factores dependerá del tipo o elemento de carretera que se este considerando, por lo que la definición de cada nivel de servicio particular será distinta, por ejemplo, en intersecciones, en tramos de carreteras de dos carriles, en autopistas, etc.

El acceso a la movilidad es un servicio social básico y el privilegio de utilizar la infraestructura de carreteras debe extenderse a todos los ciudadanos. En consecuencia, la evaluación de las necesidades de infraestructuras no puede limitarse a la mera justificación económica, sino que debe basarse además en otros parámetros.

Existen diversas entidades, asociaciones, institutos, etc., que determinan mediante largos años de estudio, parámetros mínimos y máximos para diferentes tipos de ensayos. El estar siempre dentro de los valores permisibles, establece un nivel de servicio adecuado de la carretera para los usuarios.

Las tablas a continuación nos dan un previo conocimiento de algunas valoraciones en distintos tipos de ensayo:

NIVELES ACEPTABLES DE SERVICIO

TPDA	CALIFICACION
> 5000	> 4.5
3000 – 5000	4.0 – 4.5
1000 - 3000	3.5 – 4.0

RANGOS ACEPTABLES DEL ASPECTO DE LA CALZADA

TPDA	IRI (m/Km)	PCI	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	SURCO DE HUELLA (mm)	DEFLECCIÓN (mm)
> 5000	2 - 3	85 –100	> 55	6.0	< 0.40
3000 – 5000	3.5	85 – 100	> 55	6.0	0.45 – 0.40
1000 - 3000	4	85 - 100	> 55	6.0	< 0.5

La capacidad de una sección de carretera es el número máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar la sección durante un periodo dado de tiempo en unas condiciones determinadas de la carretera y del tráfico, expresado en vehículos a la hora.

La capacidad depende de las condiciones existentes. Estas condiciones se refieren fundamentalmente a las características de la sección y las del tráfico. El conocimiento de la capacidad de una sección de carretera es absolutamente necesario para proyectarla de forma que permita hacer frente a la demanda prevista. Sin embargo no es suficiente en la práctica, porque las condiciones de circulación cuando se alcanza la capacidad son muy deficientes. Por ello es conveniente que la carretera funcione con intensidades de tráfico inferiores a la capacidad. Ahora bien, una carretera que se construye con una capacidad mucho mayor que la demanda de tráfico prevista, representa un despilfarro que interesara evitar. Por consiguiente para escoger la relación entre la intensidad de tráfico prevista y la capacidad de la carretera habrá que ponderar por un lado los gastos e incomodidades aceptables que lleguen a experimentar los usuarios y por otro lado el coste de la carretera. Para ello seria necesario conocer la relación existente entre la intensidad de tráfico que circula y diversos factores como la velocidad media, el numero de accidentes, la sensación de comodidad de los conductores, etc., y esto para cada tipo de carretera y para diferentes elementos de las mismas. Además haría falta poder valorar en términos monetarios todos estos factores. Con ello podría calcularse la relación entre intensidades y capacidad que hace mínima la suma total de costes.

En la práctica, es necesario proceder de una manera más sencilla. Para ello habrá que establecer unas condiciones de la circulación que se consideren aceptables. Las condiciones que pueden ser aceptables en una cierta situación resultaran inaceptables en otras. Por ello para realizar un análisis de capacidad hace falta establecer una escala de condiciones de circulación de mejores a peores, desde el punto de vista del usuario de la vía, y elegir aquellas que parezcan más adecuadas a la situación en estudio.

1.3.7 Diseño de Pavimento

Para realizar el diseño de un pavimento, ahí que tener en cuenta ciertos parámetros, los mismos que se señalan a continuación:

El Tránsito.- Interesan el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o tridem) esperadas en el carril de diseño (el más solicitado, que determinará la estructura del pavimento de la carretera) durante el período de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las lentas en zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del tránsito, etc.

La Subrasante.- De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en la que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura con algún tipo de aditivo.

El Clima.- Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

Los Materiales Disponibles.- Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, hay que atender el volumen disponible aprovechable, a las facilidades de explotación y al precio, condicionado en buena medida por la distancia de acarreo. Por otra parte, se

deben considerar los materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente.

La determinación de los parámetros para realizar el respectivo diseño, es solo el comienzo de todo proceso constructivo, más allá de la veracidad del diseño, esta la metodología de construcción, la misma que se califica por la calidad de control.

Entre los aspectos relevantes de toda construcción se encuentra el ambiental, el mismo que se analiza en tres fases: antes, durante y después de la construcción.

Existen ordenanzas a nivel estatal que se deben cumplir durante este proceso, las mismas deben señalarse en un plan de mitigación ambiental, a continuación se detallan algunas normas que se deben seguir:

- Cumplir con la legislación y reglamentación medioambiental.
- Reducir la producción de residuos.
- Proyectar obras de forma que se reduzca al mínimo el impacto ambiental de estas, tanto en la construcción como en su uso.
- Evaluar por anticipado el impacto medioambiental de las nuevas actividades, productos y servicios.
- Fomentar en los empleados el sentido de la responsabilidad en relación con el medio ambiente.
- Proporcionar información sobre nuestro comportamiento medioambiental a las partes interesadas.
- Fomentar que los subcontratistas y proveedores de la empresa apliquen normas de gestión medioambiental.
- Revisar periódicamente la política y el funcionamiento del sistema de gestión medioambiental.

1.3.8 Administración Vial

En la mayoría de los países, las redes de carreteras constituyen uno de los mayores activos de la sociedad y son de propiedad estatal. La financiación de la infraestructura viaria es de crucial importancia cualquiera que sea la etapa de desarrollo en que se encuentre un país.

Tradicionalmente ha existido una compleja interacción entre la empresa pública y la empresa privada en la Administración Vial; entre la financiación con los impuestos o con tarifas y peajes privados; entre el control por medio de la regulación o el libre juego de las fuerzas del mercado. El papel de los gobiernos ha evolucionado, y esta evolución ha sido más rápida en los países en vías de desarrollo, en los que existe una mayor necesidad de intervención estatal para impulsar el desarrollo de la economía y de la infraestructura. Sin embargo, incluso en el mundo desarrollado, el Estado juega un papel primordial en el desarrollo económico y social, no sólo como generador directo del mismo, sino también como socio, catalizador y facilitador. Los gobiernos de todo el mundo necesitan establecer acuerdos institucionales y aplicar estrategias de desarrollo que fomenten el crecimiento y sirvan al mismo

tiempo para extender de manera equitativa entre todos sus ciudadanos los beneficios del progreso económico y social.

La finalidad de una Administración de Carreteras consiste en prestar el mejor servicio posible a los usuarios de las mismas. Para ello es necesario disponer de indicadores de calidad que expresen las necesidades del usuario –en relación con la construcción, conservación y explotación de las carreteras– y permitan evaluar en qué medida se cumplen los objetivos. Además de esto, las Administraciones de Carreteras se ven obligadas cada vez más a buscar procedimientos que permitan optimizar la capacidad de la infraestructura vial existente, con el fin de evitar una disminución en el nivel de calidad del servicio.

Los desafíos que se plantean a las Administraciones de Carreteras, en su calidad de explotadores, consisten en satisfacer las demandas de los usuarios. Mediante esta nueva disciplina se debe apoyar técnicada y objetivamente, la toma de decisiones respecto a las inversiones que se deben realizar en los distintos tipos de elementos de la infraestructura, a fin de alcanzar un nivel de servicio adecuado a las necesidades de los usuarios de las vías, teniendo en consideración que los recursos existentes para proveer dicho nivel de servicio son limitados.

Los Alcances de la Administración Vial son:

- ❖ Economía máxima o razonable, en términos de la Administración y costes al usuario.
- ❖ Seguridad máxima o suficiente.
- ❖ Funcionalidad máxima o razonable sobre el periodo del proyecto.
- ❖ Capacidad de carga soportada máxima o suficiente en magnitud y número de repeticiones de carga.
- ❖ Deterioro físico mínimo o limitado debido a las influencias ambientales y de tráfico.
- ❖ Ruido y contaminación del aire mínimo o limitado durante la construcción.
- ❖ Mínimas o limitadas molestias en los usos del suelo próximo.
- ❖ Estética agradable máxima.

Las funciones, las responsabilidades, la orientación estratégica, la estructura y los recursos de las Administraciones de Carreteras están condicionados por un complejo conjunto de fuerzas. En cualquier caso, los principales motores son los desarrollos económicos, sociales, políticos, medioambientales y tecnológicos.

Las redes de carreteras pasan por distintas fases de desarrollo, que se pueden denominar: Nacimiento, Crecimiento, Modernización y Madurez.

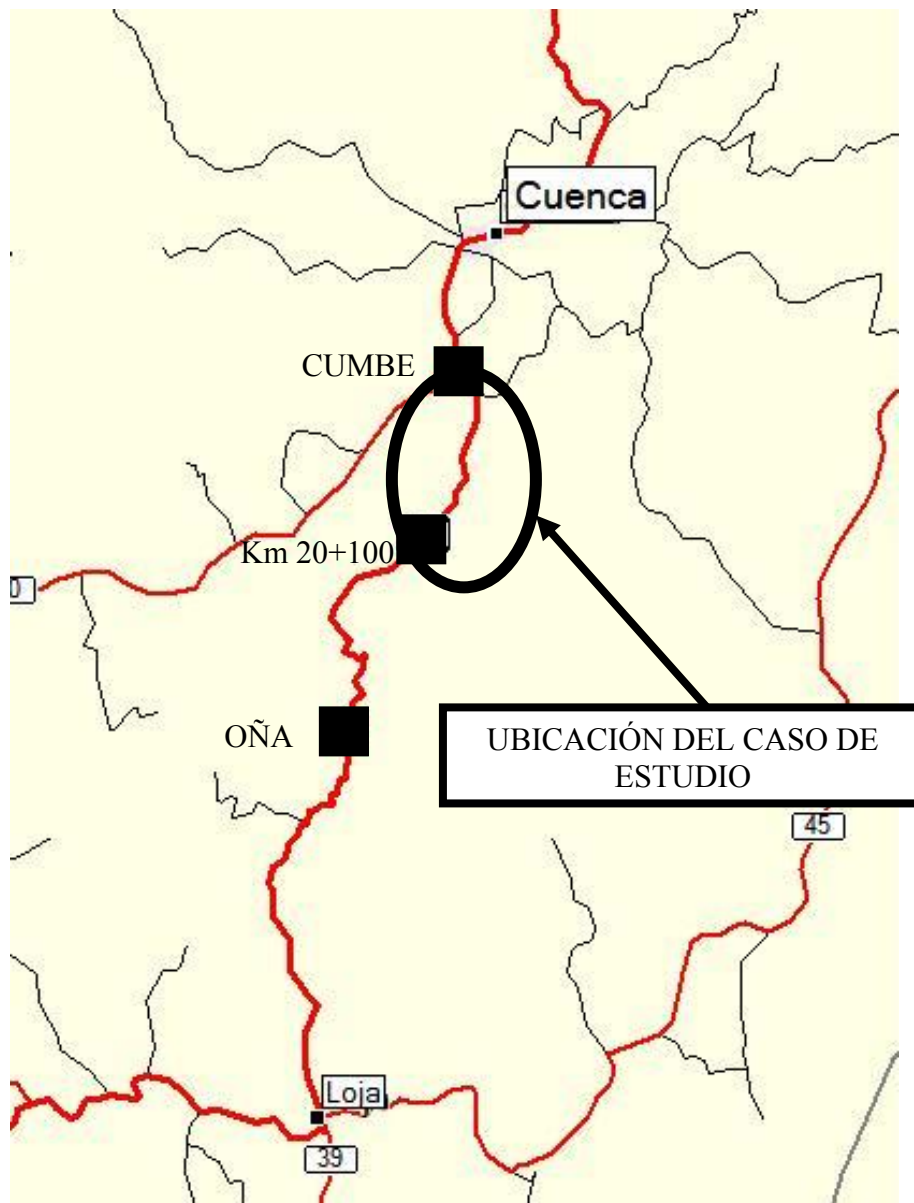
Existe una clara correlación entre el desarrollo socioeconómico y el desarrollo de la red de carreteras: los países en vías de desarrollo se preocupan principalmente por el desarrollo de su red viaria, mientras que los países desarrollados están más interesados en la modernización de la red existente.

Las fuerzas políticas, económicas, sociales y tecnológicas plantean desafíos muy importantes a las Administraciones de Carreteras durante el desarrollo de las redes.

1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CASO DE ESTUDIO.

El caso de estudio se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, esta vía es importante en el desarrollo socio-económico de las provincias de Azuay y Loja, así como de los pueblos y comunidades ubicados en la zona de influencia de travesía de la carretera, inicia en el Km 16 de la vía Cuenca – Machala atraviesa la localidad de Cumbe y acaba en una longitud de 20,1 Km en donde empieza el tramo II de la vía que llega hasta la ciudad de Oña.

Un detalle más exacto se muestra en el siguiente gráfico.



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 sollicitaciones 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 sollicitaciones. 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 más "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 IRI 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.

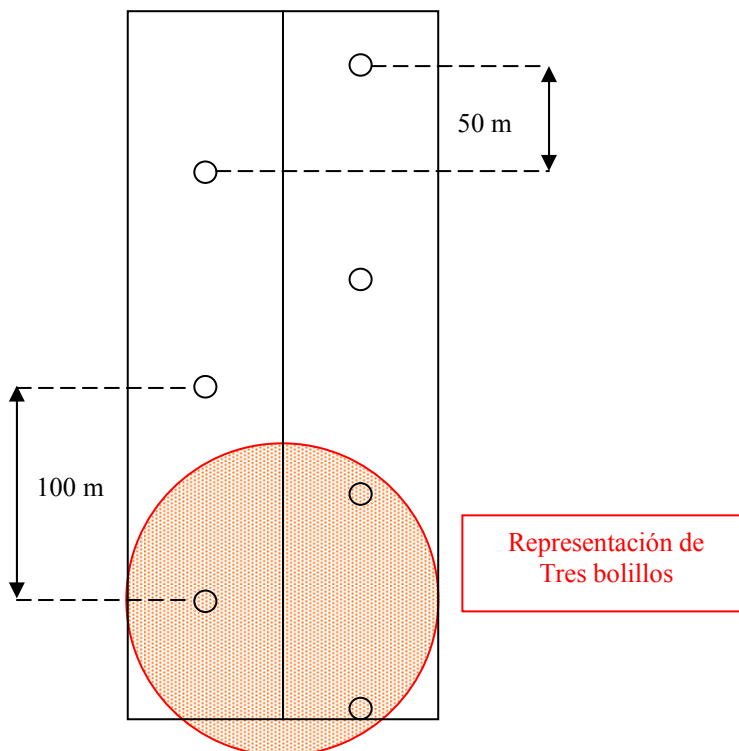
El procedimiento de mayor difusión internacional para el análisis de las deflexiones se conoce con el nombre de "Cálculo Inverso" ó "Backcalculation" que consiste en calcular los módulos de las diferentes capas del firme, mediante el ajuste de las deflexiones medidas a las deflexiones teóricas que se 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 capítulo 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 hidropneumático. 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

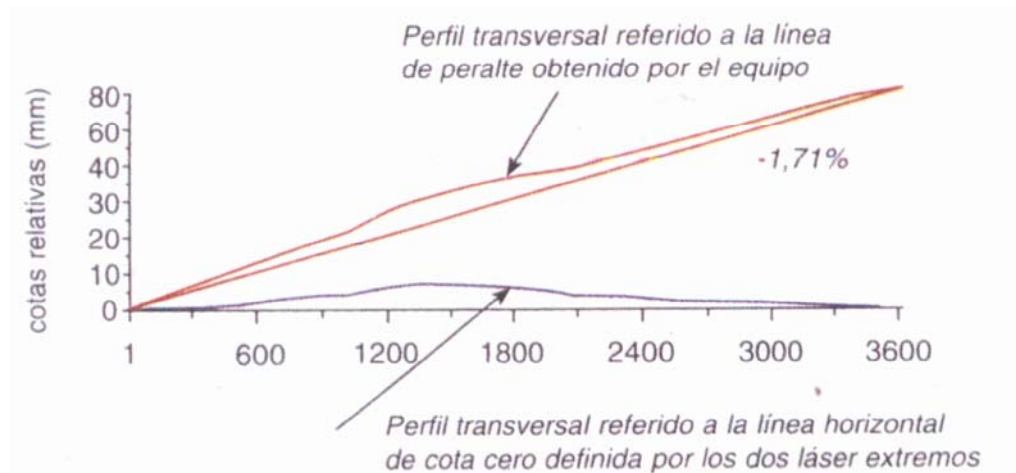
CALIFICACION	IRI MEDIO (m/Km)
EXCELENTE	< 1.5
ACEPTABLE	1.5 – 2.5
REGULAR	2.5 – 4.0
NO DESEABLE	> 4.0

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



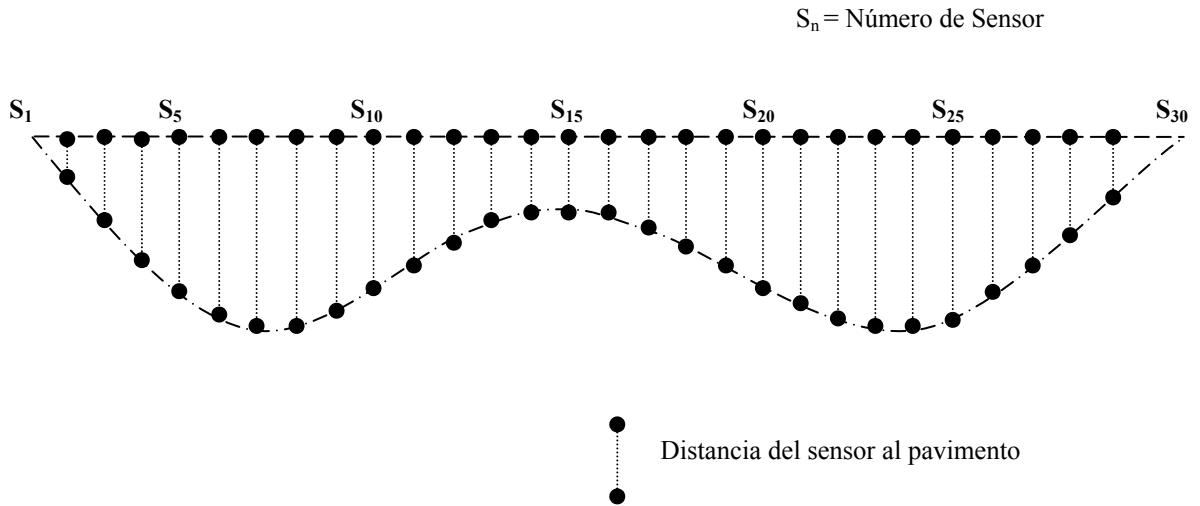
Calcular el perfil transversal cada 10 cm proporciona un nivel alto de exactitud y reproducibilidad para las medidas del perfil transversal, tales como las roderas. Sin embargo varias cuestiones, mencionadas a continuación, se deben tener en cuenta cuando se comparan las medidas del perfil de alta velocidad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

El hidrodslizamiento 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

TIPOLOGIA	DIMENSIONES DE LAS IRREGULARIDADES	
	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 PAVÉR, 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, indentación) 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 el 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 pérdida 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 hidropneado viene determinado por la existencia de profundidades críticas que suelen ocurrir durante inundaciones y lluvias intensas repentinas.

Puesto que el hidropneado solamente puede ocurrir cuando hay agua en el pavimento, el riesgo de hidropneado 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 de 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.

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 continua 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.

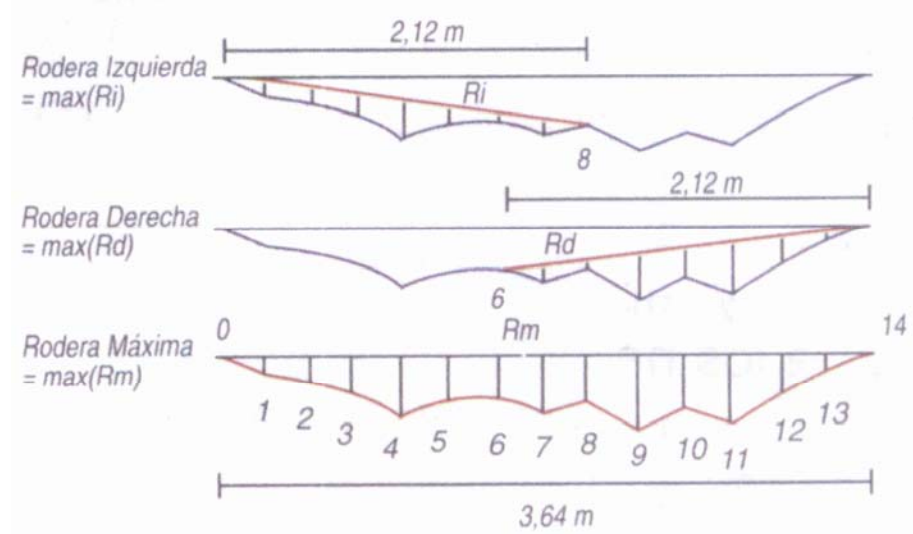
El perfil se mide de forma independiente para cada rodada usando una cámara láser, un acelerómetro y una tarjeta de procesamiento de señales digitales (especialmente diseñada para este tipo dispositivo), además se pueden obtener varios indicadores de la regularidad superficial correspondiente al perfil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

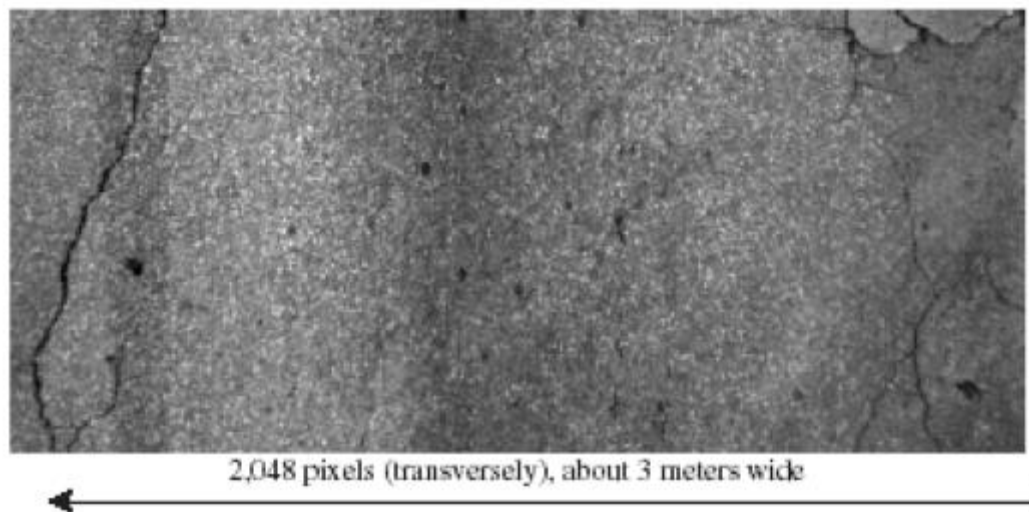


El Scanner Láser mide las fisuras del pavimento en 4 tipos de categoría:

- 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.

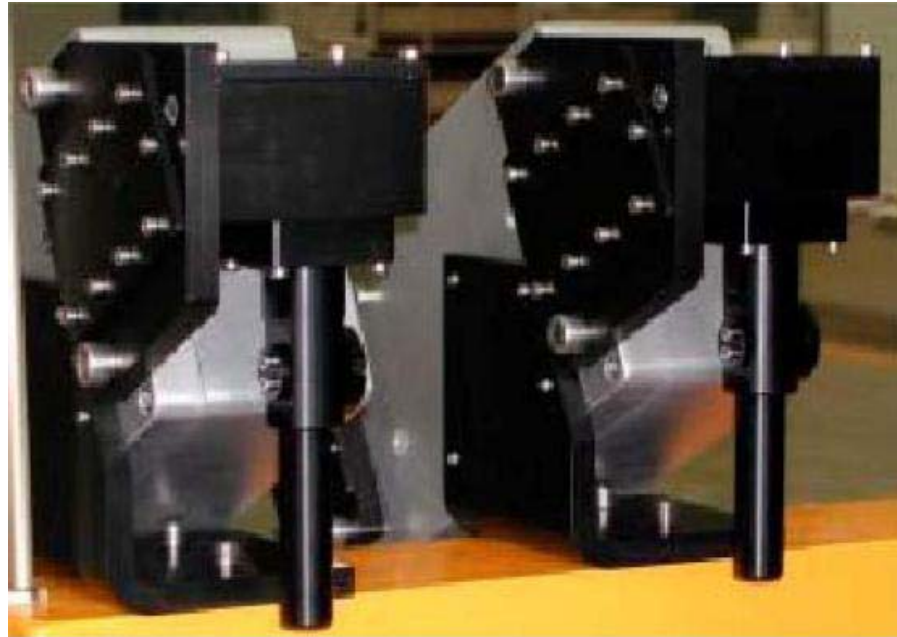
La aceleración vertical del Perfilómetro es medida por un acelerómetro de alta precisión montado en el mismo plano vertical que el láser. Hay un procesador dedicado, para medir las señales de aceleración vertical. La adquisición de datos de aceleración es a 16kHz.

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 láseres. • 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 FRICCIÓNMETRO.

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 rozamiento siempre realizan los ensayos sobre la superficie mojada (se vierte agua de forma controlada) y a una velocidad constante para 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 (S_p) y la de fricción a 60 Km/h (F_{60}) de un pavimento. El par de valores (F_{60} y S_p) 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 IFI 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 Distanciómetros 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 lograr 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 Information 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 grabar el archivo histórico de los ensayos, este archivo es importante en especial cuando se suscitan problemas de pérdida 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 °C.
 - 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.

CAPTURA DE DATOS CON EL PROGRAMA ROMDAS

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.

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:

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

Donde:

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

PCI_i = PCI de la muestra i

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

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

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) Nombre de la Falla.- Fisuramiento “Piel de Cocodrilo” (Alligator Cracking).
- b) Descripción.- El fisuramiento “Piel de Cocodrilo” o de fatiga es una serie de fisuras interconectadas causadas por fatiga del concreto asfáltico, 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 pies² o m² 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, brillante 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) Medición.- La exudación se mide en pies² o m² 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 pies² o m² 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.

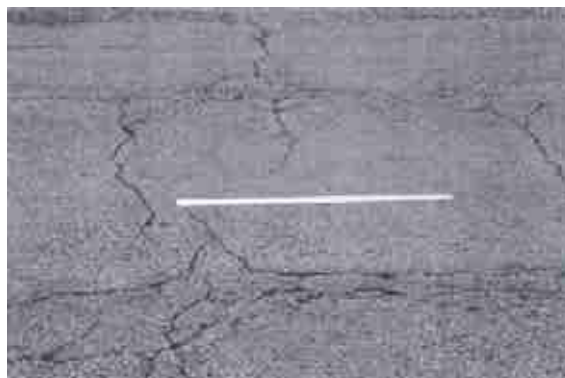
FOTO No. 4.7.- Falla Fisuramiento en Bloque – Severidad Baja



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 pies² o m² 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.

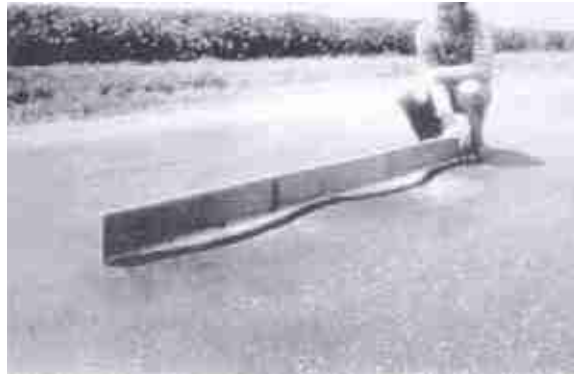
FOTO No. 4.13.- Falla Corrugación – Severidad Baja



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 pies² o m² 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.

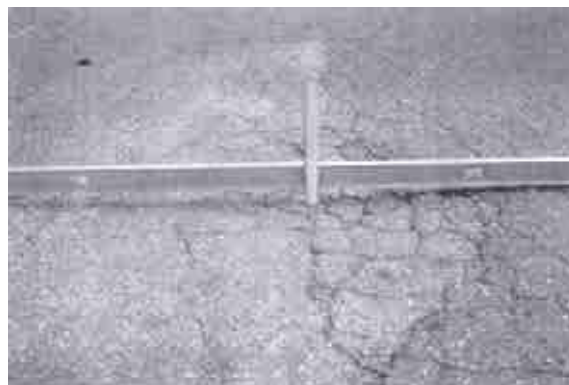
FOTO No. 4.16.- Falla Depresión – Severidad Baja



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) Niveles de Severidad.-

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) Medición.- 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) Nombre de la Falla.- Fisuramiento de Reflexión de losas de hormigón (Joint Reflection Cracking)

b) Descripción.- 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) 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 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.

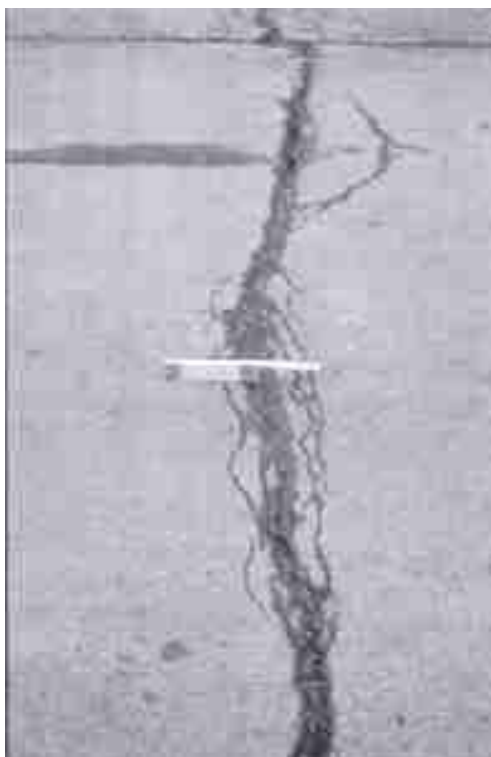
FOTO No. 4.22.- Falla Fisuramiento de Reflexión – Severidad Baja



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) Nombre de la Falla.- 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 pies² o m² 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

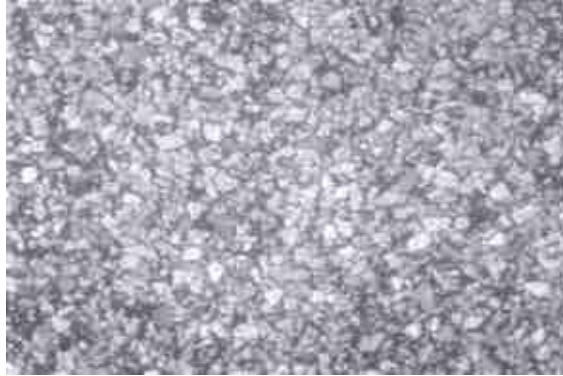


Falla No. 12

- 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 considerarse 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 pies² o m². 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 pies² o m². 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 pies² o m² 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

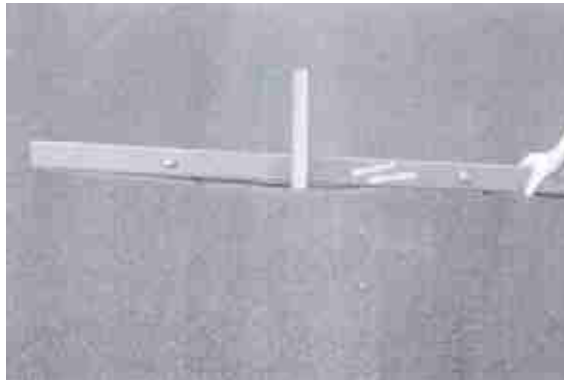


FOTO No. 4.42.- Falla Surco de Huella – Severidad Media



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 pies² o m² 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 $1\ 1/2''$).
 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 ($> 1\ 1/2''$).
 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 normal, 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 pies² o m² 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 pies² o m² 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.

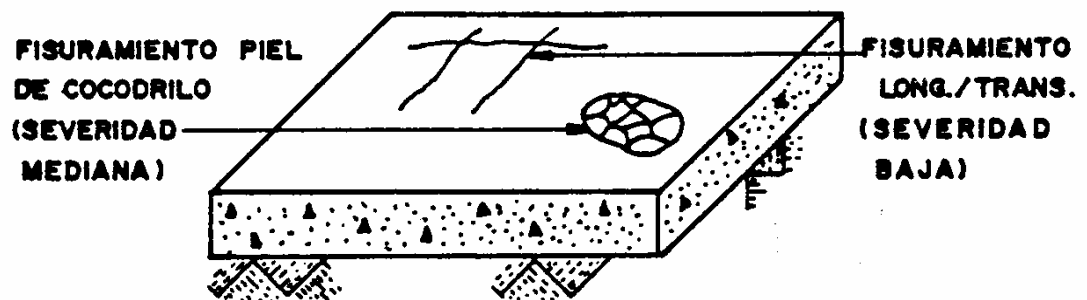
Un elemento importante para el cálculo del PCI lo constituye el “valor de deducción” que varía de 0 a 100. Un valor de 0 indica que la falla en cuestión no tiene impacto sobre la condición del pavimento, mientras que un valor de 100 indica que la falla es extremadamente severa.

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.

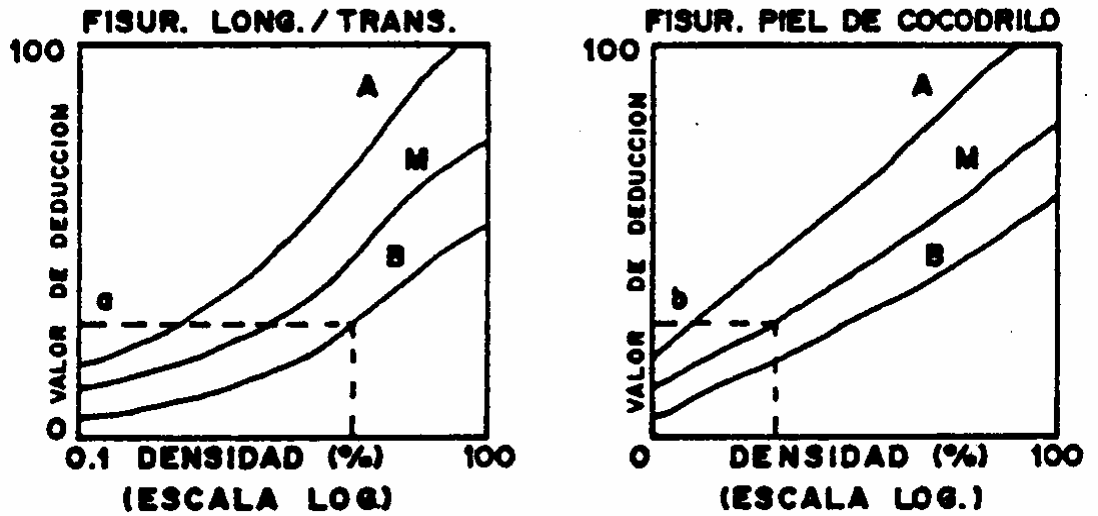
Paso 3.- Se inspecciona cada muestra en el campo, se definen las fallas y su intensidad y las cantidades correspondientes diseñadas para ello, tal como se muestra en la Figura No. 4.1.

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.

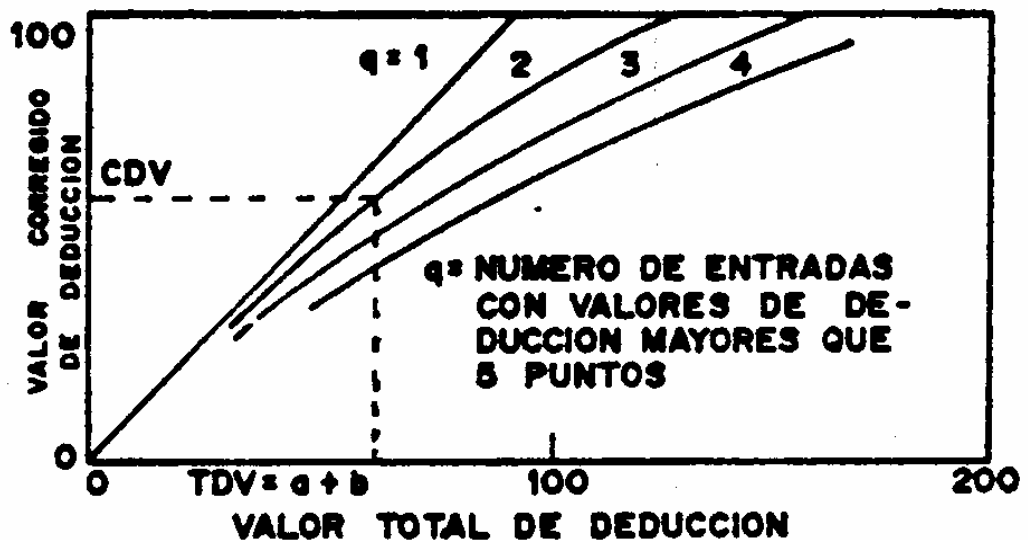
FIGURA No. 4.2.- Forma de determinar el Valor de Deducción



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 (pies² o m²) 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.

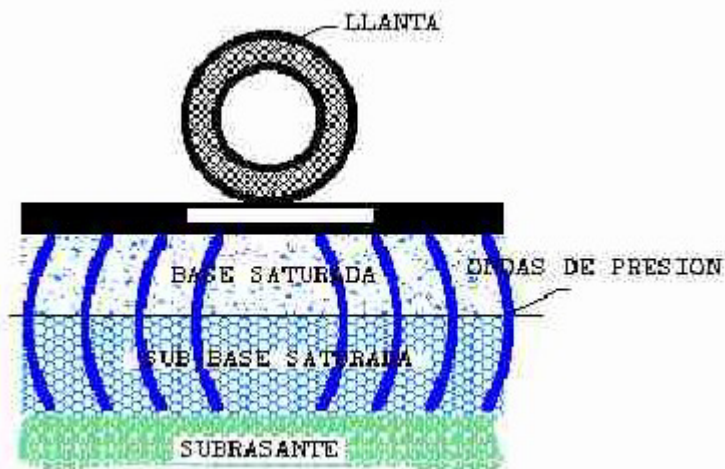
Si los poros y sus interconexiones están llenos de agua, la capa se transforma en un conjunto de dos materiales, a saber: el material granular, que debe deformarse para distribuir las presiones, y el agua, que por ser incompresible o mejor, de muy alto módulo elástico a la compresión, prácticamente no 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 transforman en un aumento de la presión de poros que se transmite 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 transmiten 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

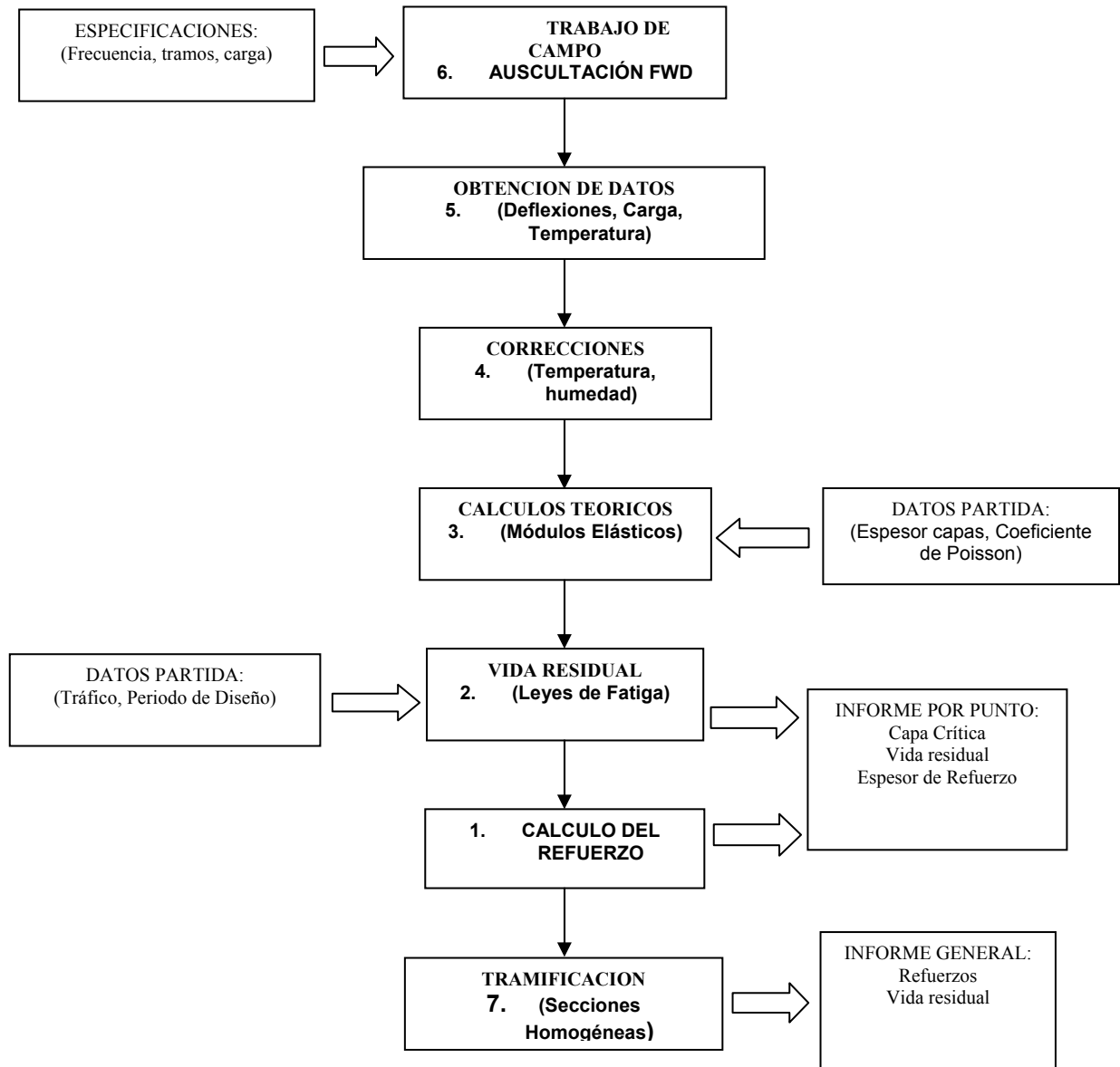
Por medio de la interpretación del cuenco de deflexiones generado por el Deflectómetro, y utilizando la técnica conocida con el nombre de Cálculo Inverso, Retrocálculo o Backcalculation se puede conocer el estado estructural del firme y determinar el estado actual y tomar las medidas efectivas o correctoras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

Metodología Según Teoría Multicapa

En este método se aprovecha toda la información que ofrece el software del Deflectómetro. 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 deflexiones 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).

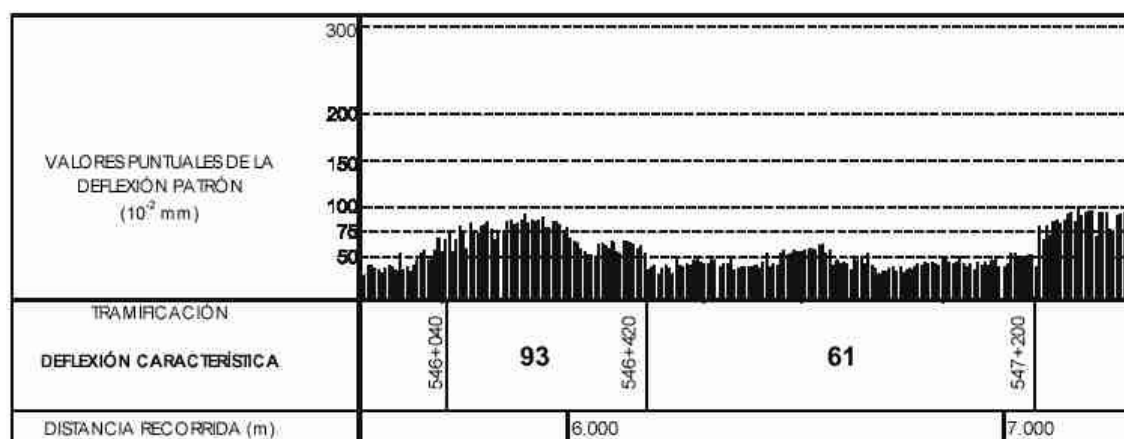
Por otra parte, se considerará que el pavimento tiene una vida residual insuficiente siempre que el valor puntual de la deflexión supere los umbrales indicados en la columna (2). La evaluación estructural con las herramientas de análisis utilizadas en este estudio permite conocer la vida residual.

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

4.2.1 DEFLECTOGRAMA CARACTERISTICO

Para establecer una tramificación 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 tramificación 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:

$$dk = m + 2s$$

en donde:

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

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

siendo:

di : 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.

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

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.

$$\Sigma \Delta X_1 = 0$$

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

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

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

- 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:

$$\Sigma a_1 = 0$$

$$\Sigma a_2 = a_1 + a_2$$

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

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

- 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:

$$Z_{X_1} = 0$$

$$Z_{X_2} = \Sigma a_2 - (F \times \Sigma \Delta X_2)$$

$$Z_{X_n} = \Sigma a_n - (F \times \Sigma \Delta X_n)$$

- 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 cuadrículas. 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.

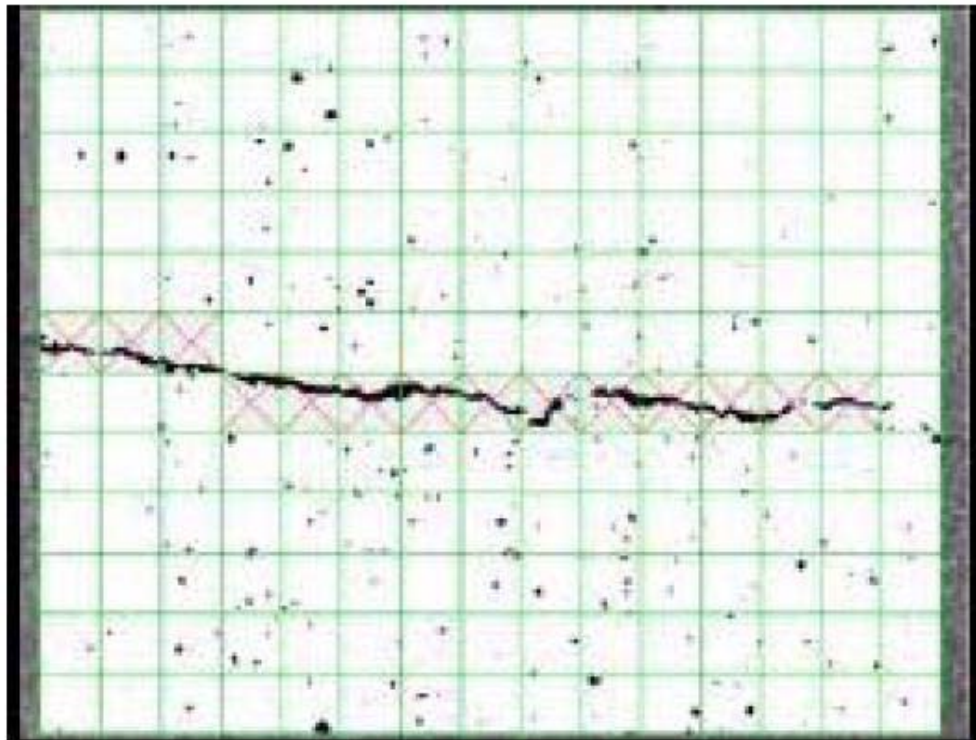
- Aplica filtros a la imagen para eliminar distorsiones en la imagen causadas por la textura del pavimento, las líneas entre carriles, sombras, etc. Además ya que el cómputo se realiza por cuadrículas, se ve menos afectado por perturbaciones de fondo debido a que pocos píxeles aislados no son suficientes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

Un filtro del medio calcula el valor medio del tamaño del filtro determinado clasificando los píxeles en orden ascendente o descendente. Entonces 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 cuadrícula 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 dividida en cuadrículas



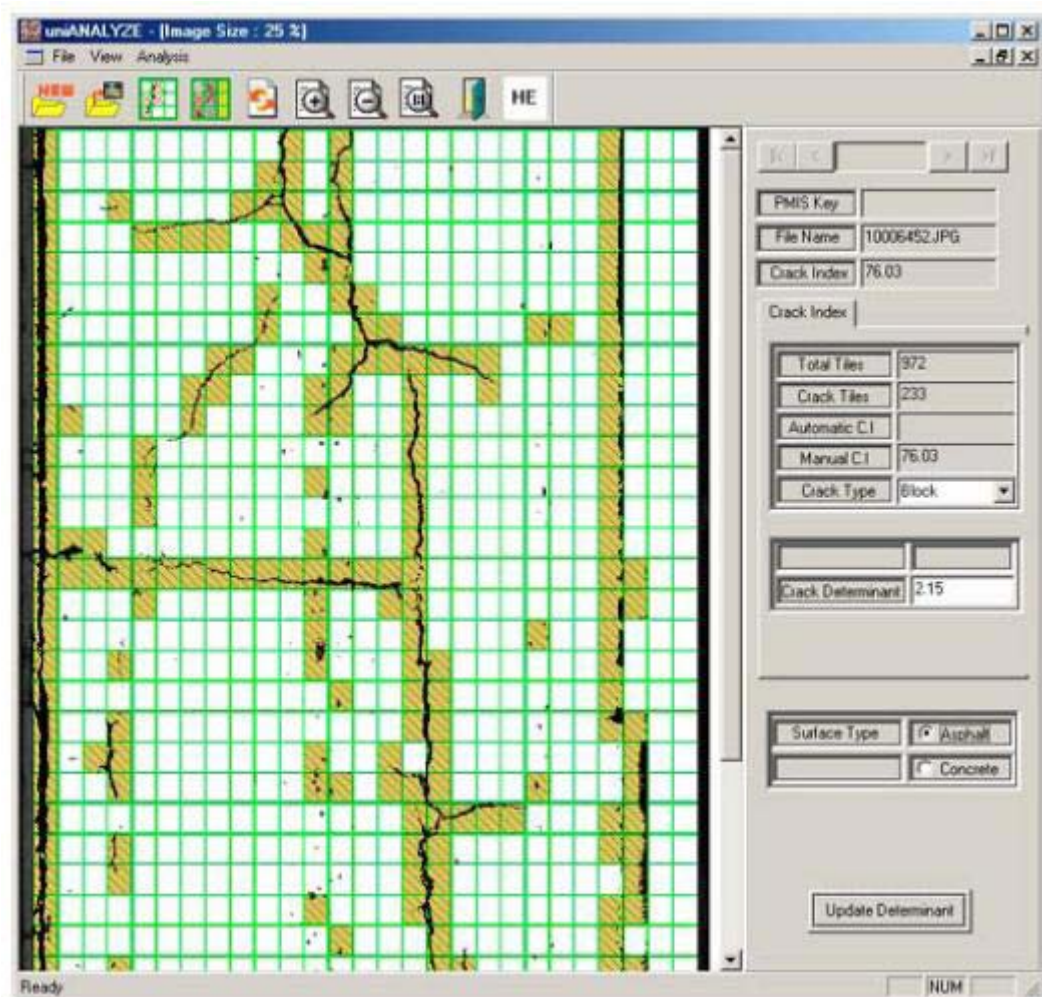
Clasificación de Fisuras.- diferenciación entre cinco tipos: sin fisuras, fisura transversal, longitudinal, piel de cocodrilo, y de bloque.

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 Implementation].

Este índice adimensional representa el porcentaje de la superficie del pavimento libre de fallas. Bajo este método uniANALYZE 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 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.

5. DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO. CARRETERA CUMBE – OÑA TRAMO I LONGITUD 20,1 Km.

Con apoyo de la empresa INEXTEC CIA. LTDA., se ha realizado una campaña de auscultación en la carretera Cumbe – Oña tramo I, ubicada en la provincia del Azuay, vía a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, con el propósito de evaluar varios aspectos tanto funcionales como estructurales, a fin de conocer la condición actual del pavimento; mediante equipos de alta tecnología facilitados por la empresa INEXTEC.

5.1 INFORMACION PRELIMINAR.

La carretera esta constituida por 2 carriles bidireccionales, los mismos que al evaluarlos se encontraban con una reconstrucción reciente.

Las Características Geométricas de la carretera se muestran en la Tabla No. 5.1.

TABLA No. 5.1.- Características Geométricas de la Carretera Cumbe - Oña

Longitud de la Vía	20.1 Km
Ancho de Vía	11.0 m
Carriles por Calzada	2
Espaldón	Sí

Esta vía es utilizada a diario por vehículos pesados, los mismos que se dirigen de zonas del Sur hacia al Norte o Viceversa.

5.2 INVESTIGACION APLICADA.

Las características actuales del pavimento existente se determinan con base a la evaluación funcional y estructural del pavimento mediante la captura de datos de campo con equipos de tecnología de punta y alto rendimiento. Estos resultados nos permitirán emitir un diagnóstico del comportamiento del pavimento. Sobre la base del diagnóstico se emitirán las recomendaciones pertinentes.

Los ensayos que se realizaron en la carretera fueron los siguientes:

- Ensayo de Deflectometría. Equipo utilizado: Deflectómetro de Impacto (FWD)
- Ensayo de Regularidad Longitudinal. Equipo utilizado: Perfilómetro Laser

- Ensayo de Perfil Transversal. Equipo utilizado: Transversal Profiler Logger
- Ensayo de Fisuración Unificado. Equipo utilizado: Digital Monochrome Scan
- Ensayo de hidrodeshlizamiento. Equipo utilizado: Péndulo Británico
- Inspección Visual Digital. Equipo utilizado: Video Filmadora
- Inspección Visual Manual

Los resultados de los ensayos se muestran en los anexos correspondientes, a continuación daremos una explicación de los mismos.

5.2.1 ENSAYOS ESTRUCTURALES.

La evaluación estructural tiene por objeto determinar la capacidad del pavimento existente y las características del suelo de subrasante, a fin de obtener parámetros que nos permita diagnosticar y diseñar la rehabilitación del pavimento, en concordancia con la evaluación funcional y de conformidad con el tráfico previsto para el período de diseño.

DEFLEXIONES Y MODULOS ELASTICOS

Mediante este ensayo se determina la capacidad estructural de pavimento. Los datos que se obtienen son:

- cuenco de deflexiones,
- carga en KN, y
- Temperatura en ° C

Mediante el deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) de la Casa Carl Bro, debidamente calibrado, se realizaron los ensayos de deflexiones a lo largo del Proyecto con una frecuencia de 50 m. en tres bolillo para los dos carriles en los dos sentidos de circulación.

Parámetros de Captura de Datos

- Altura de caída: 120 mm
- Tipo de Pavimento: Concreto Asfáltico
- Distancia recorrida por carril: 100 m
- Rango de Temperatura: 5° - 38°
- Golpes de Ensayo: 2

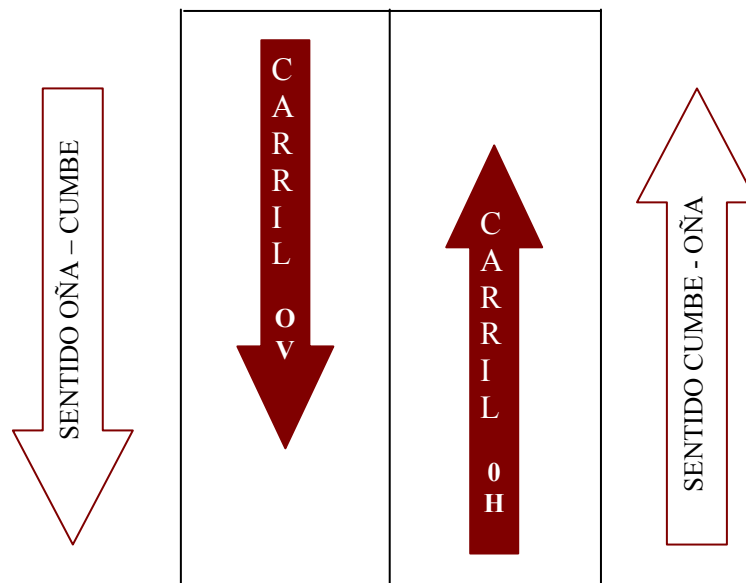
La colecta de datos se registró directamente desde el FWD hasta el programa ROSY DATA COLLETION, mientras que el procesamiento de datos y

determinación de las curvas de deflexiones y los correspondientes módulos elásticos se ejecutaron mediante retrocálculo utilizando el programa ROSY DESIGN.

Como insumos de entrada del programa se utilizaron los datos de espesores, tráfico y número acumulado de ejes equivalentes proyectados hasta el año 2015, del estudio de IAD Cia. Ltda. realizado en el año 2001.

En la Figura No.5.1 se indica la distribución de los carriles con su respectiva identificación.

FIGURA No. 5.1.- Distribución de Carriles



Los reportes respectivos se muestran en el Anexo No. 1, en el cual se presenta:

- ❖ El informe de los valores de curvas de deflexión para cada abscisa en los dos sentidos de circulación.
- ❖ Se han calculado las deflexiones representativas de cada sección con el percentil 85. Se muestran también histogramas de deflexiones y cálculo de secciones homogéneas mediante el procedimiento de las diferencias acumuladas AASHTO 93.
- ❖ Para cada sección se presentan también los módulos elásticos resultantes de las capas de pavimento, habiendo considerado un modelo de 4 capas: Carpeta asfáltica, capa granular (base+subbase), mejoramiento y subrasante.
- ❖ Finalmente se muestran los reportes gráficos del ROSY DESIGN, en los cuales se consignan los espesores de refuerzo y la vida remanente del pavimento. existente actualmente.

La Intensidad Media Diaria de Vehículos Pesados (IMDp) para todo el tramo es de 360 vehículos pesados, valor obtenido del estudio de IAD Cía. Ltda. del año 2001.

En el siguiente Tabla No. 5.2, se consignan los valores representativos de deflexiones de cada sección con el percentil 85:

Tabla No. 5.2 DEFLEXIONES MAXIMAS (umm)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	857	802
5+500 – 8+800	940	986
8+800 – 13+050	785	907
13+050 – 16+300	776	744
16+300 – 20+100	937	863

Las deflexiones son similares para los dos sentidos de circulación y no existe mucha variación entre secciones. Sus valores son menores a las registradas en el estudio del año 2001 (sin base asfáltica), cuyos valores se encontraban en el rango de 880 a 1300.

En la Norma Española, Orden Circular 9/2002 Sobre Rehabilitación de Firmes, se definen los valores límite de deflexiones sobre los cuales no existe vida remanente, en atención al tráfico de vehículos pesados. El umbral para la carretera Cumbe – Oña es de 1000 umm; con este concepto, se puede determinar que la vía se encuentra cerca del umbral del agotamiento estructural.

En el Anexo 1, se presentan los reportes correspondientes de las corridas del programa Rosy Design, en los que se muestran los módulos elásticos de las capas de pavimento y la subrasante, la capa crítica estructuralmente, los espesores de recrecimiento para cada sección homogénea y la vida remanente del pavimento. En las Tablas No. 5.3 y No. 5.4 a continuación, se resumen los módulos por carril y por secciones.

Tabla No. 5.3 MODULOS ELASTICOS CARRIL DERECHO (MPa)

	CARPETA ASFALTICA	BASE GRAN. + SUBBASE	SUBRASANTE
0+000 – 5+500	3107	67	88

5+500 – 8+800	2254	69	64
8+800 – 13+050	2274	87	69
13+050 – 16+300	1971	95	67
16+300 – 20+100	1334	118	76

Tabla No. 5.4 MODULOS ELASTICOS, CARRIL IZQUIERDO (MPa)

	CARPETA ASFALTICA	BASE GRAN. + SUBBASE	SUBRASANTE
0+000 – 5+500	2880	79	91
5+500 – 8+800	2271	68	79
8+800 – 13+050	2231	65	69
13+050 – 16+300	2288	103	76
16+300 – 20+100	1432	151	69

Como puede observarse en los Tablas 5.3 y 5.4, los valores de módulos de la capa granular (base + subbase), son muy bajos, indicando su falta de capacidad de soporte debida a su alta humedad evidenciada por el afloramiento de agua en la calzada (Ver anexo fotográfico). Los valores de la subrasante determinan un suelo homogéneo a lo largo de los dos tramos, para efectos estructurales, su condición es regular.

Esta circunstancia se confirma, con los resultados obtenidos de los ensayos destructivos realizados en el año 2001, los mismos que indican lo siguiente:

Material granular de Base

El rango de humedad del material de base se encuentra en 9 a 14 %.

El Índice de Plasticidad del sector 0+000-5+500 es NP; del 5+500-20+100 tiene una plasticidad entre 8 y 10

La capacidad de soporte CBR se halla entre 9 y 30 %, siendo el sector del Km 5 al Km. 9 el de menor capacidad de soporte con 10 %.

Como puede apreciarse el material de base no cumple especificaciones.

Material granular de Subbase

El rango de humedad del material de subbase se encuentra en 8 a 18 %

El Índice de Plasticidad del sector del Km. 4 al Km. 8 tiene índices de 3-10; el resto es NP.

Los valores CBR se hallan entre 20 y 30 %.

Como puede apreciarse el material de subbase tiene ligeramente mejores características que la base, sin embargo tampoco cumple especificaciones.

A continuación un resumen de los espesores por secciones homogéneas en el Tabla No. 5.5:

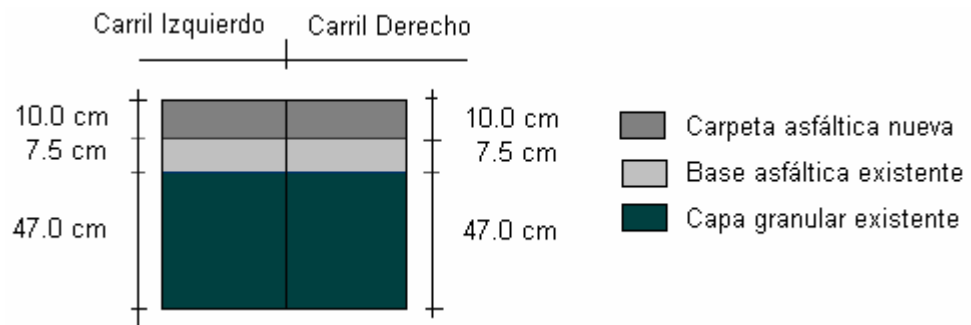
Tabla No. 5.5. ESPESORES

Abscisa		Capa Asfáltica (cm)	Capa Granular (cm)	Mejoramiento (cm)	Total Granular (cm)
Desde	Hasta				
0+000	5+500	7,50	47	258	305
5+500	16+300	7,50		34	81
16+300	20+100	9,00	53	26	79

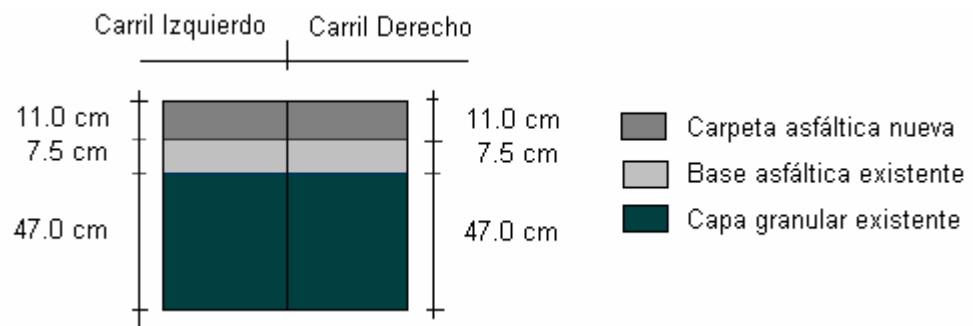
Se ingresaron los datos de secciones por espesores en el programa Rosy Design (tráfico, deflexiones, espesores y ancho de calzada), cuyas corridas fueron efectuadas para un período de 10 años. Los reportes del programa contienen: módulos de elasticidad de cada capa, vida remanente y refuerzo requerido por secciones homogéneas, todos estos valores se incluyen de manera detallada en el Anexo 1

Los espesores de recrecimiento obtenidos del Programa Rosy Design, no hacen diferenciación de capas de pavimento, sino que recomienda un espesor total de refuerzo, por lo que este análisis se ha complementado con el Método AASHTO-93, a fin de poder realizar un adecuado tanteo de posibilidades de diseño. Con información bibliográfica proporcionada por el MTOP se obtuvieron los datos de tráfico, se ha determinado una confiabilidad de 95 %, tomando en cuenta la incertidumbre existente en cuanto al tráfico y un valor del error estándar combinado de 0.49 y una pérdida de serviciabilidad de 2. El proceso de diseño del pavimento por el método ASSHTO, se muestra en el Anexo 1 y un grafico de sus resultados por sección a continuación.

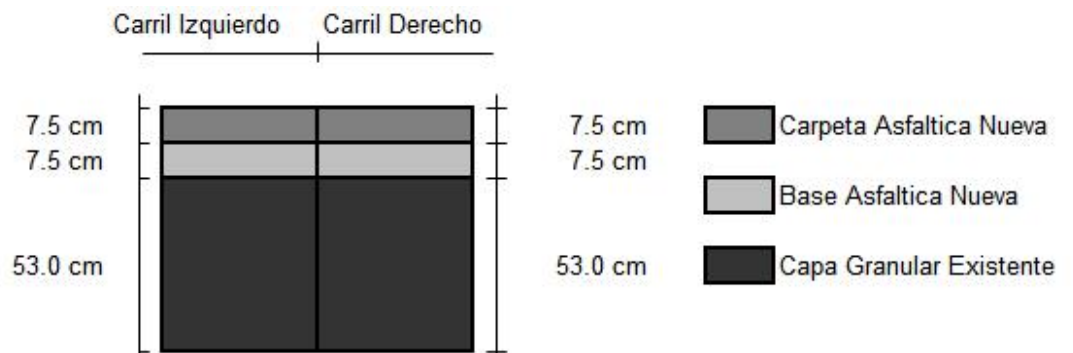
Sección 0+000 – 5+500



Sección 5+500 – 16+500



Sección 16+500 – 20+100



5.2.2 ENSAYOS FUNCIONALES.

- Índice de Regularidad Internacional (IRI)
- Surco de Huella (TPL)
- Resistencia al Hidrodeslizamiento (SRV)
- Índice Unificado de Fisuramiento (UCI)

- Video Georeferenciado

INDICE DE REGULARIDAD LONGITUDINAL (IRI en m/Km.)

Para determinar el Índice de Regularidad Internacional (IRI), se utilizó el Perfilómetro Laser. Para la ejecución del ensayo se recorrió la vía en los dos sentidos de circulación.

El IRI nos da una medida de la calidad de rodadura del pavimento, influyendo en el confort y seguridad de circulación de los usuarios, a más de que es un parámetro importante para el análisis de rentabilidad económica de una vía.

Las medidas fueron tomadas cada 10 m a lo largo del proyecto, luego se estableció un promedio por Hectómetro.

Parámetros de Captura de Datos

- Variación de la Velocidad: 10 y 70 Km/h
- Peso del Vehículo: 450 Kg
- Puntos por Kilómetro: 100

El reporte de los ensayos realizados y su procesamiento se muestra en el Anexo No. 2.

Un resumen de resultados por secciones se muestra en el siguiente Tabla No. 5.6:

Tabla No 5.6. INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

	IRI (m/Km)	
	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	3,00	3,12
5+500 – 8+800	4,36	3,97
8+800 – 13+050	4,06	3,99
13+050 – 16+300	3,95	4,28
16+300 – 20+100	6,56	7,78

Los resultados mostrados en el Tabla 5.6, indican que, en general, los valores de irregularidad longitudinal para los 2 carriles son muy similares, siendo el carril izquierdo ligeramente superior al derecho.

Entre el 0+000 y el 16+300, sector en el cual se halla colocada la base asfáltica, el IRI varía de 3,0 a 4,28. Los valores de IRI en la sección 0+000 – 5+500, se hallan dentro de lo aceptable para este tipo de vías, mientras que del 5+500 al 16+300 son altos para una pavimento recientemente rehabilitado.

La última sección, entre el Km. 16+300-20+100, tiene los valores superiores, debido a que en esta sección no se ha realizado aún la colocación de la base asfáltica.

En el gráfico de IRI se observan también los sitios en los que el pavimento presenta deterioros excepcionales debido a hundimientos, baches, etc. o drenaje insuficiente.

SURCO DE HUELLA (Rut Dep.)

La falla del pavimento denominada surco de huella, es causada por las cargas de tráfico. En gran escala y alta severidad, indica deterioro estructural del pavimento por fatiga de las capas y/o la subrasante.

La información sobre el surco de huella, fue recopilada mediante el equipo denominado Transversa Pro file Coger (TPL). El equipo es enganchado en un asta, diseñada y colocada en la parte delantera del vehículo, desde la cual se captura los datos del perfil a través de los sensores.

Las medidas fueron tomadas cada 10 m a lo largo del proyecto, luego se determino un promedio por Hectómetro

Parámetros de Captura de Datos

- Variación de la Velocidad: 10 y 70 Km/h
- Sensores Utilizados: 20 (Alas recogidas)
- Puntos por Kilómetro: 100

Los datos registrados, así como su procesamiento y reportes correspondientes, y los gráficos ilustrativos, se consignan en el Anexo No.3 y un resumen en el Tabla No. 5.7.

Se puede observar que los valores representativos de surco de huella en los 2 carriles son similares y se encuentran en magnitudes de baja y mediana severidad, a excepción de ciertos sectores en los cuales el deterioro es singular, con altas deformaciones, piel de cocodrilo y baches de alta severidad.

Lo anteriormente expresado indica que el pavimento, a pesar de que ha sido parcialmente rehabilitado con una capa asfáltica de 7,5 cm. de espesor, ya presenta deformaciones plásticas evidenciadas por los valores de surco de huella y fisuras piel de cocodrilo (Ver Anexo fotográfico).

A continuación, en el Tabla No. 5.7, se presenta un resumen de los valores de surco de huella promedio para cada sección y carril.

Tabla No. 5.7. SURCO DE HUELLA (mm)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	13,67	13,89
5+500 – 8+800	16,45	16,77
8+800 – 13+050	16,12	15,59
13+050 – 16+300	14,43	16,65
16+300 – 20+100	14,22	15,55

RESISTENCIA AL HIDRODESLIZAMIENTO (SRV)

La resistencia al patinaje o hidrosdeslizamiento de la superficie de una vía es la medida de la habilidad del pavimento para prevenir el patinaje y simplemente es el coeficiente de fricción entre la llanta y la superficie de la vía ante la presencia de agua.

Este parámetro ha sido medido mediante el Péndulo Portable de Comprobación Portátil (Portable Skid Resistance Tester PSRT), desarrollado por el TRRL. El equipo es de tipo manual.

Las medidas fueron tomadas cada 500 metros, cada uno de los carriles, en las curvas, pendientes altas y en los sitios de mayor incidencia de frenado.

Con este ensayo se obtiene el Coeficiente de Fricción Longitudinal (CFL) y el Coeficiente de Fricción Transversal (CFT), que determinan si la fricción del pavimento es aceptable o no.

Los reportes se muestran en el Anexo No.4, y un resumen de los valores resultantes para cada tramo y carril se presenta a continuación:

Tabla No. 5.8. RESISTENCIA AL HIDRODESLIZAMIENO SRV

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	65	62
5+500 – 8+800	62	64
8+800 – 13+050	69	67
13+050 – 16+300	70	68
16+300 – 20+100	58	57

El valor admisible para el de tráfico y características geométricas y de operación de esta vía, es $SRV > 55$. Por lo tanto la superficie de rodadura en este caso, tiene suficiente resistencia al patinaje en presencia de lluvia, a todo lo largo del estudio.

INDICE UNIFICADO DE FISURACION (UCI)

El Índice Unificado de Fisuración (UCI en %), desarrollado por la AASHTO, da una medida del grado de fisuración del pavimento, siendo que un UCI de 100 indica que no existen fisuras, mientras que el valor de 0 representa un fisuramiento total.

El equipo utilizado para este ensayo fue el Scanner Láser, consiste de una cámara de alta resolución montada en un pedestal de tal manera que registra imágenes del pavimento mientras avanza el vehículo. Dichas imágenes son procesadas mediante un programa computacional para determinar el porcentaje de fisuración correspondiente.

Las medidas fueron tomadas a lo largo del proyecto en forma continua, luego se obtuvo un promedio por Hectómetro.

Parámetros de Captura de Datos

- Variación de la Velocidad: 10 y 60 Km/h
- Altura de Asta: 3.65 m
- Intensidad de Luz: 0.001 milisegundo – 0.1 segundo

En el Anexo V se muestran los reportes y gráficos de los ensayos y a continuación, en el Tabla No. 5.9 se presenta un resumen de los valores obtenidos.

Si bien los valores reportados expresan que el pavimento está en condiciones generales buenas, es necesario tomar en cuenta que estos reportes son un ponderación de toda la sección, siendo necesario observar en los gráficos y las tablas de valores de UCI por abscisas (Anexo No. 5) para darnos cuenta que existen sectores con fisuras piel de cocodrilo, deformaciones y baches más del afloramientos de agua en la calzada, acompañada de inicios de fisuramientos.

Tabla No. 5.9. INDICE UNIFICADO DE FISURACION (UCI)

	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO
0+000 – 5+500	99,56	98,90
5+500 – 8+800	99,34	98,97
8+800 – 13+050	99,20	99,26
13+050 – 16+300	99,18	99,47
16+300 – 20+100	99,80	99,86

REGISTRO EN VIDEO

El equipo de video consiste de una cámara que registra las imágenes al mismo tiempo que se realiza la captura de datos de Irregularidad longitudinal, transversal y GPS.

El video digitalizado sincroniza todos los datos recolectados y muestra información con las características de la carretera de acuerdo con las imágenes de la vía, tales como: velocidad, distancias, información del GPS, etc. El documental de video se anexa en archivo magnético.

Parámetros de Captura de Datos

La captura de datos a través de este equipo dependerá del nivel de ensayo. Los datos a obtener están entre otros:

- Puntos Referenciales (pueblos, puentes, etc.)
- Baches

- Parches
- Etc.

Se ha realizado un registro de eventos georeferenciados mediante el GPS, habiendo obtenido un catálogo actualizado de Baches y Parches, cuyos reportes se encuentran en el Anexo No. VI. Estos datos son de mucho valor para la determinación y localización de los tratamientos adecuados para corregir fallas existentes de los pavimentos previos a eventuales refuerzos posteriores.

5.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.3.1 CONDICIÓN ACTUAL.

En este tramo la intervención de rehabilitación efectuada es la Alternativa 2, recomendada en el estudio del año 2001, es decir la colocación sobre el pavimento existente de 7,5 cm. de base asfáltica y 7,5 cm. de capa de rodadura de hormigón asfáltico. Actualmente se tiene colocada la capa de base asfáltica, sin que se haya realizado bacheo y sellado de fisuras.

Los reportes del RoSy Design de INEXTEC (Anexo 1), obtenidos en base al estudio deflectométrico indica refuerzos sobre la base asfáltica actual de 10,0 cm. para la sección 0+000 a 9+500 y 8,0 cm. entre las abscisas 9+500 a 16+100, lo cual es un poco superior a los 7,5 cm. del diseño original y para el tramo del 16+100 al 20+100 una capa de 7,5 de rodadura y otra de 7,5 cm de base asfáltica nueva.

De las evaluaciones estructurales aplicadas se revela que la solución de pavimentos, es deficitaria, puesto que acusa insuficiencia en el espesor de pavimento, sumado al hecho de que se contrato un recapeo de hormigón asfáltico sobre una base granular a la vista de los propios diseños con una capacidad resistente totalmente disminuida, CBR entre 10 y 15 sobre 100; lo cual debió inducir a una intervención de estabilización previa de la base granular.

Otra característica gravitante de esta rehabilitación esta marcada por el hecho de que no se ejecutaron las actividades previas de mantenimiento como son el bacheo y sellado de fisuras, antes de la colocación de la base asfáltica, lo cual ha dado lugar al apareamiento de fallas prematuras evidenciadas por los fisuramientos, surcos de huella y baches que se observan en la calzada, localizados especialmente en las secciones estructuralmente deficitarias. Esto se explica además en el hecho de que estas capas granulares han trabajado como capas de carga directa (solamente con DTSB) prácticamente desde su construcción, evidenciado por la pérdida de compacidad, capacidad portante y elevada condición de humedad.

Es evidente en la situación actual que los alcances de las intervenciones de mantenimiento y construcción de las obras de drenaje vial, es muy limitada, lo cual contribuye al rápido deterioro de la base asfáltica, en un entorno más lluvioso y matizado por elevada humedad en el terreno.

Por estos motivos es necesario que para el tramo que aún no está rehabilitado, se estudie la posibilidad de realizar actividades de mejoramiento del drenaje y/o subdrenaje y ejecutar un tratamiento de la base granular a fin de dotarle de la capacidad estructural adecuada mediante la inclusión de cemento o alternativamente densificación de las capas granulares de base y sub-base, para incrementar su resistencia a las tensiones horizontales.

5.3.2 CONDICIÓN FUTURA.

Disponer la ejecución de los trabajos suficientes de mantenimiento, construcción complementaria y correctiva del drenaje longitudinal, así como el subdrenaje en la zona lateral del camino, a fin de contribuir al drenaje interno del pavimento.

Ejecutar con los trabajos de bacheo mayor y menor, incluyendo según el caso la estabilización de la base granular, ya mediante recompactación o recompactación más estabilización con cemento, para controlar su contaminación y exceso de humedad, antes de la reposición de la base asfáltica. Para el efecto, en el Anexo VI, bajo el título de Catálogo de Baches y Parches, se tiene un registro completo georeferenciado con abscisados en los sitios de bacheo mayor y menor y sello de fisuras.

Evitar el bacheo superficial cuando es evidente la necesidad de intervenir en la base granular, proporcionándole todo el atributo técnico a las tareas de mantenimiento, mediante un estricto seguimiento de normas.

Concluidos los trabajos a nivel de base asfáltica se recomienda la colocación de un sello simple de impermeabilización como actividad previa a la colocación del refuerzo estructural.

5.3.3 RECOMENDACIONES

En la capa asfáltica existente, que se encuentra a nivel de base asfáltica, se recomienda la colocación de un sello simple de impermeabilización como actividad previa a la colocación del refuerzo estructural resultante en las secciones 1 y 2 es decir 10, 11 cm respectivamente y para la sección 3 un refuerzo de 7.5 cm de base asfáltica y luego una capa de rodadura de 7,5 cm, de hormigón asfáltico mezclado en planta, de acuerdo a la metodología AASHTO-93.,

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.

6.1 ASPECTOS BÁSICOS.

Hoy en día, las carreteras constituyen el principal modo mundial de transporte. Tienen una importancia crucial, no sólo para nuestras economías, sino también en nuestra vida cotidiana, ya que permiten acceder a servicios tan esenciales como la salud y la educación, a los bienes básicos y a las instalaciones de ocio.

El desarrollo sostenible debe basarse en carreteras proyectadas, construidas y explotadas en armonía con el medio ambiente, en una adecuada ordenación territorial y en la satisfacción de las demandas sociales. Con el fin de identificar las vías adecuadas para conciliar los requisitos del desarrollo económico y social con la protección medio-ambiental.

Para satisfacer las expectativas de los usuarios de la carretera y las demandas de la sociedad relativas a desplazamientos rápidos y seguros, los explotadores de las redes de carreteras se deben esforzar por construir redes transitables, con capacidad adecuada y vías seguras, con información precisa a los usuarios en tiempo real, con infraestructuras sostenibles y no perjudiciales para el medio ambiente.

Es evidente que las carreteras son necesarias para hacer llegar los servicios sociales a las comunidades y para el transporte de mercancías a las mismas o desde ellas.

En cada fase del desarrollo económico, las Administraciones de Carreteras tienen que contribuir a la satisfacción de las expectativas de la comunidad. En general, durante las primeras fases los esfuerzos se centran principalmente en aspectos económicos. En las fases siguientes, las expectativas que hay que satisfacer consisten en una compleja combinación de aspectos socioeconómicos con otros relacionados con la salud y con el medio ambiente.

Se debe tener claro que dentro del marco de la carretera, existen varios agentes encargados de la gerencia de la misma entre ellas los líderes políticos, los profesionales del transporte y principalmente los usuarios que son los indicados a exigir y beneficiarse directamente de la carretera.

Para los líderes políticos:

- Es necesario proceder a un importante cambio desde una mentalidad orientada hacia las obras públicas a una mentalidad orientada hacia los servicios de movilidad. Para realizar una transición de esta magnitud, los organismos de transporte gubernamentales y privados tendrán que ejercer un importante liderazgo –en el que es fundamental el papel de los líderes políticos– y encontrar el apoyo necesario del público.
- Es preciso definir la explotación de las redes e integrarla en las políticas de los organismos, así como en sus procesos y programas. Esto tendrá un importante impacto sobre los presupuestos y los recursos humanos.
- La nueva orientación exigirá la evaluación de la eficacia desde el punto de vista de los clientes y no sólo teniendo en cuenta la eficacia de las instalaciones.

- Será necesario realizar mediciones de la eficacia para modos múltiples y organismos interdependientes, lo cual exigirá la colaboración y cooperación entre organismos.
- El cambio de política hacia el cobro de los servicios a los usuarios abre nuevas posibilidades para la gestión de la demanda y de la movilidad, además de nuevas posibilidades para la financiación de las instalaciones de transporte.
- Existe una urgente necesidad de fomentar las asociaciones entre las administraciones de carreteras, la industria automovilística y otros actores clave, con el fin de explotar las nuevas tecnologías en beneficio de la movilidad sostenible.
- Es necesario dar mayor relieve al concepto de la explotación de redes.
- Debe otorgarse la máxima prioridad a compartir información sobre los conceptos, las prácticas más adecuadas, las ventajas y las fuentes de financiación referentes a la explotación de redes.
- Sería conveniente introducir módulos sobre la explotación de redes en las conferencias internacionales sobre las carreteras y el transporte, con objeto de compartir las experiencias de muchos países.
- La publicación de manuales en varios idiomas y en distintos medios, incluido Internet, podría facilitar la comprensión de los conceptos y ventajas eventuales de la explotación de redes.
- Las organizaciones internacionales pueden impulsar visitas de estudio internacionales, que resultarían de gran ayuda para la transferencia de know-how.

Para los profesionales del transporte:

- A los profesionales del transporte les corresponderá poner en práctica las políticas, explotar los sistemas y medir realmente la eficacia. En consecuencia, los conceptos de la explotación de redes tendrán que reflejarse en los planes, programas y plantillas de los organismos.
- La transición desde una explotación de redes orientada hacia las obras públicas a otra orientada hacia el servicio al cliente exigirá un proceso continuo de aprendizaje y formación.
- Los profesionales deberán adquirir y mantener al día los conocimientos relativos a las nuevas herramientas y tecnologías, tales como los Sistemas de Transporte Inteligentes.
- Las nuevas tecnologías ofrecen oportunidades para mejorar la eficacia de las redes y para aumentar la seguridad vial. Por consiguiente, las Administraciones de Carreteras deberán trabajar en colaboración con la industria automovilística y con otras industrias para satisfacer los objetivos (desde lo que se refiere a los vehículos hasta la infraestructura de comunicaciones).
- Será necesario elaborar y perfeccionar mecanismos que permitan definir expectativas de los clientes que se puedan medir y evaluar la satisfacción de éstos.

- Los establecimientos de enseñanza y formación tendrán que modificar sus programas de estudios relativos al transporte para incluir en los mismos los conceptos, prácticas, herramientas y técnicas de la explotación de redes.
- Existe una urgente necesidad de establecer una participación permanente de los explotadores de redes en las actividades de investigación y desarrollo (incluidas las aplicaciones de demostración).

Conclusiones Varias

- Existe una presión creciente sobre las Administraciones de Carreteras para que demuestren una utilización óptima de sus recursos, la cual dependerá de los resultados económicos en las fases de nacimiento y crecimiento y de la consecución de un conjunto más equilibrado de resultados en el campo económico, en el social, en el de la salud y en el medioambiental en las fases posteriores de desarrollo de la red.
- Las Administraciones de Carreteras han respondido bien a las fuerzas externas, ya que se están produciendo reformas institucionales.
- Es importante que en el futuro aumente la implicación del sector privado y de la comunidad.
- Las Administraciones de Carreteras deben desarrollar las capacidades de su personal para hacer frente a los cambios en los imperativos políticos y de obtención de resultados.
- El transporte sirve para satisfacer las necesidades de la sociedad y sólo puede ser sostenible en tanto en cuanto cumpla esta función

6.2 OBSERVACIONES.

El crecimiento del tráfico por carretera está aumentando los esfuerzos a los que se ve sometido el pavimento, lo cual, a su vez, influye en los gestores de las carreteras y en los órganos de decisión a la hora de adjudicar los limitados recursos financieros disponibles para conseguir, de manera sostenible, niveles aceptables de seguridad, comodidad de conducción y ruido provocado por el tráfico. Por otra parte, el establecimiento de nuevos contratos de gestión de las redes viarias en los que se incluyen especificaciones funcionales agudiza aún más la necesidad de disponer de datos de calidad sobre el estado de las carreteras. De ahí la necesidad de una mayor aplicación de las tecnologías disponibles para la inspección a alta velocidad del estado de las carreteras, con el fin de obtener los datos necesarios con un coste reducido y con los menores trastornos posibles para el desarrollo normal del tráfico. Las Administraciones de Carreteras deberían promover y apoyar el desarrollo de tecnologías adecuadas para abordar los diferentes aspectos del deterioro superficial.

En una serie de países se dispone ya de prototipos de sistemas de alta velocidad para la detección de grietas en carreteras pavimentadas. Sin embargo, es necesario abordar también la evaluación de otros modos de deterioro de los firmes, tales como la pérdida de material superficial y el

deterioro de los bordes de la carretera. Debería examinarse asimismo la posibilidad de disponer de versiones robustas y reducidas de estos equipos para evaluar las necesidades de conservación de las redes viarias insuficientemente financiadas. La mayor disponibilidad de estos equipos y su utilización más extensa conducirán probablemente a prácticas de conservación más eficaces y sostenibles.

El desarrollo nacional evoluciona generalmente desde una economía agrícola e industrial hasta una economía basada en el conocimiento, pasando por una economía de servicios. Estas economías dan lugar a transportes por carretera de diferentes características y éstos, a su vez, condicionan la gestión de carreteras que se aplica en cada país

El crecimiento del tráfico, sobre todo el del tráfico por carretera, está superando cada vez más los umbrales medioambientales, económicos y financieros aceptables. El enfoque adecuado de este problema consistiría en integrar los diversos modos de transporte, y para conseguirlo se hace necesario establecer más asociaciones con el fin de estimular una competencia leal. El transporte combinado, los aparcamientos disuasorios, las terminales, las plataformas intermodales y los corredores constituyen ejemplos muy concretos de esta tendencia. Los requisitos previos para conseguirlo son el establecimiento de precios justos y rentables para todos los modos de transporte y la planificación intermodal para ello se hace necesario:

- Determinar las necesidades relativas a la gestión de carreteras en el caso de carreteras con poco volumen de tráfico o de vías sin pavimentar y establecer la diferencia entre contexto urbano y el rural.
- La **tecnología** sigue siendo un arma fundamental dentro del arsenal necesario para dar soluciones innovadoras y apropiadas a las demandas de crecimiento y conservación de las redes con presupuestos cada vez menores.
- Estudiar las necesidades específicas de gestión en los puntos nodales que interconectarían diferentes modos de transporte (aéreo, marítimo, por vía navegable y ferroviario) con las carreteras.

"La vía hacia el desarrollo empieza con el desarrollo de las carreteras"

La creciente tendencia hacia la utilización de especificaciones relativas al producto final y a las características funcionales en la construcción y en la gestión de las carreteras hace que resulte esencial disponer de sistemas precisos y coherentes para el seguimiento del estado de éstas. Esto incluye la necesidad de procedimientos adecuados de aseguramiento de la calidad, para garantizar la correcta calibración de los equipos y el control apropiado de los datos recogidos por los equipos en relación con dicho estado. Todas las partes implicadas tienen muy claras las ventajas que se derivarían de la armonización de las evaluaciones; en consecuencia, el trabajo futuro debería orientarse hacia nuevos avances en este campo, especialmente en lo que se refiere a la medición del deterioro de la superficie de las carreteras.

Las técnicas de medición de las características superficiales, no sólo se deben realizar en las carreteras sino también en las pistas de aeropuertos, tanto en los países desarrollados como en los países en vías de desarrollo.

6.3 ACTIVIDADES RECOMENDABLES.

- Desarrollar, por medio del sector público, marcos legales e institucionales más eficaces.
- Mejorar el intercambio de experiencia y conocimientos relativos a la evaluación, a los sistemas de recogida de datos y a la financiación de proyectos.
- Identificar herramientas que aumenten la capacidad de las Administraciones de Carreteras para abordar de manera funcional la prevención de riesgos (sistemas de transporte inteligentes y otros).
- Investigarse sobre medidas de análisis y evaluación de riesgos que sean útiles para evaluar los riesgos en las carreteras.
- Tener en cuenta la mayor participación, tanto de la comunidad como del sector privado, en la planificación, la financiación y la realización de mejoras en el transporte por carretera.
- Para contar con buenas vías es indispensable que la durabilidad de los pavimentos corresponda a las proyecciones de diseño y que se realicen oportunamente las labores de mantenimiento. De lo contrario, no hay suma de dinero que alcance.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Ingeniería de Pavimentos para carreteras, 2ª edición, Alfonso Montejo Fonseca
2. ROMDAS for Windows User's Guide, Versión 0.9e. Prepared By C.R. Bennet and Reviewed by P. Hunter.
3. Historia del Metro. CENAMEP. Prof. Ing. Anselmo Araolaza e Ing. Lourdes Muñoz
4. Incremental Encoders. CoreTech Sick.
5. Gillespie, T. D., Sayers, M. W. and Queiroz, C. A. V., "The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and Calibration Standard for Measurement." The World Bank, Technical Report No. 45, 1986, 453 p.
6. Paterson, W. D. O., "International Roughness Index: Relationship to Other Measures of Roughness and Riding Quality." Transportation Research Record 1084, 1986.
7. Sayers, M. and Gillespie, T. D., "The Effect of Suspension System Nonlinearities on Heavy Truck Vibration." Seventh IAVSD Conference on the Dynamics of Vehicles on Roads and on Tracks, Cambridge, U. K, Proceedings, 1981, 13 p.
8. Sayers, M. S., "Two Quarter-Car Models for Defining Road Roughness: IRI and HRI." Transportation Research Record 1215, 1989, pp. 165-172.
9. Sayers, M.W., "On the Calculation of International Roughness Index from Road Profile." Transportation Research Record 1501, (1995) pp. 1-12.
10. Sayers, M.W., et al., Guidelines for Conducting and Calibrating Road Measurements. World Bank Technical Paper Number 46, (1986) 87 p.
11. Sayers, M.W. and S.M. Karamihas, Interpretation of Road Roughness Profile Data. Federal Highway Administration Report FHWA/RD-96/101, (1996) 177 p.
12. Sayers, M.W. and S.M. Karamihas, The little book of profiling, October 1996, 101 p.
13. Gillespie, T. D., Everything you always wanted to know about IRI, but were afraid to ask!, The University of Michigan Transportation Research Institute, Presented at the Road Profile Users Group Meeting, September 22-24, 1992, Lincoln, Nebraska, 13 p.
14. Solminihać d H., Gestión de Infraestructura Vial, Universidad de Chile,

15. Lee, H., Standardization of Distress Measurements for the Network – Level Pavement Management System, ASTM STP 1121, American Society for testing and Materials, West Consohocken Pa, 1992, 13p
16. McGhee, K. H., Automated Pavement Distress Collection Techniques, A Systemsis of Highway Practice, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington D.C, 2004, 99p
17. Lee, B. J., Lee, Housin D., A Robust Position Invariant Artificial Neural Netwrok for Digital Pavement Crack Analysis, TRB 2003 Annual Meeting, July 2003
18. uni AMS User´s Guide, Adhara Systems Inc., Santa Clara CA, April 2004
19. Hadley, W.O. y Myers, M.G. (1991). Estimaciones de Profundidad del Surco de Huella Desarrollado de los Datos de Perfil de Cruz. Programa de Actuación de Pavimento de Término Largo de SHRP Memorándum Técnico AU-179 ,Fundación de Investigación y Desarrollo de Texas, Austin.

ANEXO I

EVALUACION ESTRUCTURAL:

1. DEFLEXIONES

2. MODULOS ELASTICOS

3. DISEÑO AASHTO

DEFLEXIONES

MODULOS ELÁSTICOS

DISEÑO AASHTO

ANEXO II

EVALUACIÓN FUNCIONAL:

INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

ANEXO III

EVALUACIÓN FUNCIONAL:

SURCO DE HUELLA

ANEXO IV

EVALUACIÓN FUNCIONAL:

RESISTENCIA AL HIDRO- DESLIZAMIENTO

ANEXO V

EVALUACIÓN FUNCIONAL:

INDICE UNIFICADO DE FISURAS

ANEXO VI

EVALUACIÓN FUNCIONAL:

CATALOGO DE BACHES Y PARCHES

ANEXO VII

REPORTE FOTOGRAFÍCO