

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



***Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos
con Herramienta HDM-4 para la Red Vial Nro. 5 Tramo
Ancón – Huacho – Pativilca.***

**PROYECTO DE TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR
BACHILLER JORGE EDUARDO MONTOYA GOICOCHEA**

LIMA – PERU

2007

INDICE

	Pág.	
INTRODUCCIÓN.....	10	
OBJETIVOS.....	13	
 <u>CAPITULO I</u>		
GENERALIDADES.....	14	
 1.1. LOS SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA Y LA DINAMICA DEL DESARROLLO SOCIAL.....		14
1.1.1 Sistema de Transporte.....	15	
1.1.2 Sistema de Actividades.....	15	
1.1.3 Estructura de Flujos.....	16	
 1.2. EL PAVIMENTO COMO ELEMENTO DE ANALISIS PARA LA GESTION.....		19
 1.3. DEFINICION DE PAVIMENTO.....		20
1.3.1 Clasificación.....	22	
 1.4. PAVIMENTO FLEXIBLE.....		23
1.4.1 Terminología, Función y Características de las Capas de un Pavimento flexible.....	23	
 <u>CAPITULO II</u>		
SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS.....	29	
 2.1 ANTECEDENTES.....		29
 2.2 LOS PAVIMENTOS Y SU NECESIDAD DE CONSERVACION.....		31
 2.3 GESTION DE PAVIMENTOS.....		31
2.3.1 Conceptos Básicos.....	34	
2.3.2 Características.....	36	
 2.4 CONCEPTO DE SISTEMA.....		37
2.4.1 Concepto de Sistemas.....	38	
2.4.2 Metodología de Sistemas.....	40	
2.4.3 Herramientas Analíticas para la Implementación de Sistemas.....	43	
2.4.4 Aplicación del Concepto de Sistema a la Gestión de Pavimentos.....	45	

2.5 SISTEMAS DE INFORMACION	47
2.5.1 Concepto de Información.....	47
2.5.2 Flujos de Información.....	48
2.5.3 Sistemas de información.....	49
2.5.4 Implementación de un sistema de información.....	51
2.5.5 Uso de los Sistemas de información dentro de la Gestión de Pavimentos.....	53
 2.6 ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS	 56
 2.7 DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS	 60
 2.8 PARAMETROS DEL SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS	 62
 2.9 EL SISTEMA DE GESTION DE CARRETERAS DEL MTC (Route 2000)	 63
2.9.1 Subsistemas.....	64
2.9.1.1 SIC: Subsistema de Inventario Calificado.....	64
2.9.1.2 SPL: Subsistema de Planeamiento.....	68
2.9.1.3 SAM: Subsistema de Administración y Mantenimiento.....	71
2.9.2 La Recolección de Parámetros de la Red Vial Nacional para la Alimentación de la Base de Datos del SGC del MTC.....	74
 2.10 REGLAMENTACION PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION	 77
 <u>CAPITULO III</u> EVALUACION TECNICA DE INFRAESTRUCTURA VIAL	 82
 3.1 GENERALIDADES	 82
3.1.1 Definición de Infraestructura Vial.....	82
3.1.2 Requerimientos de Información.....	83
3.1.3 Objetividad de la Evaluación.....	84
 3.2 SOLICITACIONES	 86
3.2.1 Tránsito.....	86
3.2.1.1 Efectos de las cargas en pavimentos.....	87
3.2.1.2 Análisis de Demanda.....	94
3.2.1.3 Proyección.....	97
3.2.1.3.1 Tasa de Crecimiento.....	98

3.2.1.4	Cuantificación de los Volúmenes de Demanda.....	98
2.2.1.5	Definición de Ejes Equivalentes.....	99
3.2.1.5.1	Factor de Equivalencia de Carga.....	100
3.2.1.5.2	Factor Camión.....	102
3.2.1.5.3	Cálculo de Ejes Equivalentes.....	103
3.2.2	Medio Ambiente.....	103
3.2.2.1	Efectos de la temperatura.....	103
3.2.2.2	Efectos de la Humedad.....	103
3.3	CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE DISEÑO.....	106
3.4	EVALUACION FUNCIONAL.....	108
3.4.1	Serviciabilidad de los Pavimentos.....	109
3.4.1.1	El Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	114
3.4.1.1.1	Equipos para Evaluar la Rugosidad.....	116
3.4.1.1.2	Clasificación de Equipos para Evaluar la Rugosidad de Pavimentos.....	122
3.4.1.2	Relaciones entre PSI e IRI.....	124
3.4.2	Seguridad Vial.....	125
3.4.2.1	Conceptos Básicos: Adherencia, Fricción y resistencia al Deslizamiento.....	126
3.4.2.2	Indicadores de Textura Superficial de Pavimento.....	129
3.4.2.3	Influencia de diferentes factores en la resistencia al deslizamiento.....	132
3.4.2.4	Formas de Medición.....	134
3.5	EVALUACION ESTRUCTURAL.....	138
3.5.1	Influencia de las Características Geotécnicas.....	139
3.5.1.1	Estabilidad de cortes.....	141
3.5.1.2	Estabilidad de terraplenes.....	143
3.5.2	Métodos De Evaluación Estructural.....	145
3.5.3	La Deflexión.....	147
3.5.3.1	Concepto de la deflexión.....	147
3.5.3.2	Análisis de deflexión.....	148
3.5.3.3	Propósito del análisis de deflexión.....	150
3.5.3.4	Evolución de los ensayos de deflexión.....	150
3.5.3.5	Tipos de modelos de carga para análisis de deflexión.....	152
3.5.3.5.1	Modelo de carga cuasiestática.....	152
3.5.3.5.2	Modelo de carga vibratoria.....	154
3.5.3.5.3	Modelo de carga de impulso.....	155
3.5.3.5.4	Modelo de carga móvil.....	156
3.5.3.6	Conclusión comparativa de equipos de modelos de carga para el análisis de deflexión.....	158
3.5.3.7	Correlaciones entre equipos.....	159
3.5.3.8	Factores que influyen en la determinación de las deflexiones.....	162
3.5.3.8.1	Carga.....	162

3.5.3.8.2	Temperatura.....	163
3.5.3.8.3	Condiciones del pavimento.....	165
3.5.3.9	Aplicaciones de la Evaluación Estructural.....	166
3.5.3.9.1	El área del cuenco de deflexiones.....	167
3.5.3.9.2	El Método YONAPAVE.....	171

CAPITULO IV

TECNICAS DE CONSERVACION.....196

4.1 GENERALIDADES.....196

4.2 GRUPOS DE CONSERVACION.....197

4.2.1 Restauración.....197

4.2.2 Rehabilitación.....200

4.2.3 Reconstrucción.....201

4.3 TECNICAS DE CONSERVACION.....201

4.3.1 Sellado de Fisuras y Grietas.....201

4.3.2 Bacheo202

4.3.3 Tratamientos Superficiales202

CAPITULO V

EVALUACION ECONOMICA.....206

5.1 GENERALIDADES.....206

5.2 DESARROLLO DE UN ANALISIS ECONOMICO.....208

5.2.1 Descripción de la Situación General.....209

5.2.2 Problemas, Metas y Beneficios Potenciales del Proyecto.....210

5.2.3 Análisis de Alternativas.....211

5.2.4 Análisis, Pronóstico y Evaluación de Impactos de las Alternativas.....212

5.2.5 Análisis de Sensibilidad.....216

5.2.6 Retroanálisis.....217

5.3 CRITERIOS DE DECISION ECONOMICA.....218

5.3.1 Valor Presente Neto.....218

5.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....219

5.3.3 Relación Beneficio Costo (B/C).....220

5.4 EVALUACION SOCIAL Y PRIVADA DE PROYECTOS VIALES.....220

5.4.1 Evaluación Social.....221

5.4.2 Evaluación Privada.....222

<u>CAPITULO VI</u>	
LA HERRAMIENTA HDM-4.....	225
6.1 ALCANCE.....	225
6.2 ANTECEDENTES.....	226
6.3 ESTRUCTURA GENERAL DEL HDM-4.....	229
6.3.1 Módulo de Redes de Carreteras.....	231
6.3.2 Módulo de Flotas.....	234
6.3.3 Módulo de Estándares de Conservación y Mejora.....	237
6.3.3.1 Estándares de Conservación.....	238
6.3.3.2 Estándares de Mejora.....	239
6.3.4 Módulo de Configuración.....	240
6.3.5 Módulo de Análisis de Proyectos.....	241
6.3.6 Módulo de Análisis de Programas.....	243
6.3.6 Módulo de Análisis de Estrategias.....	244
6.4 MODELO DE DETERIORO.....	247
6.4.1 Modelos de deterioro del Pavimento.....	248
6.4.2 Parámetros principales de la Modelización.....	252
6.4.3 Procedimiento del cálculo.....	255
6.5 DESCRIPCION DE LA EVOLUCION DE LOS DETERIOROS.....	257
6.5.1 Fisuramiento.....	259
6.5.2 Desprendimiento.....	261
6.5.3 Baches.....	263
6.5.4 Rotura del Borde.....	265
6.5.5 Ahuellamiento.....	267
6.5.6 Rugosidad.....	270
6.5.7 Profundidad de la textura.....	271
6.5.8 Coeficiente de Rozamiento Transversal.....	271
6.6 FACTORES DE CALIBRACION DE LOS DETERIOROS.....	272
<u>CAPITULO VII</u>	
METODOLOGIA, CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS PARA LA RED VIAL Nro. 5 ANCON – HUACHO – PATIVILCA.....	274
7.1 METODOLOGIA Y CRITERIOS PARA LA EJECUCION DEL INVENTARIO CALIFICADO.....	274
7.1.1 Brigada para referenciación y clasificación.....	277
7.1.2 Brigada para el dimensionamiento y suficiencia de drenaje.....	284

7.1.3	Brigada para evaluación de Rugosidad.....	287
7.1.4	Brigada para la evaluación de microtextura con péndulo inglés.....	290
7.1.5	Brigada para la evaluación superficial de fallas del pavimento.....	293
7.1.6	Brigada para ensayos de deflectometría.....	298
7.2	ELECCION DE PARAMETROS PARA LA HOMOGENIZACION DE TRAMOS.....	302
7.2.1	Evaluación de Comportamiento.....	303
7.2.1.1	Serpentín.....	305
7.2.1.2	Variante.....	305
7.2.1.3	Chancay – Huacho.....	306
7.2.1.4	Primavera – Dv. Ámbar.....	307
7.2.1.5	Huacho – Primavera y Dv. Ámbar – Pativilca.....	308
7.2.2	Incidencia de los parámetros en función al transito pesado.....	309
7.2.3	Parámetros para la Homogenización de Tramos.....	310
7.3	ORDENAMIENTO, FILTRACION Y VALIDACION DE DATOS.....	312
7.3.1	Ordenamiento de datos por medio del formato de inventario calificado.....	312
7.3.2	Filtración y Validación de Datos.....	314
7.4	OBTENCIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS.....	315
7.5	EXPORTACION DE DATOS AL HDM-4.....	328
7.5.1	Análisis de la Problemática Presentada.....	328
7.5.2	Ingreso de Datos al Programa.....	329
7.5.2.1	Ingreso de Datos a Redes de Carreteras.....	330
7.5.2.2	Ingreso de Datos a Parque de Vehículos.....	335
7.5.2.3	Ingreso de Datos para Estándares de Trabajo.....	335
7.5.2.4	Ingreso de Datos a Configuración.....	339
 <u>CAPITULO VIII</u>		
METODOLOGIA, CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS PARA EL MANEJO DE LA HERRAMIENTA HDM-4 DENTRO DE LA GESTION DE PAVIMENTOS PARA LA RED VIAL Nro. 5 ANCON – HUACHO – PATIVILCA.....		
8.1	BASE DE DATOS.....	343
8.2	CALIBRACION DE TRAMOS.....	345

8.3 CALIBRACION DE EFECTOS DE TRABAJO.....	349
8.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION.....	354
8.5 LOGICA DE PROCEDIMIENTO.....	358
8.5.1 Recomendaciones.....	360
8.6 DETERMINACION DE LA INVERSION TOTAL MEDIANTE EL ANALISIS DE ESTRATEGIA.....	362
8.6.1 Selección de Tramos.....	363
8.6.2 Alternativas Seleccionadas.....	363
8.6.3 Elección de Método de Optimización.....	364
8.6.4 Generación de informes.....	365
8.6.4.1 Inversión Total.....	365
8.6.4.2 Programa de Trabajos.....	367
8.7 PROBLEMÁTICA PLANTEADA EN EL ANALISIS DE PROYECTO.....	371
 <u>CAPITULO IX</u>	
APLICACIÓN DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS EN EL TRAMO II DE LA RED VIAL Nro.5.....	374
9.1 ASPECTOS.....	374
9.2 PROBLEMÁTICA.....	375
9.3 METODOLOGIA.....	375
9.4 PROCEDIMIENTO.....	376
9.5 APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL TRAMO II EN EL PLANEAMIENTO Y EJECUCION DEL MANTENIMIENTO PERIODICO 2007.....	381
 <u>CAPITULO X</u>	
MISCELANEOS.....	384
10.1 CONCLUSIONES.....	384
10.2 RESUMEN.....	388
10.3 TERMINOLOGIA HDM	391
10.4 BIBLIOGRAFIA.....	394
Referencias Bibliográficas.....	394
Referencias de Internet.....	397

INTRODUCCIÓN

Al planificar el mantenimiento y la rehabilitación en un programa plurianual los ingenieros de pavimentos se enfrentan con la decisión de determinar *qué tramos* de la carretera deben ser reparados, *cuándo* deben realizarse las reparaciones y *qué tipos* de reparaciones o tratamiento deben usarse. Se trata de un problema importante debido al amplio escenario de combinaciones entre las posibles elecciones entre el gran número de secciones homogéneas existentes en la carretera y los diferentes tratamientos de reparación posibles.

La gestión de pavimentos constituye una de las funciones más importantes en las organizaciones operadoras de carreteras. Los sistemas de gestión de pavimentos son un conjunto de procedimientos y herramientas que tienen como propósito asistir a estas organizaciones en la aplicación sistemática de procesos relacionados con este aspecto.

Entre los principales componentes de un sistema de gestión pueden mencionarse: un conjunto de programas de cómputo para la

información requerida por el sistema; herramientas de análisis para la predicción del deterioro de pavimentos; evaluación económica de proyectos carreteros, y la formulación de programas. El sistema HDM-4 desarrollado bajo los auspicios de diferentes organizaciones internacionales de carreteras y entidades financieras, y comercializado por la Asociación Mundial de Carreteras, PIARC, constituye una alternativa muy atractiva para implementar las herramientas de análisis de los sistemas de gestión de pavimentos.

Una de las principales desventajas del HDM-4 consiste en que su aplicación implica un número elevado de datos de entrada (del orden de 800 para una aplicación común), muchos de los cuales es necesario obtener en campo a costos frecuentemente prohibitivos. De lo anterior se desprende la necesidad de estudiar la sensibilidad de los modelos internos del HDM-4 a fin de jerarquizar cada uno de los parámetros que intervienen en ellos, de acuerdo con su impacto en los resultados del sistema, y generar un listado de las variables cuyos valores resulta indispensable obtener en campo o en gabinete a fin de garantizar la validez de los resultados generados.

Un objetivo principal de la gestión de pavimentos a nivel de Proyecto es la elaboración de listas de actividades para obtener resultados óptimos y asegurar que los pavimentos proporcionen el nivel de servicio esperado aprovechando al máximo el periodo de vida útil; para lo cual deben contemplarse operaciones de mantenimiento correctivo y

preventivo. Debe enfatizarse la importancia de la adecuada planificación y programación de las actividades relacionadas con los pavimentos incluyendo el mantenimiento de rutina, el periódico y la rehabilitación.

Con motivo de mantener un nivel de calidad y garantizarse los límites admisibles en los parámetros indicadores de la condición del pavimento, existe la necesidad de implementar el Sistema de Gestión de Pavimentos para la administración de la concesión Ancón - Huacho - Pativilca que abarca una longitud aproximada de 285.66 km/calzada de pavimento flexible; para el manejo y la optimización de las actividades, las cuales serán determinadas desde el punto de vista técnico-económico. La tesis centrará su atención en el desarrollo de este tema, tomando como punto de partida la metodología, seguido por su aplicación y la interpretación de resultados.

OBJETIVOS

- 1.- Implementar el Sistema de Gestión de Pavimentos a *Nivel de Proyecto Específico*, a fin de justificar las actividades a ejecutarse en posteriores mantenimientos, lo cual es solicitado por la Entidad Concesionaria.
- 2.- Adaptar la Base de Datos a la Nueva Monumentación impuesta el año 2004.
- 3.- Elaborar Formatos de recolección de parámetros para el inventario calificado a fin de alimentar la base de datos; las cuales, reflejarán la verdadera condición funcional y estructural del pavimento para su interpretación en la herramienta HDM-4.
- 4.- Calibración de la herramienta HDM-4 con valores reales estadísticos de la Concesión.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. LOS SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA Y LA DINAMICA DEL DESARROLLO SOCIAL

No cabe duda de que el desarrollo económico y social de las comunidades ha estado siempre vinculado al mejoramiento de los sistemas de transporte. Las comunidades crecen en lo cultural, en lo social y en lo económico a medida que exista posibilidad de comunicarse y trasladarse. Lo anterior nos puede llevar a la conclusión de que el crecimiento de una región puede verse limitada por insuficiencia de medios de comunicación, ya sea interna o externamente a otras comunidades vecinas.

El modelo de Manheim es un claro ejemplo de la relación entre el sistema de transporte y el desarrollo social; señala que la dinámica social de una ciudad, una región, un país o una comunidad en general puede ser entendida a partir de las relaciones que se verifican entre tres variables esenciales:

Sistema de Transporte,
Sistema de Actividades, y
Estructuras de Flujo.

1.1.1 Sistema de Transporte: el sistema de transporte puede ser analizado a partir de tres elementos: infraestructura, vehículos o equipos y operación. La infraestructura corresponde a los elementos físicos que sirven de soporte físico a los vehículos; como las calles, carreteras, las vías férreas, los puertos y aeropuertos. Los equipos o vehículos son los dispositivos que realizan el desplazamiento propiamente tal de las personas y las mercaderías; como los automóviles, los buses, trenes, barcos y aviones. La operación o gestión corresponde a la manera en que se ordenan y operan los vehículos sobre la infraestructura; ejemplo los semáforos y la señalización, los sistemas de control de tráfico aéreo y ferroviario.

Al identificar estos elementos se puede afirmar que intervenciones o transformaciones en cualquiera de ellos implican intervenciones y modificaciones dentro del Sistema de Transporte.

1.1.2 Sistema de Actividades: el Sistema de Actividades (movimiento de personas, bienes, etc.) está relacionado con la realidad económico social de la o las comunidades analizadas. Entre los aspectos que lo definen destacan la cantidad y características de la población, el nivel de ingreso, la actividad económica y el uso del suelo, entre otros.

1.1.3 Estructura de Flujos: la estructura de flujos corresponde a las características que definen los viajes que efectivamente se producen en la o las comunidades analizadas: orígenes, destinos, modos, rutas, cantidades de pasajeros y carga transportados. Sin embargo, esta definición es incompleta si no se asocia al concepto de Nivel de Servicio; sin duda no es lo mismo transportar una cierta cantidad de pasajeros entre un par origen-destino específico en 10 minutos que en una hora. El nivel de servicio está asociado a los atributos que los usuarios perciben por realizar el viaje, entre los que se puede mencionar: el tiempo de viaje, costos de operación, tarifa, peajes, comodidad, seguridad, etc.

Las definiciones recién presentadas indican el carácter dinámico de estas. Es decir, en una comunidad se está permanentemente en presencia de modificaciones ya sea sobre el sistema de transporte, el sistema de actividades o la estructura de flujo. Estas modificaciones están muchas veces relacionadas entre sí, distinguiéndose tres relaciones fundamentales de causa-efecto:

- **Relación de Tipo 1:** la interacción entre el sistema de transporte y el sistema de actividades define una cierta estructura de flujo operando a un determinado nivel de servicio.

Por ejemplo, la construcción de una línea de Metro en determinada ciudad. Tal situación es capaz de producir mejoras en el nivel de

servicio y por lo tanto variar la estructura de flujo producto del cambio de modo de algunos usuarios. Por otra parte, una modificación en el uso del suelo de un lugar puede generar proyectos inmobiliarios que hagan variar la localización dentro de la ciudad y con ello los orígenes y destinos dentro de la ciudad.

- **Relación de Tipo 2:** variaciones en la estructura de flujo pueden generar variaciones en el sistema de actividades, producto de variaciones en el nivel de servicio o en los recursos consumidos en la provisión de dichos servicios. Por ejemplo, una disminución de los tiempos de viaje a un determinado lugar puede motivar el desarrollo inmobiliario habitacional de dicho lugar.

- **Relación de Tipo 3:** cambios en la estructura de flujo pueden motivar transformaciones del sistema de transporte a lo largo del tiempo. Es el caso de la planificación que realizan los agentes de gobierno y privados, en términos de responder a las necesidades de transporte que se prevé ser necesario cubrir en el futuro. Estas tres relaciones se muestran en la siguiente figura:

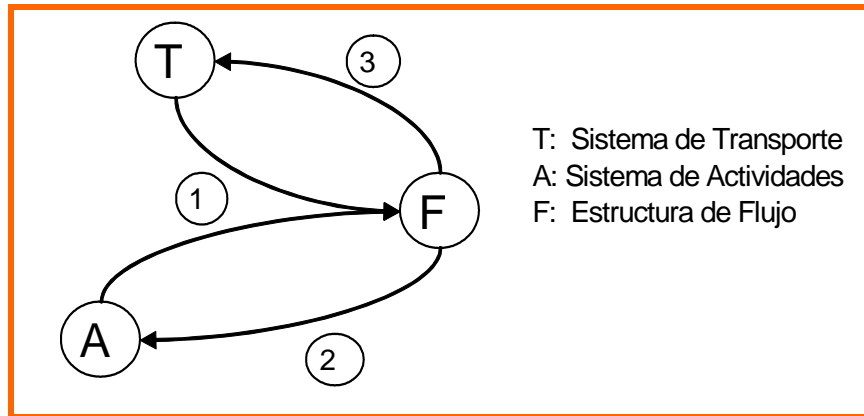


Fig. 1: Relaciones entre el Sistema de Transporte, el Sistema de Actividades y la Estructura de Flujo

Si bien existen muchos otros factores que influyen en el desarrollo y transformación de las comunidades sociales, este sencillo modelo da una idea respecto a la responsabilidad que tienen los planificadores e interventores de las comunidades, particularmente aquellos relacionados con la infraestructura de transporte.

Las buenas decisiones en materia de infraestructura pueden generar grandes beneficios a toda la comunidad; por el contrario, decisiones equivocadas pueden tener efectos muy peligrosos, sobre todo en el largo plazo. “El desafío de análisis de sistemas de transporte es intervenir delicada y deliberadamente en la sociedad, con el objeto de que al usar su sistema de transporte en forma efectiva, coordinadamente con otras acciones publicas y privadas, se alcancen las metas de dichas sociedad”.¹

¹ Fundamentals of Transportation Systems Analysis - Manheim M. L.

1.2. EL PAVIMENTO COMO ELEMENTO DE ANALISIS PARA LA GESTION

Con el pasar del tiempo, los países desarrollados se han dado cuenta de que una buena gestión de infraestructura es indispensable para el desarrollo tanto económico como social de las regiones, debido a esto su preocupación por dicha operación ha tomado gran importancia, se han desarrollado un sinnúmero de sistemas que tienen como objetivo optimizar los recursos para lograr que los caminos cumplan su función al 100%. Los sistemas mencionados anteriormente requieren del desarrollo continuo de tecnología para estudiar, analizar y comprender el comportamiento de todos los elementos de la infraestructura. Sin perjuicio de lo anterior, el elemento básico dentro de la infraestructura vial son los pavimentos, en torno a ellos se generan todos los elementos mencionados anteriormente. Esta importancia se debe a la funcionalidad que cumple el pavimento dentro de la operación de un camino, es este el que entrega la superficie requerida para el desplazamiento de los diferente medios de transporte; del pavimento dependen la mayoría de los costos de usuario, asimismo es el pavimento el que requiere la mayor cantidad de recursos económicos y financieros tanto para su construcción como para su mantenimiento y por esto el desarrollo de tecnologías en la infraestructura vial tiene como un objetivo primordial el comportamiento del pavimento.

Por esto es que, gran parte de los estudios enfocan la explicación del comportamiento del pavimento, así como en los diferentes elementos que influyen en este.

El actual sistema de transporte incluye los medios marino, aéreo y terrestre; de ellos, el marino y las vías de ferrocarril no hacen uso de pavimentos. Es decir, los demás medios de una u otra forma incluyen el uso del pavimento dentro de su funcionamiento, por lo cual necesitan sistemas de gestión de pavimentos que permitan un funcionamiento adecuado, controlando la inversión que tal manutención requiere y los costos en que los usuarios incurren de acuerdo al estado en que estos se encuentran.

Para cada medio de transporte se requieren diferentes tipos de estructuras que van desde losas de aeropuerto hasta puentes. Todos ellos requieren de una conservación apropiada que asegure a los usuarios serviciabilidad y seguridad.

1.3. DEFINICION DE PAVIMENTO

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Esta descansa sobre el terreno de fundación.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, adecuada adherencia entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas, presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, además de tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en los rellenos además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

1.3.1 Clasificación

Dividiremos a los pavimentos en dos clases:

- Pavimentos Flexibles,
- Pavimentos Rígidos, y
- Pavimentos Mixtos

Esta división, si bien es un tanto arbitraria, la hemos adoptado por ser la mas conocida y generalizada.

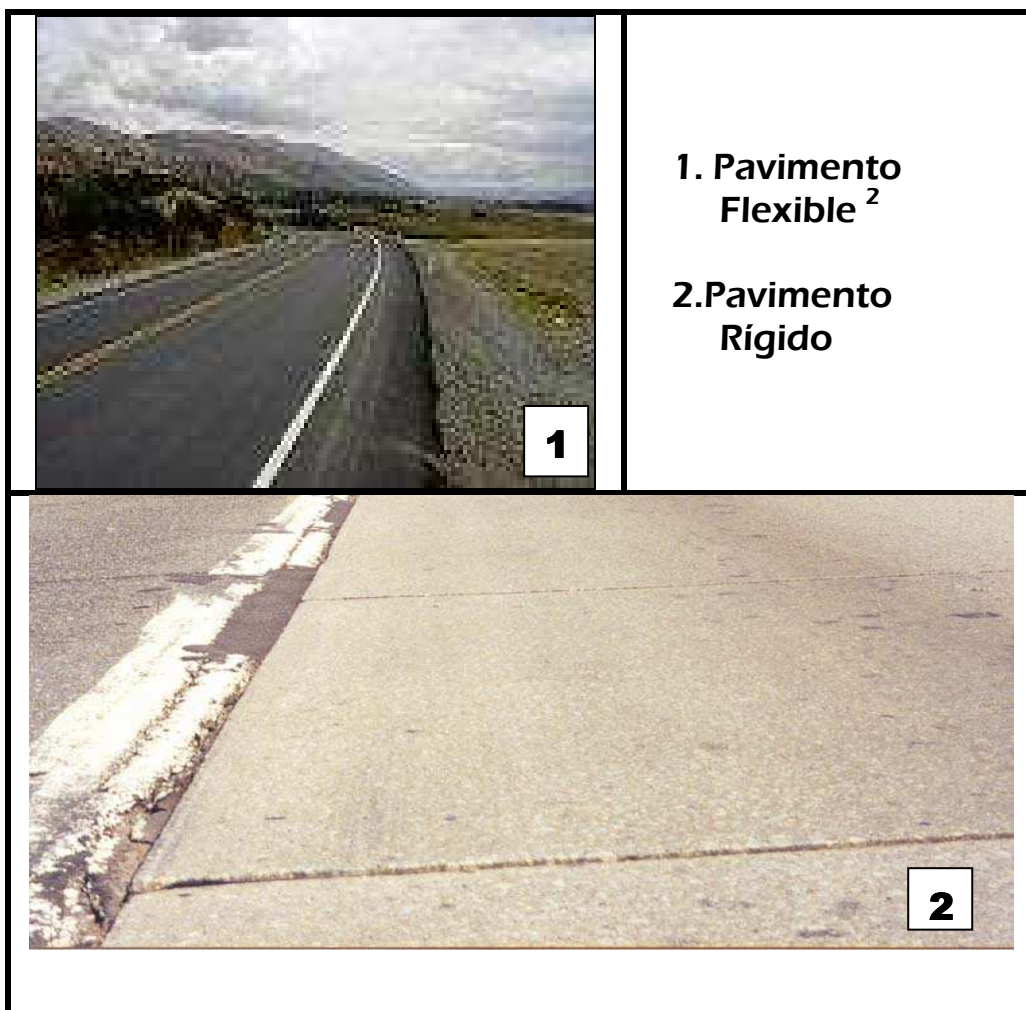


Fig. 2: Ejemplos de Pavimentos

² www.mtc.gob.pe/portal/logypro/logros.htm

1.4. PAVIMENTO FLEXIBLE

Son aquellos pavimentos que tienen una base flexible o semi rígida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de alquitrán o asfalto.

1.4.1 Terminología, Función y Características de las Capas de un Pavimento flexible

Se define de la manera siguiente:

Terreno de Fundación:

Aquel que sirve de fundación al pavimento después de haber sido terminado el movimiento de tierras y que, una vez compactado, tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

De su capacidad depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Si el terreno de fundación es pésimo; por ejemplo, si el material que lo compone tiene un alto contenido de materia orgánica, debe desecharse este material y sustituirse por otro de mejor calidad. Si el terreno de fundación es malo y se halla formado por un suelo fino, limoso o arcilloso, susceptible de saturación, habrá de colocarse una sub-base granular de material seleccionado antes de poner la base y la capa de rodamiento.

Si el terreno de fundación es regular o bueno y esta formado por un suelo bien graduado que no ofrece peligro de saturación, o por un material de granulometría gruesa, posiblemente no se requerirá la capa de sub-base.

Finalmente, si el terreno de fundación es excelente; es decir, que tiene un valor soporte elevado y no existe, además, la posibilidad de que se sature de agua, bastaría colocar encima la capa de rodamiento.

Resumiendo lo expuesto anteriormente, tendremos que:

- a) Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone, siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.
- b) Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub-base de material seleccionado antes de poner la base.
- c) Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub-base.
- d) Si es excelente, podría prescindirse de la base y sub-base.

Sub-base

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante. Tiene por objeto:

- a) Servir de capa de drenaje al pavimento.
- b) Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.
- c) Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es grande.

El material de la sub-base, debe ser seleccionado y tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser: arena, grava, escoria de los altos hornos, o residuos de material de cantera. En algunos casos, es posible emplear para sub-base el material de la subrasante mezclado con cemento, etc.

Base

Esta capa se coloca por encima de la sub-base, tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación.

Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

Por lo general, para la capa de base se emplea piedra triturada, grava o mezclas estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso, etc.

Capa de Rodamiento

Su función primordial será la de proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones de agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Asimismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad de carga del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (mayor de 3").

Tipos de Mezclas Bituminosas

Los tipos de mezclas bituminosas generalmente empleados para las capas de rodamiento de pavimentos flexibles, son los siguientes:

- a) *Tratamientos superficiales en una o varias capas, con o sin carpeta de sello.*- Los asfaltos y alquitranes que se emplean, son los llamados líquidos o diluidos (Cut-backs) del tipo de rápido curado (RC) y emulsiones CRS. El espesor de estas capas es de 2.5 cm. (1"),

aproximadamente. Este tipo se emplea, comúnmente, para tránsito ligero.

b) *Macadam de penetración*.- Son sucesivas capas de material pétreo y asfalto regado a presión. Los asfaltos que se emplean son aquellos cuya penetración está comprendida entre 85 y 150. El espesor de estas capas varía entre 6 y 15 cm.(2.5" y 6").

c) *Mezclas "in situ" de tipo abierto o denso*.- Generalmente, se emplean asfaltos líquidos de rápido y medio curado(RC y MC). El espesor varía, aproximadamente, entre 4 y 7.5 cm.(1.5" y 3").

d) *Mezclas "en planta" de tipo denso o abierto, aplicadas "en frío" o "en caliente"*.- Para láminas asfálticas (sheet asphalt), concretos bituminosos, etc. Pueden usarse algunos asfaltos líquidos, pero preferentemente se emplean cementos asfálticos cuya penetración está comprendida entre 85 y 200. El espesor es, generalmente, mayor de 5cm (2").

Carpeta de desgaste o sello

Esta formada por una aplicación bituminosa de asfalto o alquitrán, y tiene por objeto sellar la superficie, impermeabilizándola, a fin de evitar la infiltración de las aguas de lluvia. Además, protege la capa de rodamiento contra la acción abrasiva de las ruedas de los vehículos.

Los materiales bituminosos que se emplean pueden ser asfaltos líquidos, emulsiones, y de penetración.

Estos materiales son aplicados por medio de un distribuidor a presión, en cantidades que varían de 0.5 a 1.5 litros por metro cuadrado, según las características de la capa sello.

Los sellos pueden o no llevar una cubierta secante (blotter) de arena o agregado fino. En caso de colocarse una cubierta de material pétreo, la cantidad a emplearse varia, generalmente, entre 5 y 10 kg/m².³



Fig. 3: Diagrama digital de la estructura de un pavimento flexible

³ Carreteras, Calles y Aeropistas: Raúl Valle Rodas

CAPITULO II

SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS

2.1 ANTECEDENTES

Los primeros en advertir la necesidad de mantener y administrar las vías fueron los romanos, quienes debían administrar una compleja red que consistía en distintos tipos de calzadas. La administración del sistema era perfecta, en las provincias dependía de los gobernadores y en cada zona municipal de los magistrados locales. La conservación se realizaba en forma permanente por una organización de capataces y camineros, además se debe agregar que la circulación estaba debidamente controlada, ya que se fijaban el número de animales de tiro, y la dimensión y la forma de los vehículos.

En definitiva, se generó un sistema de gestión adecuado a la época que cumplía con el objetivo de mantener en óptimas condiciones la Red Vial. Otro precursor, y tal vez el iniciador de un sistema de gestión de pavimentos moderno, fue Pierre M. Jerome Tresaguet (1716-1796). Inspector General de Caminos de Francia desde 1775, quien reconoció

la necesidad de un mantenimiento permanente y continua de las vías para un servicio apropiado; él, con el apoyo de Napoleón, generó el desarrollo de un gran sistema de caminos franceses.

En Estados Unidos durante 1920, se dio inicio a la organización de un esfuerzo de investigación en el área de los pavimentos, con el fin de mejorar el diseño, el mantenimiento y construcción de caminos. El desarrollo de la investigación comprendió una variedad de estudios empíricos y teóricos, entre los que se incluyen principalmente los desarrollados en los años 1950 y 1960 por la American Association of State Highway Officials (AASHTO). A partir de esa investigación se han desarrollado programas de mantenimiento, los que con el tiempo se siguen ejecutando, habiendo variado sólo en su nivel de detalle y formalidad, así como en el nivel de tecnología utilizado, el cual ha ido avanzando aceleradamente permitiendo adecuar las estrategias a dichos avances. Un punto clave en el tema es la introducción de las computadoras, las que han permitido el desarrollo de procesos con un amplio número de datos, con extensos cálculos, simulaciones y otros; que han facilitado la labor apreciablemente.

La misión moderna de la gestión de pavimentos como la conocemos en la actualidad nace de un estudio de la AASHTO en 1966, a través de un programa de investigación. "National Cooperative Highway Research Program" (NCHRP), con la idea de proveer las bases teóricas para extender los resultados de la famosa prueba AASHTO realizada en

Otawa. Illinois, entre 1958 y 1961. Haas y Hudson en su libro "Pavement Management System" publicado en 1978, introdujeron definitivamente este concepto en la Ingeniería Vial.

2.2 LOS PAVIMENTOS Y SU NECESIDAD DE CONSERVACION

Los pavimentos tienen por propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, por tal motivo es importante realizar labores de conservación adecuadas y oportunas sobre ellos.

El concepto de conservación de pavimentos significa la acción de cuidar que su aptitud de servicio se prolongue durante el tiempo requerido, lo cual implica un esfuerzo de preocupación de los encargados y un desembolso de recursos importante por parte de la agencia responsable. Los caminos son vitales para la comunidad y afectan el bienestar económico y el desarrollo de la misma, por este motivo los administradores tienen la responsabilidad de dar al público el mejor servicio posible con los fondos disponibles. Los caminos son uno de los subsistemas del sistema global de transporte, a él se agrega el subsistema de vehículos que transitan por la vía, formando ambos lo que se conoce como el costo global del sistema de transporte. Dentro de dicha premisa se inserta la necesidad de construir caminos de buena calidad e intervenir en ellos cada vez que sea necesario, a fin de mantener las condiciones apropiadas para los usuarios. Mientras exista demanda de parte de ellos, es conveniente crear y seguir un esquema de conservación de la red que garantice lo siguiente:

- Adecuada conservación de los caminos de la red a un costo apropiado.
- Que la red vial sea mantenida siguiendo un programa de largo plazo.
- Que se optimice los costos y beneficios del sistema, racionalizando el uso de recursos.
- Que exista un permanente control de los efectos sobre el medio ambiente
- Que se implemente un control de la efectividad de la conservación.

En una sociedad intensamente motorizada como la nuestra, la trascendencia que se debe otorgar a la conservación de carreteras es fundamental. El patrimonio vial del país se ha enriquecido considerablemente y sigue creciendo en una progresión importante, con ello se pone de manifiesto la necesidad de disponer de una completa información del estado de vías y estructuras, así como de un plan de acción de conservación que permita la prevención y corrección de deterioros oportunamente. Con este objetivo se utilizan los sistemas de gestión, que sirven de herramienta para ayudar tomar la decisión, seleccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y fijando sus prioridades, dentro de las disponibilidades económicas de la entidad administradora, sea ésta pública o privada.

Puesto que los pavimentos son diseñados para tener una duración determinada, la no realización de un mantenimiento adecuado significará que en el corto plazo el pavimento entregará un servicio menor al esperado. Esta situación incentiva la creación de la gestión de pavimentos.

Se entienden por gestión de pavimentos todas aquellas acciones de conservación que aplicadas en el tiempo mantienen un nivel de servicio adecuado, tanto en el aspecto funcional como estructural. En la fig. 4 se presenta un gráfico que representa la forma general en que se deterioran los pavimentos, en el se puede observar que los primeros años el deterioro es lento; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado, llegando rápidamente al término de la vida útil del camino.

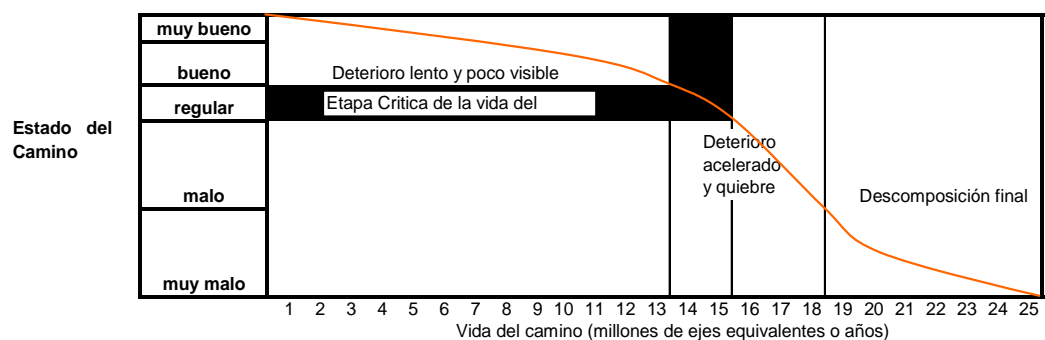


Fig. 4 Esquema de Deterioro de un pavimento en el tiempo⁴

⁴ Caminos: un nuevo enfoque para la gestión: Schielssler, A

2.3 GESTION DE PAVIMENTOS

Se considera normalmente que un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión. Todo lo anterior minimizando los costos monetario, social y ecológico.

Antiguamente el estado del pavimento se apreciaba visualmente, las técnicas de refuerzo eran primarias y limitadas (bacheo o tratamientos superficiales simples básicamente) y los problemas ecológicos sólo eran tomados en cuenta de acuerdo a la conciencia de los ingenieros (que se sintieran más o menos comprometidos con la causa). En la actualidad la situación ha cambiado, el estado de la carretera se mide a través de una multitud de parámetros específicos, las posibilidades técnicas de reparación y conservación son múltiples y el tema ecológico ha cobrado una relevancia fundamental, de aquí que los sistemas de gestión de pavimentos hayan evolucionado en una medida similar.

2.3.1 Conceptos Básicos

El concepto de "gestión de pavimentos" ha evolucionado en forma acelerada en los últimos veinte años combinando todas las actividades para proveer y administrar pavimentos. Su objetivo básico es usar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de las

decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo y en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas, como medio de asegurar su efectividad. Se puede agregar que gente experimentada puede generar programas racionales pero para una red extensa se hace imprescindible organizar la información. En caso de no existir un programa de gestión, se cuenta sólo con decisiones aproximadas producto de soluciones limitadas para el mantenimiento, lo cual es de dudosa efectividad en las condiciones de restricción de presupuesto en que generalmente se trabaja.

La planificación de la gestión de pavimentos otorga beneficios, tales como:

- Recopila un conjunto de información, la cual puede ser compartida dentro de la organización, entre instituciones o el público en general.
- Logra los mejores beneficios con el dinero disponible.
- Puede dar a conocer las consecuencias de una u otra medida de conservación en base a experiencias similares anteriores.

Además la gestión de pavimentos es un proceso global que incluye todas aquellas actividades involucradas en proporcionar caminos, entre las que se cuentan: adquisición de información inicial, planificación y programación de mantenimiento, rehabilitación y nueva construcción,

diseño de detalles de proyectos individuales y de seguimiento periódico de pavimentos existentes. La gestión identifica las mejores estrategias priorizándolas para su implementación.

En la Figura 5, se presentan las principales actividades de un sistema de gestión de pavimentos.

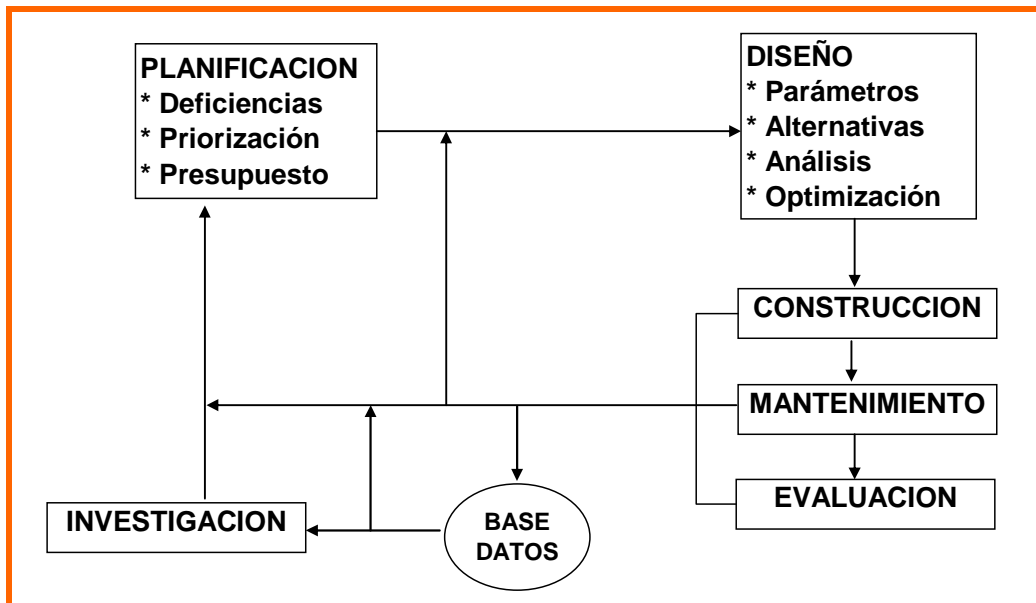


Fig. 5: Diagrama simplificado de principales actividades que componen un sistema de gestión de pavimentos

2.3.2 Características

La gestión de pavimentos debe ser capaz de ser usada por el organismo a cargo de los distintos niveles y contribuir a la toma de decisiones respecto de los proyectos individuales y de la red en que se encuentran insertos dichos proyectos. Por otra parte, la utilización de un adecuado sistema de gestión sobre los caminos permitirá obtener el óptimo rendimiento de los recursos invertidos, valorando para tal efecto a los diversos costos involucrados. Para conseguir un adecuado sistema de gestión es útil conocer algunos de sus requerimientos esenciales:

- Capacidad de ser fácilmente utilizado, posibilitando agregar y actualizar datos y modificarlo con nueva información sin mayor complicación.
- Capacidad de considerar estrategias alternativas dentro de la evaluación.
- Capacidad de identificar la estrategia o alternativa óptima.
- Capacidad de basar sus decisiones en procedimientos racionales, con atributos, criterios y restricciones cuantificables.
- Capacidad de usar información de retroalimentación para conocer las consecuencias de las decisiones.

Los pavimentos son estructuras complejas que involucran muchas variables: combinaciones de cargas que soportan, solicitaciones de medio ambiente, materiales y formas de construcción, mantenimiento, etc. Y es importante entender claramente los factores técnicos y económicos que involucran su construcción, explotación y mantenimiento para poder hacer una apropiada gestión de los pavimentos.⁵

2.4 CONCEPTO DE SISTEMA

Antes de continuar analizando las principales características de la gestión de pavimentos, se pretende introducir el concepto de sistemas, que fue la base con que se desarrolló esta nueva disciplina de la ingeniería vial.

⁵ Modern Pavement Management: Haas, R

2.4.1 Concepto de Sistemas

En general un sistema es un "modelo de ordenamiento que se aplica en una determinada organización que opera en un entorno cambiante" y comprende una colección de elementos interrelacionados, los cuales operan en conjunto para lograr el objetivo. La efectividad de cada uno de dichos elementos depende de cómo actúa cada uno en el conjunto. Al aplicar la teoría de sistemas se logra simplificar una situación para poder analizar y comprender sus implicancias en el entorno. A fin de explicar un poco más la idea, se muestra la Fig. 6.

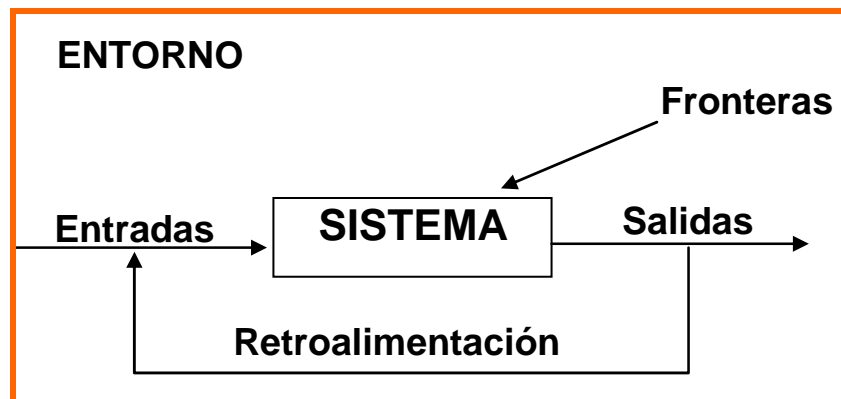


Fig. 6: Modelo general de Sistemas⁶

En la figura se distinguen:

- *Entorno*: es el medio en que está inserto el sistema en cuestión.
- *Fronteras*: corresponden a las restricciones o limitaciones que distinguen al sistema de su entorno, definen qué pertenece o no al mismo.

⁶ Sistemas de Información, Conceptos e Implicancias para la Empresa: Kovacevic, A

- *Entradas:* son los elementos que ingresan al sistema. corresponde a los necesarios para que éste cumpla con sus objetivos.
- *Salidas:* son los resultados que otorga el sistema, en base a los datos de entrada.
- *Proceso:* es la actividad que transforma las entradas en salidas dentro del sistema.
- *Retroalimentación:* es la información que el sistema recibe del entorno una vez entregadas las salidas y es el mecanismo para corregir el desempeño del mismo.

El enfoque de sistema incluye, para quienes lo utilizan, el hecho de asumir en el proceso una visión de conjunto, con interacción entre las partes, y la aplicación de un proceso analítico sobre un modelo de la realidad.

Los términos referidos a sistemas son a menudo confusos y están asociados a los problemas de la fase de definición, las entradas pueden ser tomadas como los factores que componen los elementos de demandas, tales como cargas, tránsito, etc., los que en conjunto con las constantes usualmente representan la información que es requerida por los encargados de solucionar los problemas. Los objetivos también son parte de la información, pero ellos usualmente deben ser desarrollados o especificados por los mismos encargados de los problemas.

Similarmente ellos deben decidir la definición de los problemas cuya salida será utilizada en el análisis de soluciones alternativas y en la modelación de dichas alternativas. Es importante que el sistema bajo consideración sea claramente reconocido e identificado, de otra forma puede haber una confusión en la determinación de las entradas requeridas y en la especificación aplicada a los objetivos, constantes, etc.

2.4.2 Metodología de Sistemas

La metodología de sistemas comprende un conjunto de conocimientos que han sido desarrollados para la planificación eficiente, para el diseño e implementación de nuevos sistemas y para estructurar el estado del conocimiento de un sistema existente o modelo de una operación. Es un proceso amplio de solución de problemas que fue desarrollado a partir de la observación de conductas de proyectos eficientes y sistemáticos.

Hay dos usos de metodología de sistemas principales e interrelacionados:

- 1) La estructuración de un problema, o cuerpo de conocimiento.
- 2) El uso de herramientas analíticas para modelar y resolver el problema.

La estructura de cualquier proceso de solución de problemas debe incluir una incorporación sistemática de todos los factores técnicos, sociales y económicos que lo comprenden; más aún, debe ser una simulación

lógica de la progresión de actividades involucradas en la eficiente solución de problemas. El proceso continuo e iterativo se presenta en la Figura 7, este proceso es aplicable tanto al problema global como a sus componentes o "sub problemas". Básicamente en tres niveles principales:

- 1) El acercamiento al sistema, que comprende una aproximación inicial y que con respecto a la Fig. 7 involucra las fases de reconocimiento del problema y de definición inicial del mismo, con una mirada parcial a la generación de alternativas de solución.
- 2) El análisis del sistema, que extiende el nivel anterior a un desarrollo más completo de las estrategias alternativas y provee una metodología para analizar y optimizar dichas alternativas.
- 3) La ingeniería del sistema, que es la más completa manifestación del método de sistemas que comprende el diseño, implementación y evaluación de desempeño de la resolución de problemas.

La solución de problemas aplicando el método sistemático de la figura puede ser eficiente pero hay que reconocer ciertas limitaciones en su uso:

- Una aplicación exitosa depende de las capacidades del personal que las efectúa: el método no es sustituto de una ingeniería de pobre desarrollo.
- El punto de vista de los individuos o la agencia; involucrada en el estudio del sistema debe ser claramente reconocido e identificado.
- Los componentes o la extensión del sistema bajo estudio deben ser claramente identificados.
- El exceso de simplificación de muchos problemas mediante la consideración de ellos como una caja negra.
- El peligro de generar soluciones específicas basándose en un problema mal entendido; es decir, generar soluciones erradas respecto de la realidad.

Como se dijo anteriormente, cualquier sistema está inserto en un medio externo, con cierto nivel técnico, social, económico y político. Por lo tanto, un determinado problema tiene una cierta definición, análisis y conclusión en un escenario específico; cualquier cambio en dicho escenario en cuanto a lo técnico, social, económico o político puede implicar que el problema desaparezca, disminuya o aumente, y que la forma de solución supuesta originalmente no tenga aplicación en este nuevo escenario. Es por ello que el proceso de retroalimentación en el cual se analiza si el problema ha sido solucionado o si han cambiado las condiciones que motivaran dicho problema es fundamental.

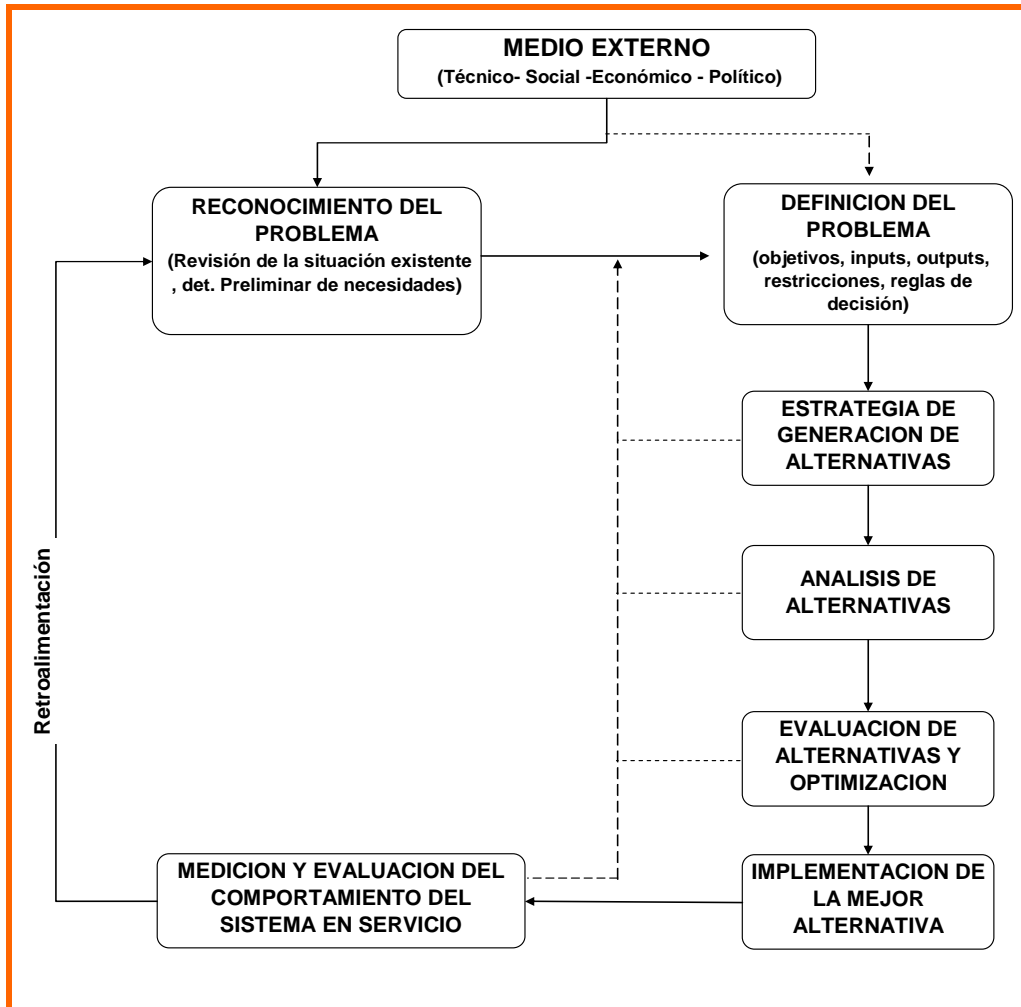


Fig. 7: Principales fases y componentes de método de sistemas⁷

2.4.3 Herramientas Analíticas para la Implementación de Sistemas

La estructuración de un problema puede ser muy general para encontrar una solución útil y operacional; la aplicación de técnicas analíticas para un problema estructurado inadecuadamente puede dar como resultado una solución inapropiada, es decir, las técnicas analíticas que son utilizadas como parte de los métodos de sistemas para resolver los

⁷ Modern Pavement Management: Haas, R

problemas tienen una máxima utilidad cuando los problemas están bien formulados o estructurados, de otra manera no sirven.

Hay una amplia variedad de técnicas disponibles para usarlas en un método de sistema para resolver un problema; a continuación se presentan algunas, las que tienen diversa aplicabilidad en el área de pavimentos. El uso de modelos o técnicas de sistemas pueden facilitar una decisión respecto de algún tema en estudio.

Uno de los métodos más aplicados de sistemas incluye la utilización de programación lineal, también existen otros métodos no lineales que comprenden el uso de cálculo diferencial, multiplicadores de Lagrange o programación geométrica para las búsquedas iterativas de soluciones.

También son aplicables otros modelos de tipo aleatorio, por ejemplo algunos consideran el método de Montecarlo, el cual es útil en caso de no existir modelos analíticos apropiados para un determinado problema a resolver, así como también las técnicas que utilizan cadenas de Markov o modelos estocásticos. En otro ámbito se considera también como de apoyo el uso de métodos de programación y control como el CPM o el PERT.

2.4.4 Aplicación del Concepto de Sistema a la Gestión de Pavimentos

Un sistema de gestión de pavimentos comprende un conjunto coordinado de actividades relacionadas con la planificación, diseño, construcción, conservación, evaluación e investigación de todos los elementos que constituyen la infraestructura vial. Su principal objetivo es establecer la metodología para el seguimiento y continua evaluación del estado de los pavimentos, para proporcionar así seguridad, confort y economía al transporte, obteniendo la mayor rentabilidad posible por el dinero invertido sujeto a las restricciones económicas, técnicas, políticas y ambientales. Para tales efectos, el sistema debe ser actualizable, permitir comparación de alternativas e identificar la óptima, basando sus decisiones en atributos, criterios y restricciones cuantificables, además de usar información de retroalimentación para evaluar las consecuencias de decisiones tomadas.

La gestión de pavimentos se puede aplicar a una red vial o a un proyecto en particular. En la Fig. 8 se presentan esquemáticamente estos dos conceptos.

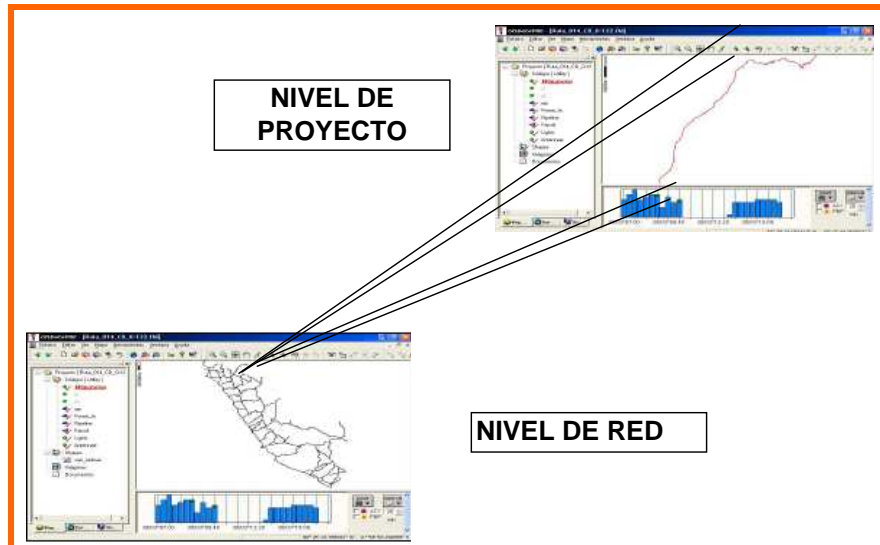


Fig. 8: Comparación de sistemas a Nivel de Red y de Proyecto

En general la gestión a nivel de red permite determinar las necesidades de las obras requeridas en un conjunto de vías; en cambio, la gestión a nivel de proyecto define claramente los requerimientos de un proyecto en particular, las principales diferencias se muestran en la Fig. 9.



Fig. 9: Principales Componentes de un Sistema de Gestión de Pavimentos

Los elementos básicos que configuran un sistema de gestión de pavimentos se pueden sintetizar en:

- Información de inventario de la red.
- Información del estado funcional y estructural de los elementos de la vía.
- Modelos de predicción del comportamiento durante su vida útil.
- Estándares de conservación para el deterioro actual y futuro.
- Evaluación económica de las distintas alternativas de conservación y/o rehabilitación.
- Configuración de un programa de actuación en el período de análisis.

2.5 SISTEMAS DE INFORMACION

Es importante destacar que dentro de la gestión de pavimentos y, debido al manejo de abundante información para implementarlo, es necesario hacer hincapié en lo que consiste ordenar la información para su procesamiento e interpretación.

2.5.1 Concepto de Información

Se define el concepto de información como la adquisición o comunicación del conocimiento derivado del estudio, experiencia o instrucción respecto de situaciones específicas, que permiten ampliar los

que se poseen respecto de determinadas materias. Es decir, a la información se la puede considerar como un recurso más dentro de la organización de un sistema de información y es una parte fundamental en su desarrollo.

En términos genéricos se define información como "un bien (o producto) que difiere del económico típico al no acabarse o depreciarse al ser consumido. La información no se extingue al ser compartida, por el contrario, esto la hace crecer". Con todo, se considera hoy a la información como un recurso más dentro de una organización y del cual, en cierta forma, depende el funcionamiento de la misma y su permanencia en el tiempo.

2.5.2 Flujos de Información

Para el funcionamiento de un sistema de gestión es necesario la concreción de flujos de información que unan a los subsistemas de información, análisis e implementación (ver Fig. 10), el concepto base está en llevar a cabo las diversas actividades que involucra la toma de decisión, con la información respectiva reunida y las consecuencias de las posibles decisiones analizadas a la luz de tal información.

En base a ese análisis se toma la decisión, la que es implementada y sus resultados son guardados en archivos de datos que quedan a disposición de otros administradores a otros niveles. Se considera como

principales tipos de archivos de datos aquellos de diseño y construcción, historia del mantenimiento y condición del pavimento.

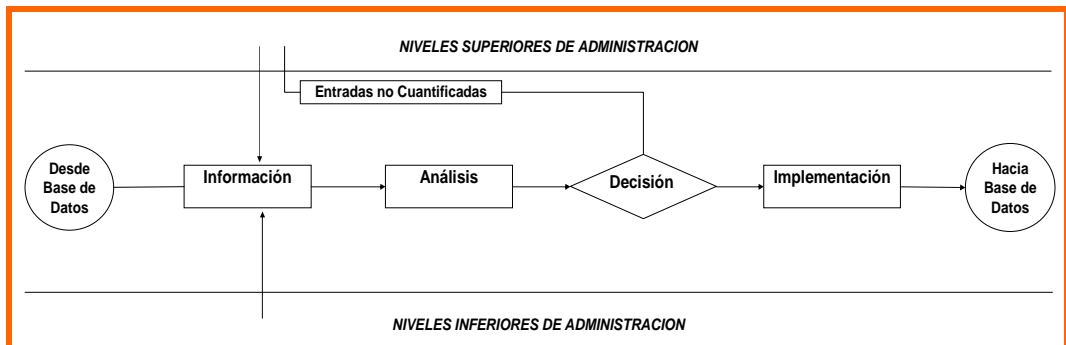


Fig. 10: Flujos de Información para un Sistema de Gestión

2.5.3 Sistemas de información

Los sistemas de información son herramientas desarrolladas para poder administrar una gran cantidad de datos que son recolectados a lo largo del tiempo con el objeto de poder analizar y procesar la información en forma rápida y segura, obteniendo resultados rápidamente.

Estos sistemas se basan en personal altamente capacitado, tecnología computacional y equipos encargados de la recolección de datos (Fig. 11), esto en conjunto forma un sistema de información y su buena operación depende específicamente del funcionamiento coordinado de todos los elementos mencionados con anterioridad.

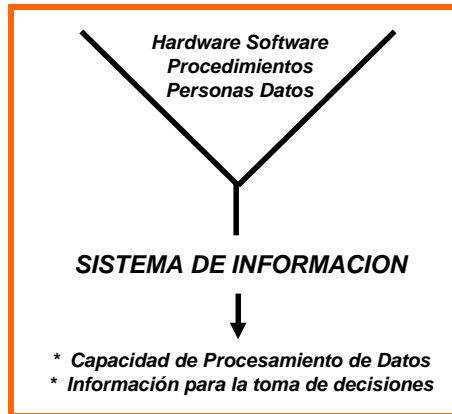


Fig. 11: Relación de los Conceptos de Sistema

La necesidad de tomar decisiones rápidas ha hecho que los sistemas de información sean una de las herramientas más utilizadas en el último tiempo, su desarrollo ha alcanzado niveles jamás imaginados, llegando al punto de tener sistemas expertos que utilizan razonamiento deductivo, y redes neuronales que pueden "aprender" en base a los datos que va recibiendo a lo largo del tiempo.

Un claro ejemplo de un sistema de información es el sistema de información geográfica (SIG), en el cual, de manera digital el sistema es configurado para mostrar los diversos elementos ordenados según la metodología establecida, clasificados por layers o capas y/o colores.

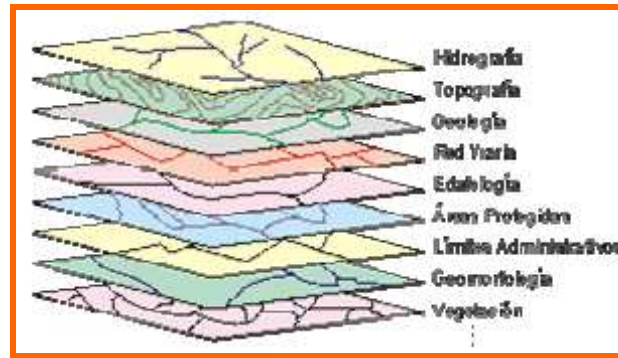


Fig. 12: Estructura en capas del SIG

2.5.4 Implementación de un sistema de información

Implementar un sistema de información no es una tarea fácil, ya que normalmente implica cambios importantes en las organizaciones; por lo tanto, es necesario tener presente que debe existir un balance entre estrategia, organización y tecnología (Fig. 13). Esto significa que la administración superior de la organización debe definir una estrategia de negocio que incluya una organización administrativa y una tecnología adecuada a los objetivos planteados asignando los recursos necesarios para alcanzar las metas propuestas.

Se puede observar en la Fig. 13 que si cualquiera de los componentes pierde importancia relativa frente a los otros, puede significar que la implementación deseada fracase; es decir, si por ejemplo durante la ejecución de una obra agregamos recursos tecnológicos, si el personal de manejo no está capacitado, entonces no se obtendrán los resultados esperados.

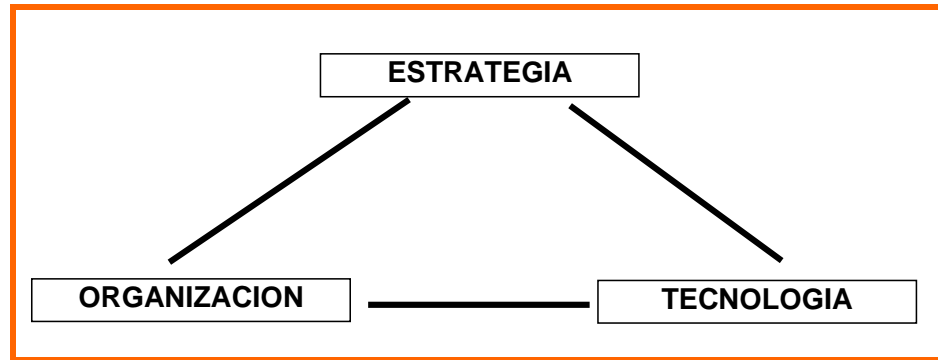


Fig. 13: Condición de balance necesaria en la implementación de un sistema

El otro concepto a tener presente en la implementación de un sistema de información es su mejoramiento por etapas. Tratar de lograr un cambio desde no tener nada a un sistema perfecto en un solo paso es una tarea casi imposible, ya sea por la dificultad técnica que ello implica o por la posible resistencia de las personas que se pudieran sentir afectada por dicho cambio. Sin embargo, avanzar por etapas permite producir en la organización una cultura positiva entre los cambios, especialmente porque se pueden obtener resultados positivos a menor escala, en plazos relativamente cortos. En la Fig. 14 se presenta este concepto.

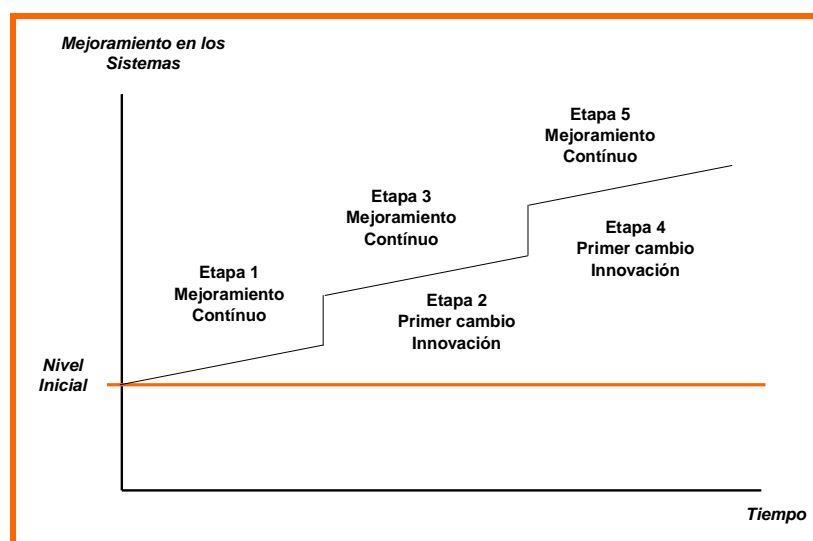


Fig. 14: Etapas en la Implementación de Sistemas

2.5.5 Uso de los Sistemas de información dentro de la Gestión de Pavimentos

Un sistema de información es un conjunto integrado de recursos humanos y técnicos que tiene como objetivo el otorgar a la organización una información adecuada, precisa y oportuna para apoyar las operaciones, gestión y toma de decisiones; normalmente un sistema funciona mediante la interacción de personas y equipos involucrados, entre los que se cuentan básicamente equipos computacionales, con software especialmente desarrollados, además de modelos de análisis, planificación, control y toma de decisiones⁸.

A continuación se detallan los sistemas de información que pueden ser utilizados para gestión de pavimentos:

- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** el SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

El SIG es una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de

⁸ Sistemas de Información, Conceptos e Implicancias para la Empresa: Kovacevic, A

disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

El SIG puede ser usado como una plataforma en la que el sistema de gestión de pavimentos puede ser construido y operado. Este sistema SIG puede hacer una integración espacial de los datos utilizados para la toma de decisiones del sistema de gestión (Fig. 15). Las funciones del SIG incluyen mapas temáticos, bases de datos flexibles, manipulación matricial, generación de redes y modelos integrados y algoritmos.

La tecnología del SIG puede proveer la base para un sistema integrado de información de caminos, en que variables tales como el estado de los pavimentos, la geometría de las vías, los volúmenes de tránsito de las mismas, etc., pueden ser asociados al sistema geográfico de referencia, un mapa puede facilitar las entradas y salidas del sistema, así como un entendimiento más fácil para el mismo.

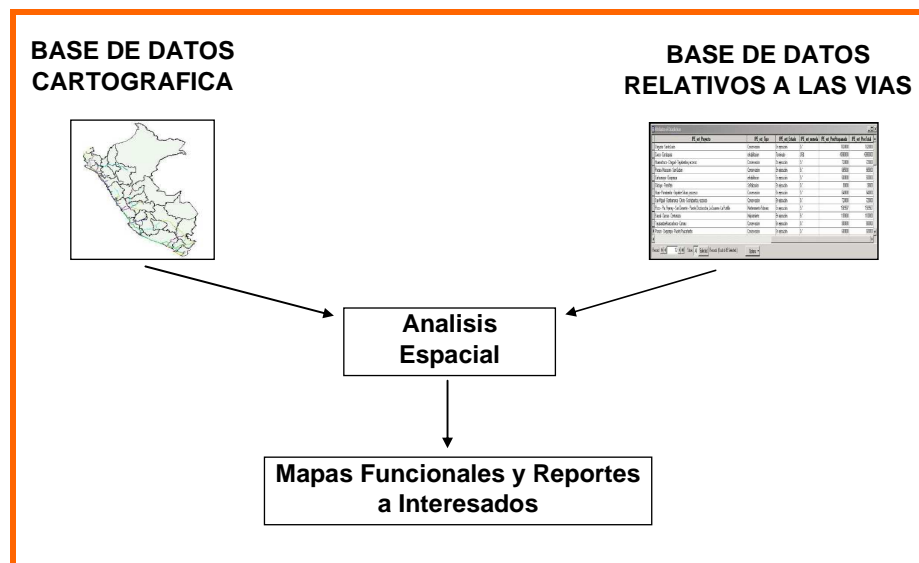


Fig. 15: Esquema de un Sistema de información Geográfica

- **Uso de sistemas expertos:** es un programa que manifiesta alguna combinación de conceptos, procedimientos y técnicas derivadas de desarrollos recientes de inteligencia artificial que permiten resolver problemas complejos (Fig. 16). En general su base de funcionamiento está en un análisis del tipo:

IF (si ocurre algo o se cumple algo) THEN (entonces actuar de tal forma)

En gestión de pavimentos puede ser útil para aplicar la experiencia y el conocimiento existente en la toma de decisiones.

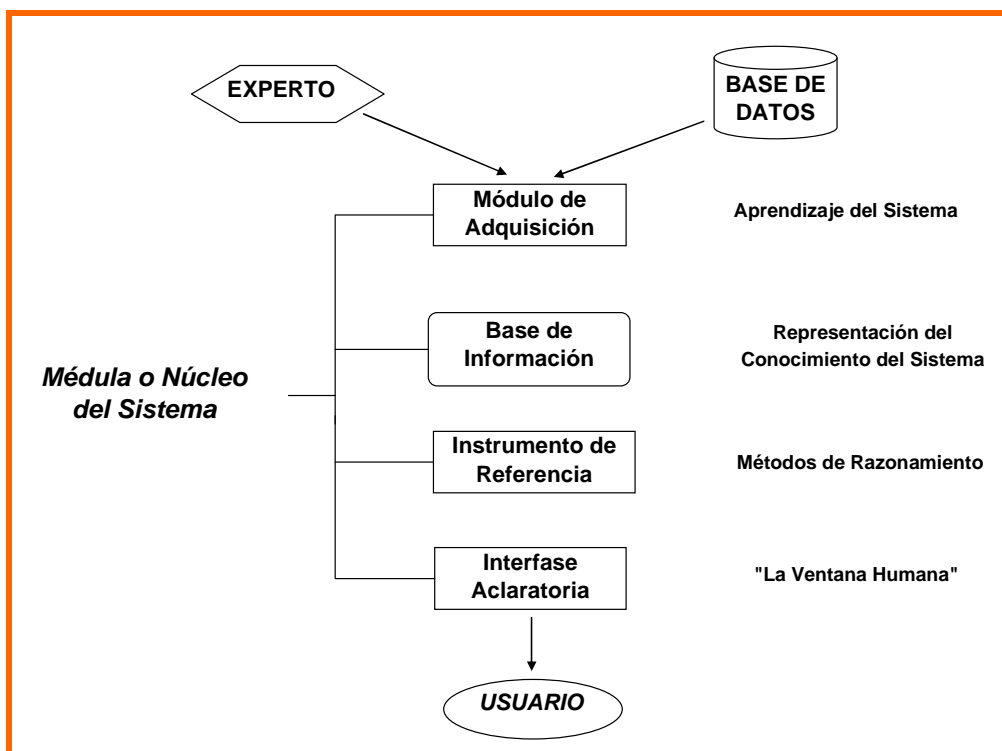


Fig. 16: Configuración Típica de un Sistema Experto

2.6 ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS

Un sistema de gestión de Pavimentos es simplemente la combinación de procedimientos de análisis, formularios detallados para la adquisición de datos, mediciones, criterios de decisión y herramientas, entre las cuales una básica son los programas computacionales, los que proveen métodos sistemáticos y óptimos para llevar a cabo una buena gestión. El grado de complejidad de un sistema puede ser muy variado e ir desde una base de datos hasta una optimización total, y está generalmente definido por los objetivos que posee el sistema en su conjunto.

Al planificar el desarrollo de un sistema de gestión se deben tener en cuenta varios factores de importancia, tales como: disponibilidad de recursos, requisitos de información, nivel de sofisticación, manejo de datos, informes y gestión. Para ello se requiere contar con una estructura de datos actualizable que permita administrar los datos, junto con proveer de las herramientas necesarias para análisis y modelación del comportamiento de la infraestructura. Por otro lado, dentro de un sistema de gestión de Pavimentos pueden distinguirse tres módulos típicos: Base de datos, Métodos de análisis y Retroalimentación. La Figura 17 ilustra los módulos que conforman un SGP genérico. Esta figura corresponde a una adaptación de la presentada en el capítulo 2 del AASHTO Guidelines for Pavement Management System de 1990.

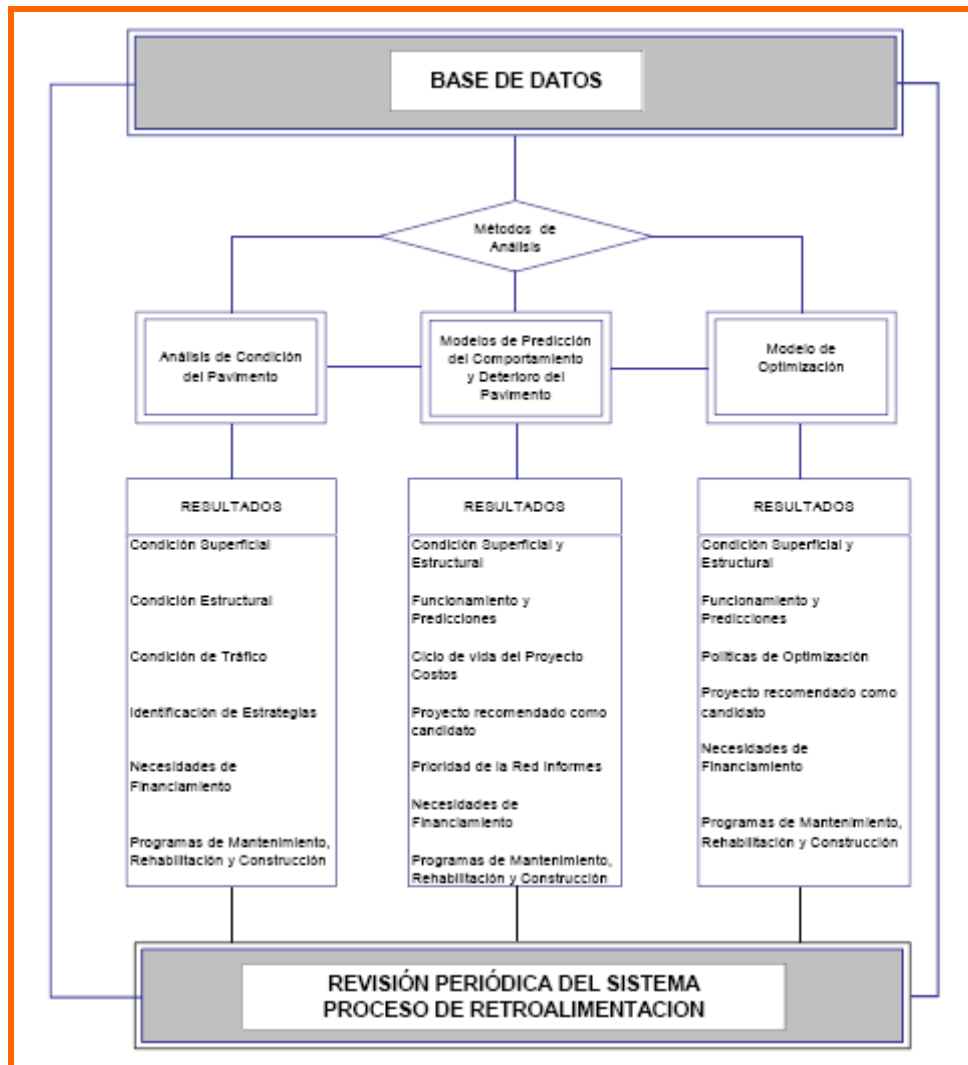


Fig. 17: Elementos Básicos de un Sistema de Gestión de Pavimentos

El uso de sistemas de ingeniería no conduce a una solución del problema de los pavimentos, sino a alternativas de solución aptas para ser seleccionadas por el encargado de la gestión de acuerdo a los criterios especificados.

El sistema se encuentra estructurado en base a la relación existente entre la y las solicitudes a que se ve sometido a lo largo de su vida útil, que son básicamente tránsito y clima. Las solicitudes y las

características de diseño y construcción determinan el modo de respuesta de ellos, las cuales se miden por determinadas características funcionales y estructurales, tales como:

- Irregularidad superficial
- Resistencia al deslizamiento
- Deterioro superficial
- Comportamiento estructural

De acuerdo a las solicitudes, la infraestructura vial sufre un deterioro, que debe ser evitado o corregido oportunamente mediante la aplicación de conservaciones, las que dentro del sistema se presentan como opciones a ser seleccionadas de acuerdo al presupuesto y al nivel de mejoramiento que otorgan al pavimento, así como el control de costos asociados que generan. Para cada acción posible de conservación se determina un costo total distinto, el que es comparado para seleccionar el menor y que corresponderá a la alternativa seleccionada.

La Fig. 18 representa la estructura general de un sistema de gestión de pavimentos, en la cual se puede identificar la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento, la evaluación, la base de datos y la investigación.

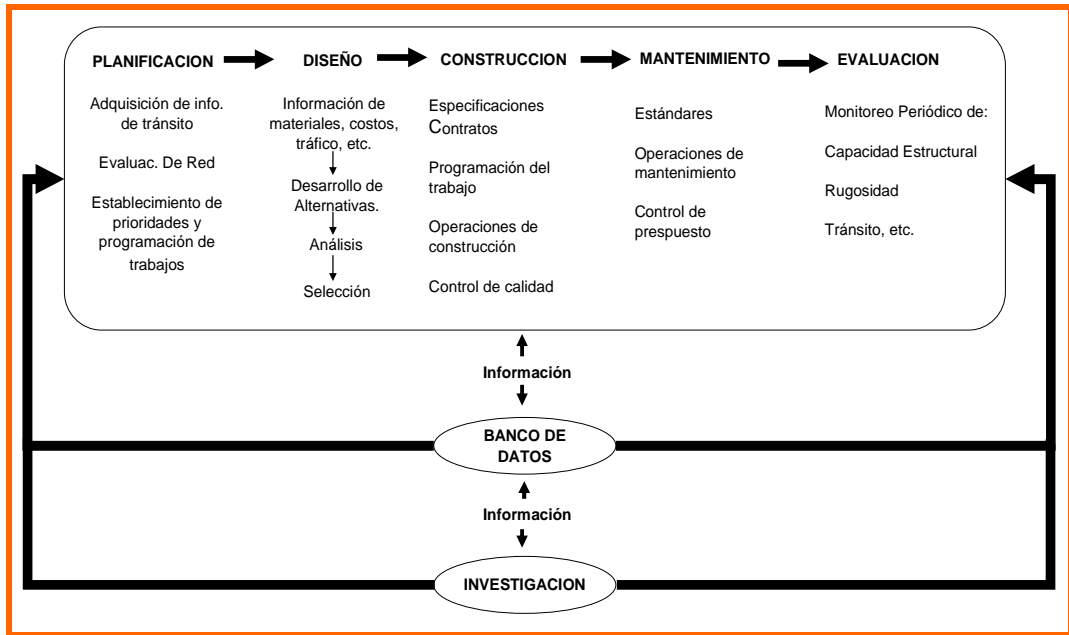


Fig. 18: Estructura General de un sistema de Gestión de Pavimentos

- 1) *Planificación:* comprende las etapas de adquisición de información de tráfico, evaluación de deficiencias de la red, asignación de prioridades y programación para realizar los trabajos necesarios. En esta fase se toman las decisiones de inversión, reconociendo las restricciones de presupuesto.
- 2) *Diseño:* adquisición de información sobre materiales, tránsito, costo, etc. y posterior desarrollo de alternativas de diseño, análisis y comparación de sus características para la selección de Una de ellas.
- 3) *Construcción:* comprende actividades como programación del trabajo, desarrollo de operaciones de construcción y control de calidad de las obras.

- 4) *Mantenimiento*: se establece un programa de trabajo de mantenimiento en base al presupuesto y los niveles de deterioro.
- 5) *Evaluación*: se establece una medición periódica de factores funcionales y estructurales ya mencionados anteriormente.

Además destacan:

- *Base de datos*: destaca como punto fundamental, que contiene la recopilación de la información para las distintas fases, y
- *Labores de investigación y desarrollo*: que deben ser permanentes para actualizar y mejorar el sistema.

2.7 DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS

La condición principal para establecer un sistema de gestión de infraestructura es la voluntad de las autoridades correspondientes de financiarlo; por ejemplo en el caso estatal, el director de la agencia vial; en el caso de la comuna, el alcalde y en el caso de una concesión, el administrador o gerente del proyecto, y de crear la organización necesaria para su funcionamiento; un país que desee establecer un sistema de gestión de pavimentos debe considerar al menos los siguientes aspectos:

- 1) *Estrategia*: Disposición de un plan maestro que involucre a todos los elementos del sistema tanto en la implementación como en la operación a lo largo del tiempo.
- 2) *Organización*: que cubra todas las actividades del sistema incluyendo el personal y estructura organizacional, desde la toma de datos en campo hasta la toma de decisiones de alto nivel, sin omitir las instancias de investigación a aplicar, muy importante para poder actualizar el sistema permanentemente.
- 3) *Equipamiento*: debe ser el apropiado para llevar a cabo los diferentes procesos que implica la gestión de pavimentos, debe estar dotado de computadores, programas apropiados y los equipos de auscultación de caminos, etc.
- 4) *Investigación*: es un aspecto fundamental para la fase inicial y el desarrollo global del sistema.

Además, el sistema de gestión debe articularse alrededor de las siguientes actuaciones básicas:

- 1) Elaborar un banco de datos donde queden inventariadas las características de la red o proyecto que se desea gestionar.

- 2) Proceder a una recolección sistematizada y periódica de información cuantitativa del estado del pavimento y de los restantes elementos de la carretera.
- 3) Establecer los índices y parámetros para la cuantificación global del nivel de servicio de las vías, con la posibilidad de fijación de umbrales de intervención.
- 4) Definir un método de elección de prioridades para establecer un orden de aplicación de los recursos disponibles.
- 5) Elegir las técnicas de conservación que deben aplicarse en cada caso en función de la información recogida y proceder a su evaluación.

2.8 PARAMETROS DEL SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS

Un sistema de gestión de pavimentos bien entendido cuenta con un conjunto de parámetros invariables que lo definen, de ellos los que deben ser considerados y que dependen directamente del "estado del arte"(actualización del conocimiento con respecto a alguna materia) son:

- El modelo o modelos de comportamiento a ser usado.

- La experiencia pasada en que se basa el conocimiento de la conducta de los pavimentos y los factores principales que éste contempla.
- La calidad de la instrumentación y las técnicas para efectuar las mediciones que determinen los parámetros.
- La calidad y extensión de la base de datos disponible.
- La variabilidad en el conjunto de datos requeridos para determinar los parámetros adecuados.

Para representar el estado actual del pavimento es necesario elegir los parámetros apropiados al propósito de la propia gestión, los índices más utilizados son los que se relacionan directamente con algunas de las funciones que se exigen al pavimento. En general estas funciones son referidas a la estructura del pavimento, la seguridad y el confort que este otorga.⁹

2.9 EL SISTEMA DE GESTION DE CARRETERAS DEL MTC (Route 2000)

Se implementa el Route 2000 en el MTC con la visión de crear una herramienta que permita una calificación de las condiciones en que se encuentra la red, la determinación de una estrategia de seguimiento y administración los recursos disponibles para su conservación; para lo

⁹ Gestión de Infraestructura Vial: Hernán de Solminihac

cual se llega a la conclusión de la necesidad de disponer de un sistema computarizado para gestión del mantenimiento de la red.

Actualmente, es el único sistema computarizado desarrollado en el Perú, debido a la enorme masa de datos que conforman las características de las redes viales manejadas por la agencia. Su estructura se conforma en tres grandes capítulos principales:

- SIC: Módulo de base de Datos
- SPL: Subsistema de Planeamiento
- SAM: Subsistema de Administración de Mantenimiento

2.9.1 Subsistemas

A continuación se detallan los subsistemas, esta explicación será un claro ejemplo de cómo se estructura un Sistema de Gestión.

2.9.1.1 SIC: Subsistema de Inventario Calificado

El Módulo de Base de Datos permite el manejo coordinado de los datos comunes a los demás módulos del Route2000, como demarcación y codificación de las carreteras, calzadas y carriles, características geométricas, estructura de la capa de rodadura y de las capas inferiores, rugosidad (IRI), deflexiones, daños de pavimentos (estructurales y superficiales), catastro de elementos de drenaje, señalización, seguridad, informaciones de tránsito (volumen, tasa de crecimiento, factor de vehículo) y otros. Por tanto, utiliza un Banco de Datos, muy confiable, bastante amplio, pero de simple acceso y manejo.



Fig. 19: Pantalla de trabajo para el Subsistema de Inventario Calificado

En la Figura 19 se aprecia como el Subsistema de Inventario Calificado muestra la información de la base de datos en tres ventanas para una mejor interpretación; el ejemplo corresponde a la visualización de la Condición de la Serviciabilidad por parámetro indicador IRI *entre las progresivas 0+000 al 15+000 de la Ruta 1N de la calzada UC faja 2*, este tecnolecto reduce el comentario que en palabras sencillas vendría a ser la visualización de la Condición de la Serviciabilidad por parámetro indicador IRI *en el Tramo entre el Puente Santa Anita y el Cruce con la Avenida Tomás Valle de la Panamericana Norte, en el sentido de la ruta que va hacia Ancón y el carril de mayor velocidad o mas cercano a la berma central*. La ventana superior muestra la condición del IRI en todo el ancho de la calzada y la longitud del tramo analizado, el valor del IRI

ya ha sido previamente clasificada en niveles de intensidad y estos visualizados en colores, la ventana intermedia muestra un diagrama de barras de la condición de IRI en la Faja 2 y, la tercera ventana corresponde a la visualización de la información del formato SIC ordenado en hoja de texto.

El subsistema de Inventario Calificado muestra sus bondades en la capacidad de importar la base de datos, la cual esta organizada en archivos “.txt”, dentro de esta la información está organizada por codificación sencilla pero organizada, he aquí la bondad de la referenciación; una persona responsable del inventario es capaz de poder reconocer la ubicación, tipo y fecha de recolección de un dato simplemente con ver el archivo .txt. Esto es por que todos lo eventos levantados durante el inventario vial han sido ordenados en función a su ubicación para luego ser representado en un programa de referenciación visual y dar facilidad en la identificación de un evento y su verificación in situ.

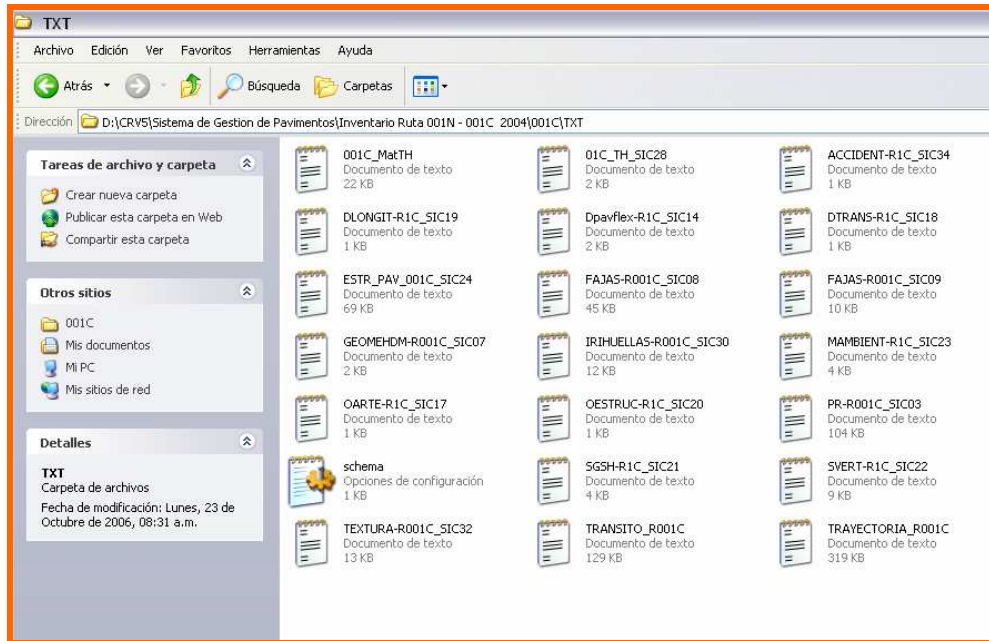


Fig. 20: Carpeta con los archivos de información en Formato SIC

Existe un procedimiento llamado la “Validación de Data”¹⁰, el cual tiene por finalidad el de verificar la calidad del levantamiento de información en la zona.

Para la importación de la base de datos fue necesario estandarizar formatos de recolección así como la de su presentación, estos formatos fueron denominados Formatos SIC.

¹⁰ Informe del Servicio de Consultoría para el “Inventario, Valorización y Monumentación de la Red Vial Nacional Asfaltada”: TNM Limited S.A.

FAJAS-R001C_SIC09 - Bloc de notas									
Archivo Edición Formato Ver Ayuda									
SIC - 09 ANCHO DE FAJAS									
RUTA 001C									
-									
			UBICACIÓN INICIO			UBICACIÓN FIN			
CARRETERA	CALZADA	FAJA	CODIGO	PR	DISTANCIA	CODIGO	PR	DISTANCIA	
001C	UC	2	0000	0	0000	260	3.5	3.5	06/03/04
001C	UC	3	0000	0	0000	260	3.5	3.5	06/03/04
001C	UC	4	0000	0	0000	260	2.4	4.2	06/03/04
001C	UD	2	0000	0	0000	1000	2.7	2.7	06/03/04
001C	UD	3	0000	0	0000	1000	2.7	2.7	06/03/04
001C	UD	4	0000	0	0000	1000	3	3	06/03/04
001C	UC	2	0000	260	0000	500	3.5	3.5	06/03/04
001C	UC	3	0000	260	0000	500	3.5	3.5	06/03/04
001C	UC	4	0000	260	0000	500	2.5	3.3	06/03/04
001C	UC	2	0000	500	0000	1000	3.2	3.2	06/03/04
001C	UC	3	0000	500	0000	1000	3.2	3.2	06/03/04
001C	UC	4	0000	500	0000	1000	2.5	3.3	06/03/04
001C	UC	2	0000	1000	0001	0	4.8	4.8	06/03/04
001C	UC	3	0000	1000	0001	0	4.8	4.8	06/03/04
001C	UC	4	0000	1000	0001	0	2	2	06/03/04
001C	UD	2	0000	1000	0001	0	3	3	06/03/04
001C	UD	3	0000	1000	0001	0	3.3	3.3	06/03/04
001C	UD	4	0000	1000	0001	0	2.1	2.1	06/03/04
001C	CD	1	0001	0	0001	339	2.6	2.6	06/03/04
001C	CD	2	0001	0	0001	339	4.5	4.5	06/03/04
001C	CD	3	0001	0	0001	339	4.5	4.5	06/03/04
001C	CD	4	0001	0	0001	339	2.5	2.5	06/03/04
001C	CD	1	0001	339	0001	839	2.1	4	06/03/04
001C	CD	2	0001	339	0001	839	3.9	3.9	06/03/04
001C	CD	3	0001	339	0001	839	3.9	3.9	06/03/04
001C	CD	4	0001	339	0001	839	2	4	06/03/04
001C	CD	1	0001	839	0001	1339	2	4	06/03/04
001C	CD	2	0001	839	0001	1339	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	3	0001	839	0001	1339	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	4	0001	839	0001	1339	1.7	2.5	06/03/04
001C	CD	1	0001	1339	0001	1839	2	3.5	06/03/04
001C	CD	2	0001	1339	0001	1839	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	3	0001	1339	0001	1839	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	4	0001	1339	0001	1839	2.1	3.4	06/03/04
001C	CD	1	0001	1839	0001	2339	2.4	4	06/03/04
001C	CD	2	0001	1839	0001	2339	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	3	0001	1839	0001	2339	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	4	0001	1839	0001	2339	2.1	4	06/03/04
001C	CD	1	0001	2339	0001	2839	2	2	06/03/04
001C	CD	2	0001	2339	0001	2839	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	3	0001	2339	0001	2839	3.6	3.6	06/03/04
001C	CD	4	0001	2339	0001	2839	4.6	4.6	06/03/04
001C	CD	1	0001	2839	0001	3339	2	3.2	06/03/04
001C	CD	2	0001	2839	0001	3339	3.6	3.6	06/03/04

Fig. 21: Base de datos correspondiente al Ancho de Fajas en Formato SIC y extensión .txt

2.9.1.2 SPL: Subsistema de Planeamiento

El Subsistema de Planeamiento permite, a través de interfaz con el Banco de Datos, un análisis de largo plazo de las inversiones a realizar en la red, basadas en el modelo HDM para la generación de soluciones óptimas y el modelo EBM para análisis que consideran restricciones de los programas de presupuestos.

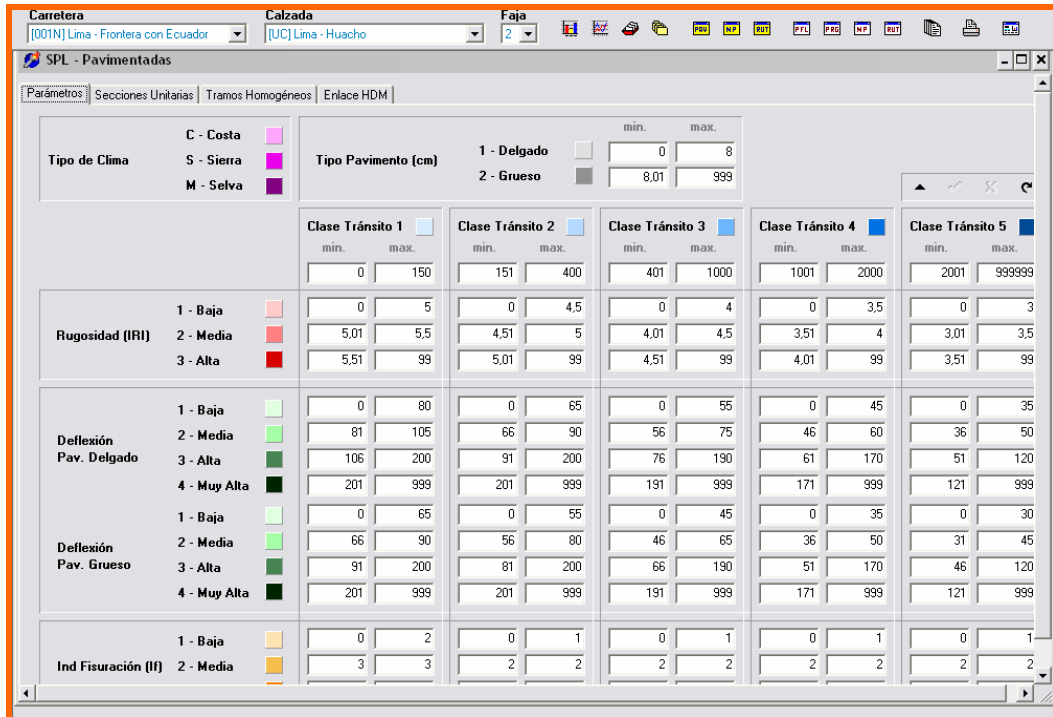


Fig. 22: Cuadro para modificación de rango de niveles en los parámetros para tramificación

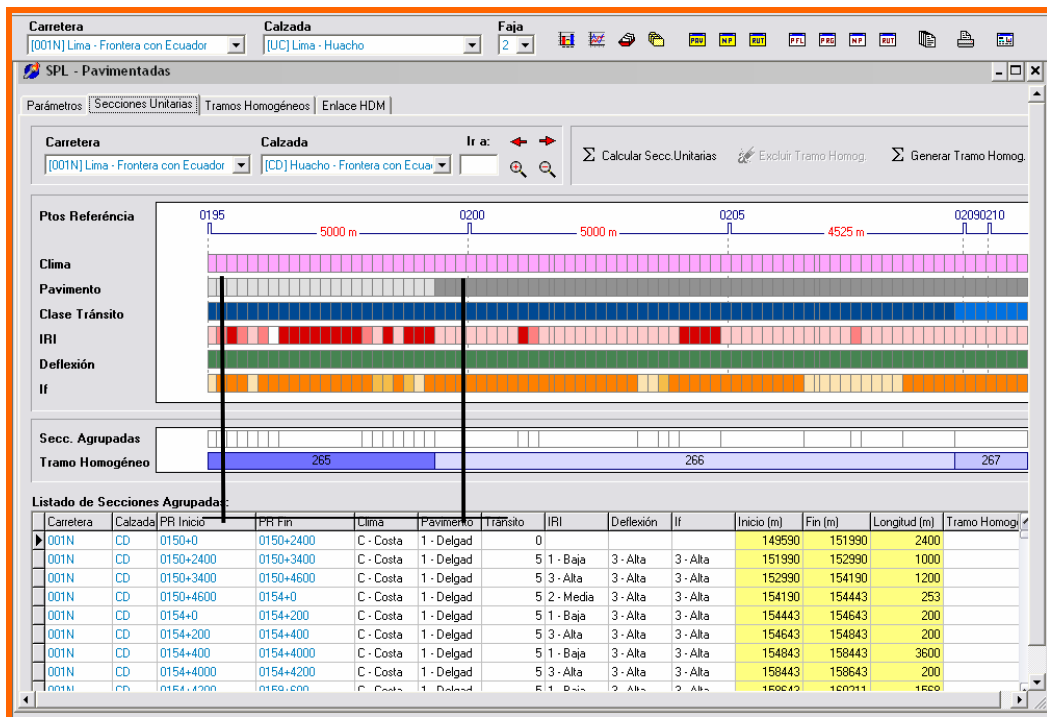


Fig. 23: Panel de trabajo del Subsistema de Planeamiento

La Fig. 22 muestra como el Route 2000 ha considerado al Tipo de clima, tipo de pavimento, tránsito, Rugosidad, deflexión, y el Índice de Fisuración como parámetros para obtener los Tramos Homogéneos, en la matriz que es mostrada se pueden alterar los rangos entres los cuales oscila un parámetro en una sección. Los niveles de rango son representados en colores y visualizados para cada sección homogénea tal y como se muestra en la Fig. 23, la cual en el gráfico superior muestra como se superponen los valores en función a su progresiva para de manera manual y obteniendo los Tramos Homogéneos. El gran inconveniente de este Subsistema es que trabaja en relación al HDM3 y por lo tanto, los Tramos Homogéneos deberán ser mayores a 1.0 Kilómetro. Nótese como los datos de los tramos siguen siendo organizados en función a la clasificación del SIC, el listado en hoja de cálculo en la parte inferior de la Fig. 23 muestra como cada sección es organizada por carretera, tipo de calzada, sus progresivas de referenciación y su longitud.

Luego de obtener los Tramos Homogéneos, estos junto a las políticas de conservación y mejora, son exportados al HDM3 para su modelamiento, luego de modelamiento estos datos regresan al Route 2000 para su Gestión dentro del Subsistema de Administración y Mantenimiento.

Es este, a mi parecer la parte mas importante del software desarrollado, la capacidad de optimizar el tiempo para su seccionamiento y su tramificación homogénea, así como la de procesar la información para

obtener los parámetros característicos de dichos tramos es digno de reconocer. La metodología de pre seccionar los tramos en unidades de 200 metros le da una característica que, sumado al esquema grafico con niveles de gravedad en colores que es presentado en la misma plataforma del software facilita la gestión de información y el personal solo concentra mayores esfuerzo en elaborar las políticas de conservación y mejora.

2.9.1.3 SAM: Subsistema de Administración y Mantenimiento

El Subsistema de Administración del Mantenimiento permitirá la actualización regular y permanente de los datos almacenados, y elaborará los informes técnico-financieros de avance de las obras. Así, se podrá actualizar también el programa de trabajo, las necesidades de personal y de equipo, y también actualizar el presupuesto que queda disponible, todo esto rápidamente y en cualquier momento. En función de las informaciones que provienen del campo, el sistema SAM puesto a punto permitirá una nueva definición del programa en curso. Además, año tras año se podrá seguir la evolución de la calidad de la red y por consiguiente la eficacia de las obras y de la política implementada.

El Subsistema de Administración trabaja de la siguiente manera: recupera la información procesada por el HDM3, luego de esto se eligen las políticas clasificadas como prioritarias; es decir, si se analiza una Ruta de Costa, debo suponer que los vehículos circulan a alta velocidad, por lo tanto debo darle mayor importancia al IRI.

Como ejemplo tomemos el siguiente: tenemos un tramo homogéneo de 2.0kilómetros procesado en HDM3 y el cual ha determinado que dicho tramo reciba una adición de 5 cm. de C.A. en caliente debido a que el IRI está por encima del 3.5, el cual era muy alto y el programa consideró que debíamos corregir, si embargo habíamos visto que el programa organiza la información en un pre seccionamiento de 200 metros. Al analizar independientemente cada sección que conforma el Tramo Homogéneo, notamos que 6 secciones del Tramo no han pasado la barrera del 3.5, es mas, están por debajo del orden de 2.0. Considerando el enorme costo que lleva aplicar un recapeo a un área de 2000 x 7.0 metros (longitud x ancho de calzada) lo que se trata es de reducir el costo y darle "prioridad a las secciones que en realidad lo necesitan.

He aquí la finalidad del Subsistema de Administración y mantenimiento, la de encontrar dentro de estos tramo homogéneos que van a recibir una actividad de mantenimiento, las secciones que realmente las necesitan y, programar las actividades en función a la gravedad de la condición: una sección con IRI de 3.7 necesita un mantenimiento antes que una sección con IRI de 3.3. El trabajo no termina ahí, pues se debe planificar y programar teniendo en cuenta los puntos importantes dentro de la elaboración de proyectos como la Movilización y Desmovilización, Gastos Generales, etc. con la finalidad de saber cuantas secciones como mínimo debo agrupar como para hacer viable un proyecto.

La pregunta a la que lleva este ejemplo es de que ¿por qué el Route 2000 ha agrupado a estos tramos que no necesitaban nada junto con otros que estaban en pésimo estado? La respuesta es sencilla: la limitación del HDM3 para poder modelar tramos con longitudes menores a 1 kilómetro debido a que sus unidades de longitud de tramos están en kilómetros y aceptan solo un decimal.

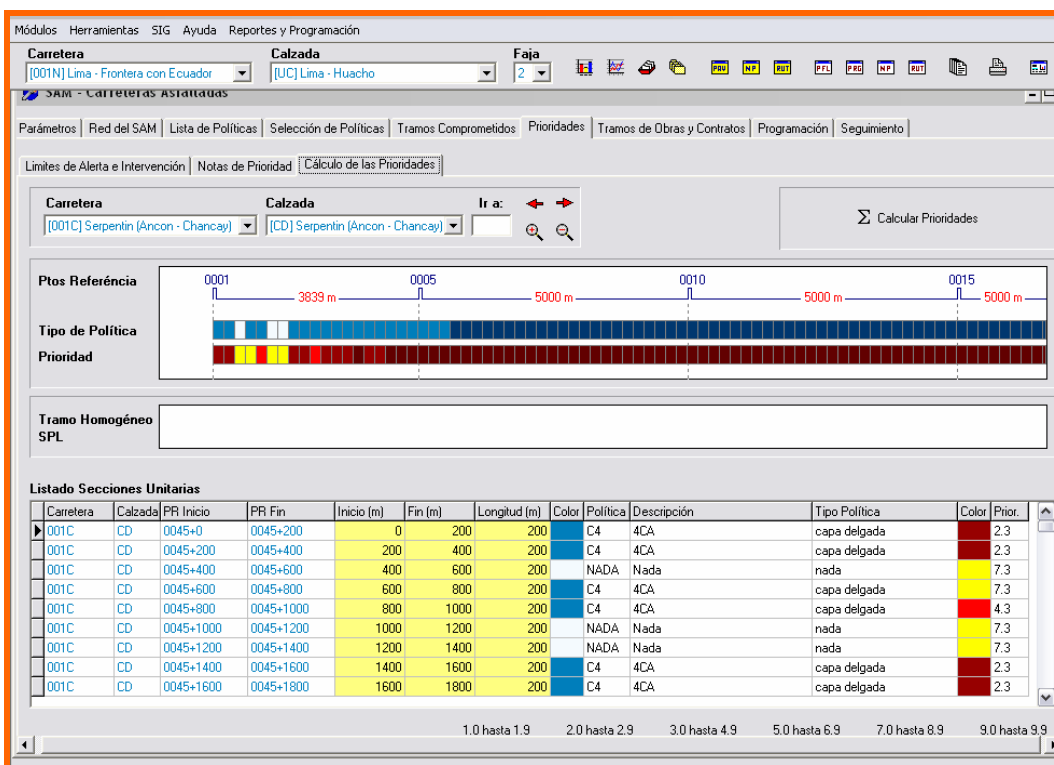


Fig. 24: Panel de Trabajo del Subsistema de Administración y Mantenimiento

La Fig. 24 muestra la visualización de los Tramos Homogéneos y la Priorización de las Actividades que debe darse a las secciones que conforman ésta.

2.9.2 La Recolección de Parámetros de la Red Vial Nacional para la Alimentación de la Base de Datos del SGC del MTC

La recolección de Parámetros se llevó a cabo durante el “Inventario, Valorización y Monumentación de la Red Vial Nacional Asfaltada” realizada el año 2004. El origen de este inventario nace de la conclusión de un estudio para el MTC, en el cual se recalca la necesidad de ejecutar tres puntos importantes:

- Elaborar el Plan Intermodal de Transporte
- Desarrollar la herramienta de apoyo para el SGC: Route 2000
- Inventario Vial Calificado

El procesamiento adecuado de la información del inventario Vial Calificado permitirá su posterior utilización en el Sistema de Gestión de Carreteras, que servirá para sistematizar y optimizar los recursos, realizando un planeamiento estratégico y seleccionando los proyectos de mayor rentabilidad en la administración de mantenimiento periódico y rutinario de la Red Vial Nacional que podrán ser ejecutados por administración directa o por terceros.

La nueva política a utilizar en el Sistema de Gestión de Carreteras enmarca la necesidad de mejorar la monumentación para la posterior referenciación de los eventos, es así que el Proyecto no solo engloba la Recolección de eventos, sino la de organizar en campo las condiciones necesarias para futuros Inventarios sin conflictos de referenciación.

Por lo tanto, el servicio de consultoría enmarcó lo siguiente:

a) *Inventario Vial Calificado*, que comprende:

- Inventario preliminar
- Inventario de elementos
- Inventario de daños
- Estructura del pavimento (calicatas y CBR de la subrasante) en los sectores de la red vial nacional asfaltada en los cuales no hay información existente relacionada con este aspecto, los cuales corresponden a una longitud estimada en 1340.42 Km. (Anexo VI de los términos de Referencia).
- Tráfico (IMDA, clasificación por tipo de vehículo, presión de inflado de llantas, carga y número de ejes), donde no exista información actualizada, tomando como base el último estudio de tráfico realizado por la Oficina de Presupuesto (OPP).
- Textura
- Deflexiones
- Rugosidad
- Geometría de la vía
- Otros rubros que considere el Consultor necesarios para efectuar la valorización de la Red Vial Nacional.

b) *Información de la Red Vial Nacional – RVN* en formatos del Sistema de Gestión de Carreteras – SGC. Incluye información del

inventario vial presentada en los formatos del SGC y en archivos Excel versión 2000, y estos cuadros integrados en una base de datos Access 2000.

c) Monumentación de la Red Vial Nacional.

El tamaño de la Red en estudio, abarcó toda la Red que conforma la Red Vial Nacional Asfaltada, en un total de longitud final de 9,024 Km/calzada.

La tecnología utilizada durante el inventario fue de última tecnología, destacando que la calidad de los datos levantados podían no solo formar base de una Evaluación a Nivel de Red, sino la de permitir una evaluación a Nivel de proyecto, el gran inconveniente para no tomarse en cuenta, fue que en campos importantes como las Fallas Superficiales, la Geometría y la Estructura del Pavimento, se hizo una evaluación muy general.



Fig. 25: Esquema de conformación de la Base de Datos del SGC

2.10 REGLAMENTACION PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION

De acuerdo con las recomendaciones de la Norma ASTM 1166-00 del 2003, la adopción de un Sistema de Gestión de Pavimentos involucra la integración de las siguientes componentes:

Sistema de Referencia

Se refiere a un método único y estable para la identificación y referencia espacial de los tramos que constituyen la red de carreteras, así como la información sobre las características y el estado físico de los mismos. Entre los métodos más utilizados pueden mencionarse el sistema arco nodo, el cadenamiento y las coordenadas geográficas.

Información Requerida por el Sistema

Normalmente, los sistemas de gestión utilizan datos pertenecientes a las siguientes categorías:

Inventario de la Red: el cual comprende la clasificación funcional, longitud, número de carriles, ancho de carril y acotamientos, pendiente y curvatura de cada uno de los tramos; diseño estructural de la sección, incluyendo espesores y propiedades de los materiales de las capas constitutivas; características del drenaje e historial de reparaciones.

Estado del Pavimento: expresado en términos de la irregularidad de la superficie de rodamiento; presencia y magnitud de los deterioros; deflexiones y otros factores de la capacidad estructural del pavimento; espesores y propiedades reales de las capas constitutivas; resistencia al deslizamiento y textura y estado del drenaje.

Características del Tránsito: volumen, composición vehicular y cargas por tipo de vehículo.

Datos Climatológicos: entre los cuales pueden mencionarse precipitación, humedad, promedios de temperatura y rangos de variación de la misma.

Costos, incluyendo por una parte, los costos de construcción, mantenimiento, rehabilitación y modernización de los pavimentos, y por

otra, los costos relacionados con el uso de la infraestructura por parte de los usuarios, es decir, costos de operación vehicular, costos asociados con el valor del tiempo de pasajeros y la demora de mercancías, y costos de accidentes.

Manejador de Bases de Datos

Dependiendo del tamaño de la red por analizar, el volumen de información requerido por los Sistemas de Gestión de Pavimentos puede llegar a tener una magnitud considerable, por lo que en la mayoría de los casos, implica el uso de un manejador de bases de datos y de procedimientos computarizados para el almacenamiento, consulta y análisis de la información. Como consecuencia de la vinculación de las carreteras con el entorno y el desarrollo de tecnologías, como los sistemas de posicionamiento global y los sistemas de información geográfica, en los últimos años se ha observado una tendencia mundial hacia el uso de bases de datos georeferenciadas como respaldo para el desarrollo de sistemas de gestión de pavimentos.

Herramientas de análisis

Se refieren a un conjunto de modelos matemáticos que se utilizan como apoyo a las siguientes tareas:

- 1) Predicción del deterioro del pavimento a lo largo de su vida útil y estimación de los efectos de las acciones de conservación.

- 2) Evaluación económica de proyectos de conservación y mejoramiento para tramos específicos, así como de políticas aplicables a toda la red o partes de ella. Para este propósito se utilizan métodos como el análisis del ciclo de vida o el del costo-beneficio.
- 3) Definición de prioridades con respecto a los requerimientos de conservación y mejoramiento de la Red, a través de análisis de proyectos candidatos, y la programación de los trabajos.
- 4) Usualmente, los algoritmos para definir prioridades utilizan criterios como el estado del pavimento, tasa de deterioro del mismo y volumen del tránsito, entre otros.
- 5) Optimización de los programas de conservación con objeto de maximizar los niveles de desempeño del pavimento o la rentabilidad de las inversiones correspondientes. En la mayoría de los casos, los modelos de optimización utilizan técnicas de programación matemática.
- 6) Evaluación del impacto de distintas estrategias de conservación y niveles de disponibilidad de recursos en el desempeño de red.

De acuerdo con la Norma ASTM 1166-00, la puesta en operación de un sistema de gestión de pavimentos requiere un estudio previo en el que se evalúe su compatibilidad con otros procesos institucionales

existentes; su utilidad real en la planeación y programación de los trabajos de conservación y desarrollo de la Red; y su aceptación por parte de los responsables de la gestión de pavimentos al interior de la organización operadora.

Asimismo, se requiere un plan en el que se definan el equipo y programas de computo; equipo de medición, personal y estructura organizacional necesarios para la operación del sistema, así como un programa para su implantación por etapas. El plan debe incluir también, procedimientos para la recopilación; ingreso; validación y actualización de información, generación de informes; y la revisión, calibración y mejoramiento de los modelos del sistema.

CAPITULO III

EVALUACION TECNICA DE INFRAESTRUCTURA VIAL

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Definición de Infraestructura Vial

Durante muchos años se tuvo un concepto equivocado de infraestructura vial, ya que solo se tomaban en cuenta aquellos elementos que inducían directamente sobre la operación de la vía; sin embargo, a medida que pasa el tiempo se han ido agregando otros aspectos que si bien no afectan la operación directa de los usuarios, si lo hacen sobre el entorno.

Por lo tanto se puede decir que se llama infraestructura vial a todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades tanto al medioambiente como a su entorno. Esto incluye a los pavimentos y sus características, puentes, túneles, dispositivos de seguridad, señalización, entorno, medio ambiente, impacto en general, etc. Cada uno de los elementos mencionados anteriormente cumplen

una función específica y única que lo hace indispensable dentro del buen funcionamiento de infraestructura.

3.1.2 Requerimientos de Información

Para establecer prioridades de actuación e indicar tipo y cantidades de obras de mantenimiento y/o rehabilitación, se requiere contar con la información que permita evaluar los pavimentos.

Las clases de datos que pueden ser utilizados por un Sistema de Gestión de Pavimentos son básicamente los siguientes:

- Datos de inventario (información permanente).
- Datos de Observación (estado actual del pavimento).
- Datos históricos (de otros pavimentos, de la construcción, de mantenimiento).
- Datos de las políticas.
- Datos del tránsito.
- Datos del medioambiente
- Datos de los costos (de construcción, mantenimiento, rehabilitación y usuarios).¹¹

Con estos datos podemos analizar y modelar el comportamiento

¹¹ Modern Pavement Management – Haas 1993

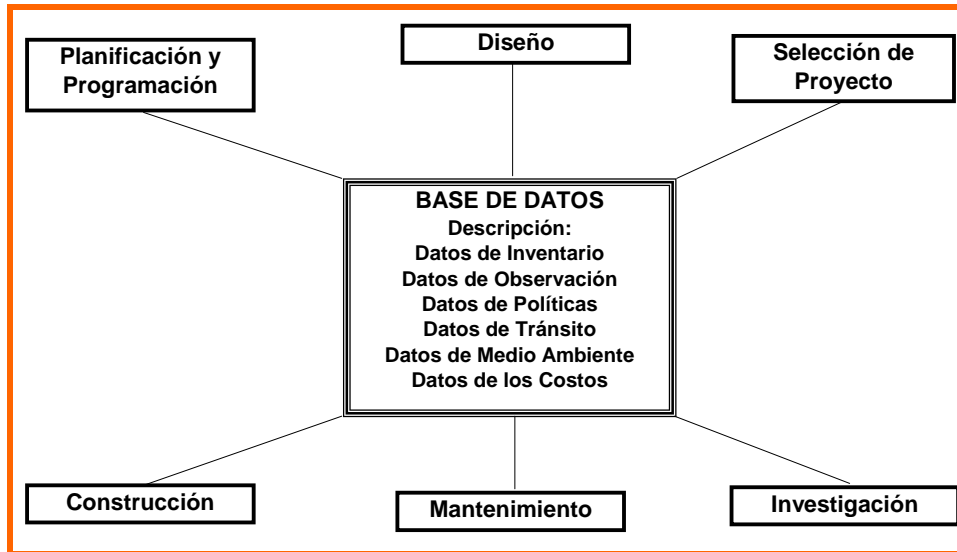


Fig. 26: Relaciones entre Datos y Base de Datos

3.1.3 Objetividad de la Evaluación

La mayoría de los procedimientos de toma de datos y de la evaluación de pavimentos son realizados en base al criterio de la persona encargada, por lo que pueden ser no uniformes y podrían perder su significado en el tiempo (por cambio de personal o de políticas). Esto hace necesario entrenar al personal y utilizar métodos conocidos globalmente, para que la evaluación sea desempeñada objetivamente.

La primera necesidad de una evaluación de pavimentos es la consistencia de su Banco de Datos, versus el tiempo y el espacio. Sin instrucciones detalladas y entrenamiento en los procesos de evaluación, y más aún si la recolección de datos se realiza contra el tiempo, las bases de datos serán inconsistentes, y por ende, dificultarán el posterior análisis y uso de los datos, llevando a tomar decisiones erróneas.

Es recomendable asignar medidas que den a conocer la importancia o peso de cada uno de los datos, ya que no siempre se requieren para el mismo tipo de evaluación o análisis a realizar. La evaluación debe ser hecha completa y cuidadosamente. La característica principal de las valorizaciones es que sean hechas de acuerdo a reglas estrictas que permitan la comparación objetiva entre diferentes pavimentos o entre la condición particular entre un año y otro.

No siempre se pueden obtener mediciones o índices que cumplan con la condición para comparar dos proyectos, debido al sesgo intrínseco de la toma de decisiones, produciéndose una desviación entre la realidad y lo expresado por las muestras. La desviación que ocurre cuando se observan pavimentos, puede deberse a dos causas principales:

- La primera es la variabilidad entre unidades, que refleja el hecho de que estadísticamente las unidades homogéneas pueden existir en un proyecto de rehabilitación, debido a que las unidades son la base para los análisis que se realizarán.
- La segunda fuente es la diversidad de la respuesta dentro de cada unidad, esto porque se relaciona a la fiabilidad de la eventual rehabilitación.

En resumen, la recolección de datos requiere de las siguientes decisiones:

¿Qué recolectar?

¿Quién recolectará los datos?

¿Cómo entrenar al personal para obtener consistencia y repetitividad de los datos?

¿Qué tipos de procedimientos se usará?

¿Cómo se identificará cada sección y cómo se relacionan?

¿Qué daño hará el tránsito de vehículos pesados?

¿Cuánto costará la revisión del sistema implantado?

¿Cuántos datos recolectar, y cuan menudo hacerlo?

¿Qué datos pueden ser recolectados subjetivamente, y que datos requieren medidas objetivas?¹²

3.2 SOLICITACIONES

Las solicitudes principales de un pavimento son el tránsito y el clima.

El tránsito visto como las cargas pesadas que circulan por el pavimento y el clima como lluvia y temperatura.

3.2.1 Tránsito

El tránsito es un factor de primera importancia a la hora de determinar o predecir el daño en el tiempo que sufrirá un pavimento en un periodo dado. Se puede apreciar que el volumen de vehículos ha crecido en forma importante en los últimos años, pero ese aumento ha sido aún mayor si lo vemos en términos de la carga que se transporta; esta situación tiene una implicancia significativa en el comportamiento de los

¹² Gestión de Infraestructura Vial: Hernán de Solminihaç

pavimentos. Las cargas de los vehículos son transmitidas al pavimento mediante dispositivos de apoyo multiruedas para distribuir la carga total sobre una superficie mayor. Esto tiene efecto de reducir las tensiones y deformaciones que se desarrollan al interior de la superestructura.

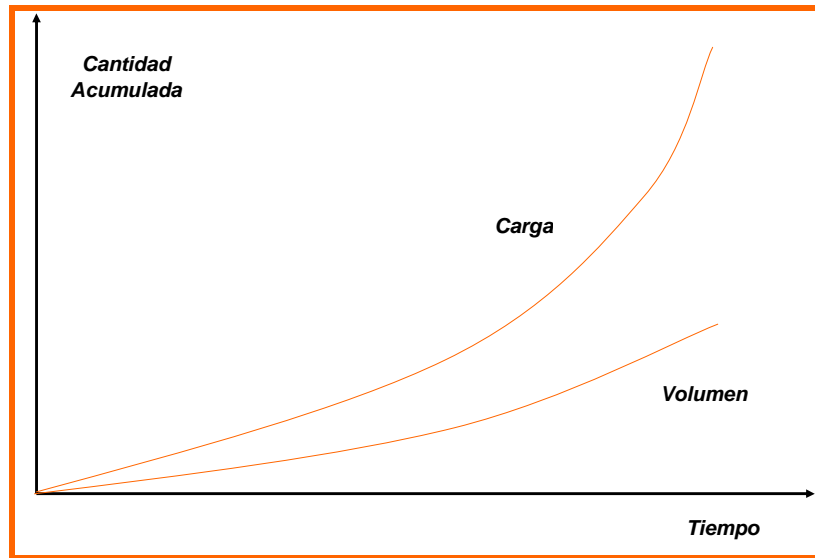


Fig. 27: Solicitación del Tránsito

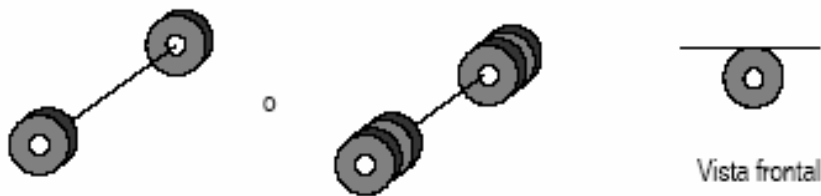
3.2.1.1 Efectos de las cargas en pavimentos

Esta de más mencionar que las principales causas del deterioro en los caminos son el tránsito y el efecto del clima.

Uno de los mayores problemas que se encuentran en las predicciones teóricas sobre el efecto destructivo de las cargas de tránsito, es el de decidir cual es el criterio más determinante a utilizar: tensión, deformación o serviciabilidad. Aún definido este problema, la dificultad persiste debido a la multiplicidad de factores que intervienen, esto es, tipo de apoyo, intensidad y frecuencia de las cargas, rigidez relativa de las capas componentes, etc.

En general, las cargas no son relevantes si su intensidad no sobrepasa un determinado valor. Es por esto que no se consideran los vehículos livianos, autos y camionetas, y solo son determinantes en el diseño los vehículos comerciales: camiones y buses. Los tipos de eje más usuales de los vehículos comerciales son los siguientes:

Eje Sencillo: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.



Eje tandem: Son dos ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Eje tridem: Son tres ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Adicionalmente al tipo de apoyo, importa el espaciamiento entre ruedas y la presión de inflado de los neumáticos. Cabe destacar que para cierto nivel de carga, a mayor cantidad de ruedas por eje, mejor será la

distribución de esfuerzos y menores los daños sobre la estructura del pavimento contribuyendo a una mejor y mas prolongada vida del camino.

A lo anterior se deben agregar distintas configuraciones de ejes, según el tipo de camión, que tienen autorización para circular, siempre y cuando cumplan con pesos máximos exigidos. El Reglamento Nacional de Vehículos, Decreto Supremo N° 034-2001-MTC, publicado en El Peruano, el 25 de julio del 2001, Pág. 207449; establece la tabla dimensiones y carga para unidad o combinación de vehículos:

SÍMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	EJE ORIENTADO	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MÁXIMO
				1º eje	2º eje	3º eje	4º eje	
G2		12,20	7	11				18
C3		13,20	7	18				25
C4		13,20	7	25				30
8x4		13,20	7+7	18				32
T2S1 ○ 2S1		20,00	7	11	11			29
T2S2 ○ 2S2		20,00	7	11	18			36
T2S2 ○ 2S2		20,00	7	11	11	11		40
T2S3 ○ 2S3		20,50	7	11	25			43
T2S3 ○ 2S3		20,50	7	11	11	18		47
T3S1 ○ 3S1		20,00	7	18	11			30
T3S2 ○ 3S2		20,00	7	18	18			43

SIMBOLLO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MAXIMO	
			EJE CALAVIERO	CARGA POR EJE O CUJO POSTERIOR				
				1º eje	2º eje	3º eje		4º eje
T33a2		20.50	7	18	11	11	47	
T33b O 331		20.50	7	18	25		46	
T33a3		20.50	7	18	11	18	46*	
C3R2 O 272		23.00	7	11	11	11	40	
C3R3 O 273		23.00	7	15	11	18	47	
C3R2 O 372		23.00	7	18	11	11	47	
C3R3 O 373		23.00	7	18	11	18	48	
C3R4 O 374		23.00	7	18	18	18	48	
C4R2		23.00	7	25	11	11	48	
C4R3		23.00	7	25	11	18	48	
Bx4R2		23.00	7+7	18	11	11	48	
Bx4R3		23.00	7+7	18	11	18	48	

SMBELO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MAXIMO	
			EJE COLUMBINO	CARGA POR EJE O CUTO POSTERIOR				
				1º eje	2º eje	3º eje		4º eje
B-4R4		29.00	7+7	18	18	18	48	
C2RB1		20.00	7	11	11		22	
C2RB2		20.50	7	11	18		38	
C2RB3		20.80	7	11	25		43	
C3RB1		20.00	7	18	11		38	
C3RB2		20.50	7	18	18		43	
C3RB3		20.50	7	18	25		48	
C4RB1		20.50	7	25	11		43	
C4RB2		20.50	7	25	18		48	
C4RB3		20.50	7	25	25		48	
B-4RE1		20.50	7+7	18	11		43	
B-4RE2		20.50	7+7	18	18		48	







MODELO	DIAGRAMA	LONGITUD TOTAL (MTS)	CARGA POR EJE (TN)				PESO BRUTO MÁXIMO	
			EJE DELANTERO	CARGA POR EJE O CUITO POSTERIOR				
				1º eje	2º eje	3º eje		4º eje
241FEB		20,50	7+7	18	25		48	
T2S2 S3			7	11	18	11	19	49+
E2		13,20	7	11			18	
E3-1		14,00	7	15			23	
B4-1		15,00	7+7	16			30	
BA-1		18,30	7	11	7		25	

Tabla 1: Tabla de Dimensiones y Carga Vehicular¹³

Con respecto a la tolerancia, se entiende por esta al rango de carga por sobre el peso máximo permitido, en el que no se sancionará al vehículo infractor al ser controlado por las balanzas de los peajes. Esto se aplica por las posibles diferencias de calibración entre las balanzas estatales, privadas y de concesión.

Al ser encontrado un vehículo con sobrecarga dentro del rango de tolerancia, este deberá descargar parte de su contenido hasta cumplir

¹³ Reglamento Nacional de Vehículos: Decreto Supremo N° 034-2001-MTC

con las Normas oficiales. Si el mismo vehículo presenta una sobrecarga por sobre el rango de tolerancia, será infraccionado, debiendo además descargar el sobrepeso.

Eje(s)	Neumáticos	Tolerancia
Simple	02	350 kg
Simple	04	550 kg
Doble	06	800 kg
Doble	08	900 kg
Triple	10	1,150 kg
Triple	12	1,250 kg

Tabla 2: Peso Máximo Permitido por Configuración de Ejes

Eje(s)	Neumático	Gráfico			Kilos
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Simple	2				7,000
Simple	4				11,000
Doble	6				16,000
Doble	8				18,000
Triple	10				23,000
Triple	12				25,000

Tabla 3: Configuración de Ejes¹⁴

3.2.1.2 Análisis de Demanda

Un aspecto muy importante en la demanda de tránsito es conocer de forma precisa las características del tránsito, que va desde conocer los tipos de vehículos circundantes hasta los niveles de carga de ellos.

Para esto, es necesario desarrollar una metodología eficiente mediante

¹⁴ Reglamento Nacional de Vehículos: Decreto Supremo N° 034-2001-MTC

la cual se puede tener un conocimiento global del tránsito que circula por la red y determinar las principales características de la utilización de los caminos.

Dos principales datos del estudio de Tránsito son:

Volumen de tránsito: Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o un carril durante una unidad de tiempo. Sus unidades son vehículos/día; vehículos/hora, etc.

Índice Medio Diario, IMD: Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo.

Según el período de análisis para medir el volumen, podrá ser índice medio diario anual, IMDA, índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS).

El reglamento nacional de Vehículos, a su vez clasifica a los vehículos para un estudio de tránsito de la siguiente manera:

Furgoneta: Vehículo automotor para el transporte de carga liviana, con 3 ó 4 ruedas, con motor de no mas de 500 cm³ de cilindrada.

Automóvil: Vehículo automotor para el transporte de personas normalmente hasta de 6 asientos y excepcionalmente hasta de 9 asientos.

Station Wagon: Vehículo automotor derivado del automóvil que al rebatir los asientos posteriores, permite ser utilizado para el transporte de carga.

Camioneta pick-up: Vehículo automotor de cabina simple o doble, con caja posterior destinada para el transporte de carga liviana y con un peso bruto vehicular que no exceda los 4,000 kg.

Camioneta panel: Vehículo automotor con carrocería cerrada para el transporte de carga liviana con un peso bruto vehicular no exceda los 4,000 kg.

Camioneta rural: Vehículo automotor para el transporte de personas de hasta 17 asientos y cuyo peso bruto vehicular no exceda los 4,000 kg.

Ómnibus: Vehículo autopropulsado, diseñado y construido exclusivamente para el transporte de pasajeros y equipaje, debe tener un peso seco no menor de 4,000 kg.

Camión: Vehículo autopropulsado motorizado destinado al transporte de bienes con un peso bruto vehicular igual o mayor a 4,000 kg. Puede incluir una carrocería o estructura portante.

Remolcador o Tracto camión: Vehículo motorizado diseñado para remolcar semirremolques y soportar la carga que le transmite estos a

través de la quinta rueda.

Remolque: Vehículo sin motor diseñado para ser jalado por un camión u otro vehículo motorizado, de tal forma que ninguna parte de su peso descansa sobre el vehículo remolcador.

Semirremolque: Vehículo sin motor y sin eje delantero, que se apoya en el remolcador transmitiéndole parte de su peso, mediante un sistema mecánico denominado tornamesa o quita rueda.¹⁵

3.2.1.3 Proyección

Hay cuatro consideraciones sobre la estimación del tránsito que pueden afectar significativamente el ciclo de vida de un pavimento:

- La exactitud de los valores de la carga equivalente utilizados para estimar el daño inducido por los ejes equivalentes.
- La precisión de la información sobre volúmenes y pesos del tránsito existente.
- La predicción de los ejes equivalentes para el periodo a evaluar, y
- La interacción de la edad y el tránsito que afecta el nivel de serviciabilidad.

Es posible estimar el tránsito a futuro en base a los siguientes indicadores:

¹⁵ Reglamento Nacional de Vehículos: Decreto Supremo N° 034-2001-MTC

- Crecimiento general de la economía,
- Diversificación del tránsito, si el camino es mejorado, vehículos que transitaban por una ruta paralela preferirán la rehabilitada, y
- Tránsito generado, el cual es el tránsito que se espera que surja solamente por el mejoramiento de una vía.

3.2.1.3.1 Tasa de Crecimiento

La tasa de crecimiento corresponde a la variación porcentual de la cantidad del último año de medición con respecto a la medición anterior, para ello se hace un estudio tomando en cuenta las mediciones de IMD de cada tipo de vehículo y hacer una comparación IMD vs. t.

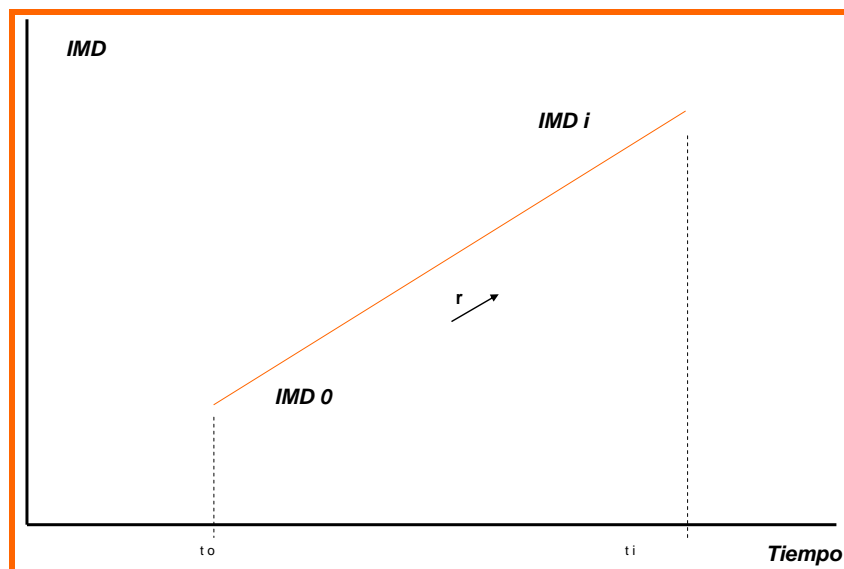


Fig. 28: Regresión lineal para cálculo de Tasa de Crecimiento

3.2.1.4 Cuantificación de los Volúmenes de Demanda

Para todo tipo de análisis sobre el comportamiento de los pavimentos se necesita conocer la cantidad total de ejes equivalentes que solicitará la

carpeta de rodado, para ello se debe calcular en primer lugar el factor de equivalencia por vehículo, luego la tasa de crecimiento para cada uno de ellos y finalmente se debe calcular la cantidad total de vehículos que utilizarán la vía para así multiplicarlas por los “Ejes equivalentes”. En base a lo anterior se puede decir que los Ejes Equivalentes Acumulados (EEa) se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$\mathbf{EEa = EE \times \text{Factor de Crecimiento}}$$

Donde:

Factor de crecimiento:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

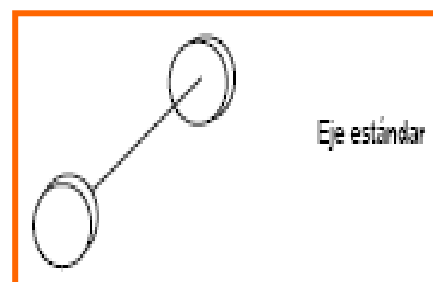
r: tasa de crecimiento anual, %

n: período de diseño en años

3.2.1.5 Definición de Ejes Equivalentes

El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de ESAL, que es *equivalent single axle load*, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento.

El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos. El ESAL pesa 18,000 lb ó



8.2 tn ó 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1(Uno).

3.2.1.5.1 Factor de Equivalencia de Carga

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje (FEC). Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHO Road Test. Los resultados obtenidos han permitido determinar que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes, se expresa como:

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^4$$

Donde:

P_0 es la carga estándar y P_1 es la carga cuya equivalencia de daño se desea calcular.

Se muestran los factores de equivalencia de carga publicada en la Guía AASHTO 1986.

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.0	7.45
364.7	82,000		32.0	8.20
373.6	84,000		35.3	8.90
382.5	86,000		38.8	9.80
391.4	88,000		42.6	10.6
400.3	90,000		46.8	11.6

Tabla 4: Factores de equivalencia de Carga

3.2.1.5.2 Factor Camión

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- a) asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- b) Estimar el F.C. por algún método empírico.

En este cálculo no se incluyen a los autos, por que el paso de estos no se consideran un efecto significativo en los pavimentos.

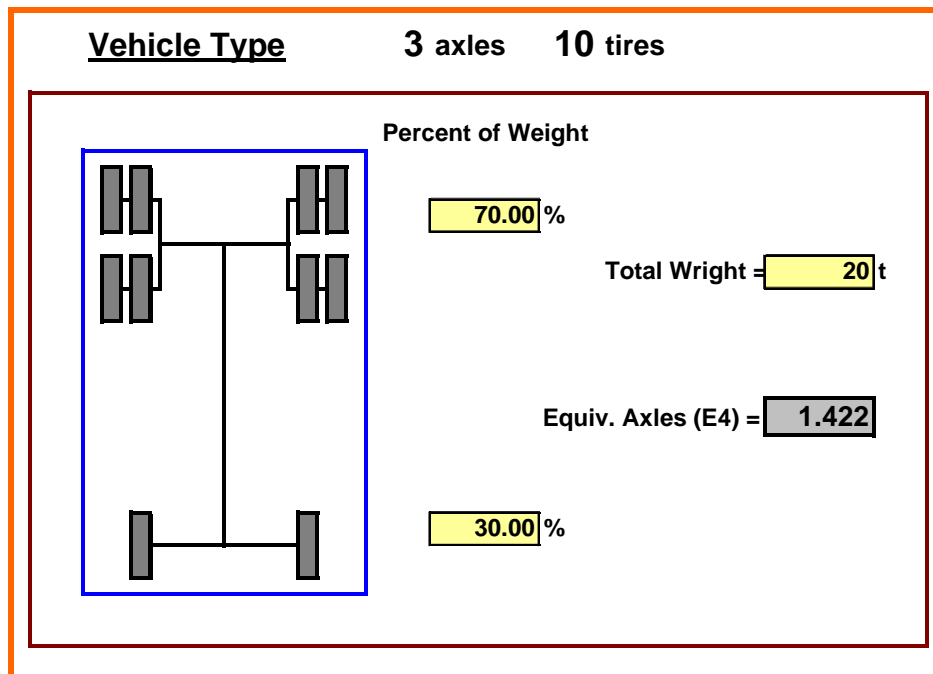


Fig. 29: Cálculo computarizado del Factor Camión para una configuración de 3 ejes y 10 ruedas¹⁶

¹⁶ Hoja de Cálculo de ESALF: Rodrigo Archondo Callao

3.2.1.5.3 Cálculo de Ejes Equivalentes

La manera mas rápida de conocer la cantidad de Ejes Equivalentes es multiplicando la cantidad de unidades por vehículo que circulan por su Factor Camión correspondiente.¹⁷

3.2.2 Medio Ambiente

3.2.2.1 Efectos de la temperatura

Producirá envejecimiento superficial de la capa de rodado.

A altas temperaturas:

- Ablandamiento del asfalto reduciendo el espesor.
- Reducción de la viscosidad del asfalto.

A bajas temperaturas:

- Pérdida de flexibilidad.
- Grietas por contracción.

Además, el efecto de las bajas temperaturas puede producir congelamiento tanto en la superficie como en las capas granulares y la subrasante.

3.2.2.2 Efectos de la Humedad

Dependerá principalmente de:

¹⁷ Diseño Moderno de Pavimentos: Miñaya y Ordoñez

- Adherencia del asfalto con el agregado.
- Tipo de granulometría (cerrada o abierta).
- Cantidad de huecos.
- Cantidad de asfalto.
- Espesor de la película de asfalto

En general, tendremos las siguientes consecuencias:

- Disgregación de la mezcla.
- Transporte de contaminantes en grietas.
- Reducción de la resistencia y la estabilidad de la base, sub base y subrasante.
- Afecta también la resistencia al deslizamiento (fricción).

El agua infiltra en la estructura del pavimento de diferentes formas, como grietas y juntas. Esta situación afectará las características físicas de la estructura ya que reduce la resistencia del material granular de las subcapas debido al efecto de bombeo, el cual arrastra los finos fuera de las capas granulares, perdiendo paulatinamente la capacidad de soporte.

En esto se basa el concepto de suficiencia de drenaje, por lo que se hace necesario contar con un drenaje eficiente. La tabla 5 muestra las definiciones generales correspondientes a los diferentes niveles de drenaje:

<i>Calidad de Drenaje</i>	<i>Agua removida en</i>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	sin drenaje

Tabla 5: Condiciones de Drenaje¹⁸

Para obtener un adecuado drenaje, se deberían tener dos tipos de sistemas de drenaje:

- Subdren, que mantenga la estabilidad del soporte del pavimento, y
- Drenaje de agua superficial, remover al agua que presenta peligro para los usuarios y que daña el pavimento.

En general, para mantenerse al margen de estos problemas se recomienda:

- Un buen sistema de drenaje que permita la evacuación constante de las aguas.
- Un adecuado mantenimiento rutinario, para evitar la filtración del agua.

¹⁸ Guide for design of Pavement Structures: AASTHO

3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE DISEÑO

En el diseño geométrico existen dos conceptos principales, estas son la movilidad y la accesibilidad. Un camino con una buena movilidad es un camino que tiene un desplazamiento sin interrupciones, que permite un flujo libre y que por lo tanto privilegia la rapidez en el movimiento. Por otro lado un camino con buena accesibilidad es un camino que permite al usuario entrar y salir de él con relativa frecuencia, aunque esto dificulte un flujo más expedito.¹⁹

Para que un camino cumpla su función de servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, debe tener un buen diseño geométrico, esto exige cumplir a grandes rasgos cumplir con tres requisitos importantes: tener un trazado, dimensionamiento y un diseño de cruces adecuado.

El trazado abarca el diseño planimétrico y altimétrico, es decir, diseñar curvas horizontales, verticales, pendientes, peraltes, etc. El dimensionamiento determina el número y ancho de de pistas, diseño de la mediana, berma, carriles adicionales, de aceleración y desaceleración, entre otras. Por ultimo el diseño de cruces implica buscar soluciones adecuadas de los puntos de intersección de dos o más caminos.

¹⁹ Gestión de Infraestructura Vial: Hernán de Solminihac

Un camino con trazado adecuado provee siempre, para la velocidad de diseño, una distancia de visibilidad de parada y adelantamiento, suficiente y segura. Esto quiere decir que en cualquier punto y transitando a dicha velocidad, el usuario debe ser capaz de ver un obstáculo con suficiente antelación para detener el vehículo o esquivar dicho obstáculo, asimismo en carreteras de dos carriles (uno por sentido) el usuario debe contar con una adecuada visibilidad para efectuar la maniobra de adelantamiento.

Como último concepto importante, se debe mencionar que un diseño seguro debe ser siempre uniforme, es decir con las mismas características a lo largo de su trayectoria, más aún, a lo largo de toda una ruta. De esta manera el usuario no se encuentra con imprevistos que lo obliguen a realizar maniobras repentinas y complicadas, si el usuario sabe lo que le espera, no se producen accidentes.

El trazado tiene una gran influencia en la seguridad cualquiera sea su configuración. Las rectas son peligrosas, en el sentido que el conductor tiende a bajar su nivel de atención, se desconecta de las condiciones del camino y del tránsito produciéndose numerosos accidentes, curvas muy extensas incluso pueden propiciar que el conductor se quede dormido al volante con las consecuencias desastrosas que eso implica.

Carreteras con muchas curvas tienen el riesgo de que el conductor se salga de su pista, enfrentado a otro vehículo o bien a un obstáculo. Si

consideramos que las carreteras con muchas curvas se encuentran por lo general en zonas montañosas, las consecuencias de salirse del camino son más negativas aun, ya que implicará una caída abrupta. Las carreteras con curvas aisladas tienen el problema de que el conductor baja su nivel de atención en la recta y no esta preparado para una curva, por lo tanto una curva aislada aparece sorpresivamente, no permitiendo al conductor seguir la trayectoria del camino.

Lo ideal en un camino es tener un trazado sinuoso con grandes radios de curvatura, de esta forma se mantiene al conductor atento a las condiciones del trazado y tránsito, pero no le se obliga a realizar maniobras dificultosas en curvas de escaso radio de curvatura. En algunos casos se aprecia una inconsistencia en el diseño debido a que no existe la suficiente regulación. Lo anterior obliga a los conductores a realizar maniobras inesperadas con un alto riesgo para ellos y otros usuarios que transitan por la vía.

3.4 EVALUACION FUNCIONAL

La evaluación funcional está relacionada a la superficie del pavimento y a las características subterráneas y las propiedades que definen la suavidad de la calzada, o a aquellas características de la superficie que definen la resistencia de fricción u otras características de seguridad de la superficie del pavimento.

Debido a la complejidad conceptual para reconocer la funcionalidad de un pavimento, fue necesario dividir los parámetros indicadores en este capítulo en dos partes: Serviciabilidad y Seguridad.

3.4.1 Serviciabilidad de los Pavimentos

La medición de la calidad de un pavimento, presenta una dificultad conceptual porque depende de para qué se está evaluando, si lo que interesa es la situación estructural, o bien la condición funcional de su superficie. Aunque esto se tenga resuelto, si no se utilizan herramientas o metodologías estandarizadas de evaluación, los resultados no serán comparables con las mediciones hechas por otra persona, ni entre un pavimento y otro.

Para resolver esta dificultad en 1959 se desarrolló la prueba AASHO el cual se explica a continuación a partir de las suposiciones básicas:.

- El pavimento debe proporcionar confort y seguridad al usuario.
- El confort y la calidad de rodado es un aspecto subjetivo o de opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede determinarse a partir del promedio de las evaluaciones de todos los usuarios. Este promedio da origen al Present Serviciability Rating (PSR), el cual por naturaleza tiene carácter subjetivo.
- Hay algunas características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente y pueden relacionarse con las evaluaciones subjetivas.

Este procedimiento permite obtener un índice objetivo denominado Present Serviciability index(PSI).

- El comportamiento del pavimento puede ser representado por la historia de la serviciabilidad de dicho pavimento.

En el ensayo de AASHO, la serviciabilidad se cuantificó inicialmente a través del “Present Serviciability Rating” (PSR), el cual es obtenido mediante la evaluación de un grupo de conductores que manejaban en el pavimento y clasificaban su condición en una escala de 0 a 5, de Muy Mala a Muy Buena, respectivamente. Dicha clasificación se presenta a continuación

PSR	Condición
0 – 1	Muy Mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy Buena

Tabla 6: Clasificación de la condición de la Serviciabilidad según AASHO ²⁰

En vista que dicha metodología contenía aspectos subjetivos, dentro del proyecto de AASHO Road Test, se realizaron correlaciones entre el PSR y mediciones objetivas de la condición del pavimento, en las cuales se consideraban características de regularidad, agrietamiento, baches y ahuellamiento, lo que contribuyó a determinar el Present Serviciability Index (PSI). La determinación de la rugosidad, se realizó mediante el

²⁰ Determinación del Índice de de Regularidad internacional IRI: Ministerio de obras Públicas de El Salvador

cálculo de la varianza de la pendiente longitudinal (SV), la cual corresponde a la varianza de las medidas de desnivel del perfil longitudinal, medido con un equipo denominado perfilómetro.

Expresión Analítica del índice de Serviciabilidad: Las ecuaciones originales del PSI para pavimentos de asfalto y hormigón desarrolladas en la prueba AASHO se muestran en las siguientes ecuaciones:

Asfalto: $PSI = 5.03 - 1.91 \times \log(1 + SV) - 1.38 \times (RD)^2 - 0.1$

Hormigón: $PSI = 5.41 - 1.78 \times \log(1 + SV) - 0.09$

Donde:

SV: varianza de la pendiente longitudinal (Slope Variance), medida con un perfilógrafo CHLOE, rad x 10⁻⁶.

RD: ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, inch.

C (en asfalto): superficie agrietada, ft²/1000 ft².

C (en hormigón): longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertas, ft²/1000 ft².

P: superficie bacheada, ft²/1000 ft².

Serviciabilidad y curva de Comportamiento de un Pavimento: la evaluación del comportamiento o performance del pavimento implica ineludiblemente estudiar la respuesta funcional de un tramo o sección de camino. Para analizar este comportamiento funcional del pavimento se necesita información de la calidad de rodadura durante el periodo en estudio y de los datos históricos del tránsito que ha estado solicitando al pavimento durante ese periodo. La historia del deterioro de la calidad de rodadura o nivel de servicio es lo que se define como curva de comportamiento del pavimento.

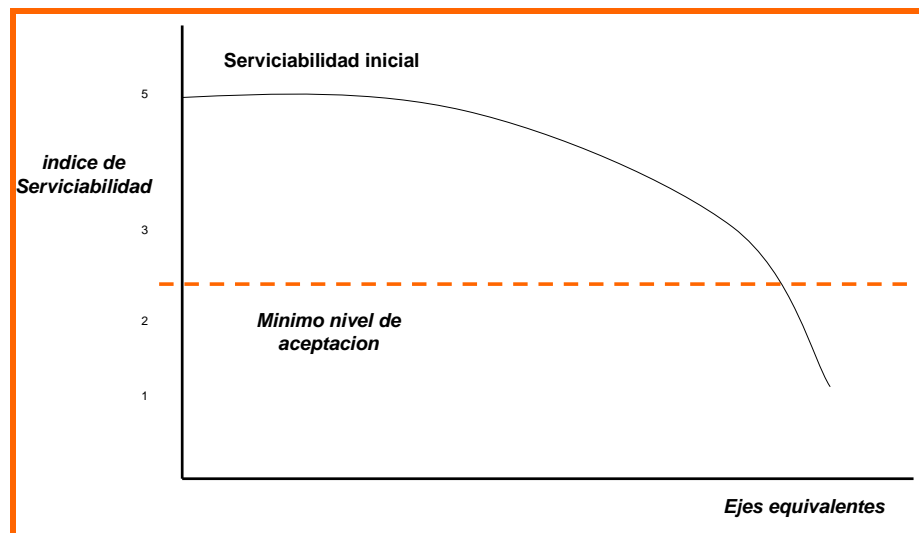


Fig. 30: Curva de comportamiento de un Pavimento

El índice de Serviciabilidad se registró periódicamente para cada uno de los circuitos de prueba de la experiencia AASHO, durante todo el tiempo en que ésta se realizó. Este registro constituyó la historia del comportamiento del pavimento desde su puesta en servicio hasta el fin de la prueba, reflejada en un indicador único que, incluyendo parámetros de deterioro físico, estima el nivel de servicio al usuario en cada momento de la prueba.

En la década de los 70's, el Banco Mundial (World Bank) financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados; aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

La existencia de dicha situación, motivó al Banco Mundial a desarrollar el proyecto Internacional Road Roughness Experiment (IRRE), en Brasil el año de 1982, en la cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica, donde se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para un número de vías bajo diferentes condiciones y por una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto se seleccionó un parámetro de medición de la rugosidad superficial, el cual satisface completamente los criterios de ser estable en el tiempo, transferible y relevante, denominado: "Índice de Rugosidad Internacional" (IRI, International Roughness Index). Dicho parámetro constituye en la actualidad uno de los controles de recepción más importantes, relacionados con el nivel de regularidad de los pavimentos, que se refleja en el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación para los usuarios; así como disminución de los efectos dinámicos en el pavimento.

3.4.1.1 El Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

La definición del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro, ver figura 31) al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h.

Este modelo se desarrolló a través de un conjunto de masas ligadas entre si, las cuales generan un movimiento vertical al ser desplazadas por el camino, de esta forma se permite reducir el análisis de una superficie al análisis de una línea que representa el perfil longitudinal, es decir, desde un análisis bidimensional a un estudio unidimensional.

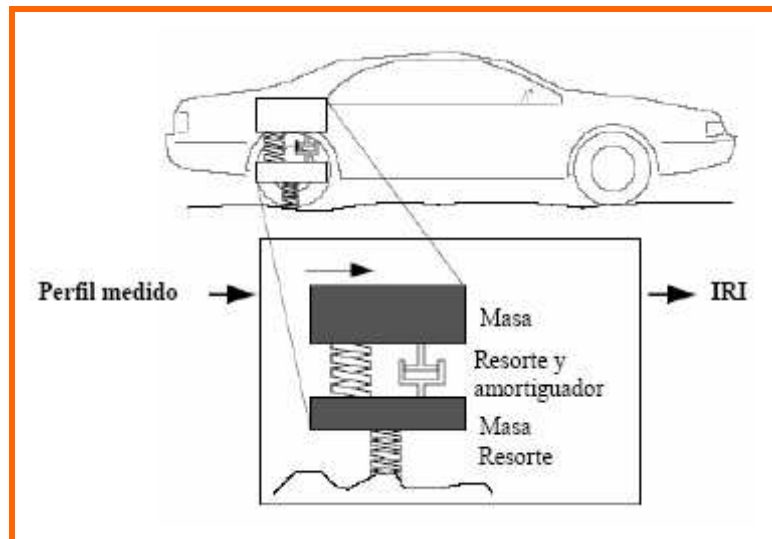


Fig. 31: Modelo del Cuarto de Carro²¹

²¹ Determinación del Índice de de Regularidad internacional IRI: Ministerio de obras Públicas de El Salvador

Dicho valor es medido en unidades de m/km, mm/m y in/mi, no existiendo límite superior en su valor; sin embargo, es importante indicar que en una carretera con valores de IRI mayores a 8 m/km es difícil de transitar, excepto a velocidades menores.

Si se cuenta con el IRI calculado de dos secciones contiguas, el IRI sobre la sección que es la suma de las dos es simplemente el promedio de los IRI de cada sección. A una velocidad de simulación de 80 km/h, la inicialización afecta la respuesta del modelo del cuarto de carro. La mejor forma de tratar con este problema es comenzar a medir el perfil 20 metros antes de la sección a evaluar. El cálculo del IRI está linealmente relacionado con las variaciones en el perfil, es decir si las elevaciones de perfil aumentan al doble, el resultado del cálculo del IRI también aumentará el doble.

El IRI está definido como una propiedad de un solo perfil longitudinal, por lo tanto si se desea establecer un valor por pista se deberían establecer criterios de cuántos perfiles tomar, generalmente se toman los perfiles en ambas huellas de cada pista para así derivar un valor por pista.

Los sitios de prueba utilizados en el desarrollo del concepto del IRI contaban con un largo mínimo de 320 metros. El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud del camino; sin embargo, los usuarios deben entender que el cálculo de IRI depende altamente sobre que longitud es acumulado. Es fundamental entender la relación que existe

entre variación de rugosidad a lo largo del camino y el largo del camino sobre el cual la rugosidad es promediada.

Algunas de las propiedades del análisis del IRI son:

- El IRI es un indicador independiente del equipo de medida. Lo que depende del equipo de medida son los datos de entrada o cotas de perfil.
- La escala del IRI es linealmente proporcional con la regularidad.

La rugosidad se mide longitudinalmente por carril mediante un sistema perfilométrico de precisión, midiendo las cotas del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250mm como máximo.

3.4.1.1.1 Equipos para Evaluar la Rugosidad

Existen diferentes equipos para determinar la regularidad superficial de los pavimentos, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados. En la siguiente tabla se presentan algunos de los equipos desarrollados para determinar la regularidad superficial de los pavimentos:

EQUIPO	GRADO DE PRECISIÓN	IMPLEMENTACIÓN	COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	OBSERVACIONES
Perfilógrafos (Profilographs)	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para evaluar la condición de redes viales.
Tipo Respuesta para medir la regularidad de las carreteras (Response-Type Road Roughness Measuring Systems, RTRRMS)	Media	Monitoreos de red vial	Compleja	Los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo.
Nivel y Estadia (Rod and Level)	Muy alta	Mediciones de perfil del pavimento y calibraciones	Simple	El uso de estos equipos para proyectos largos es impráctico y los costos son muy elevados.
Dipstick	Muy alta	Mediciones de perfil del pavimento y calibraciones	Muy Simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimentos en longitudes relativamente pequeñas.
Perfilómetro Inercial (Inertial Profilometer)	Muy Alta	Monitoreos y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipos con alta precisión, que permiten la comparación de resultados y son estables en el tiempo. Además pueden ser utilizados para calibración de los equipos Tipo Respuesta.

Tabla 7: Equipos para medir la Rugosidad Superficial de los Pavimentos

A continuación se hace una breve descripción de los equipos mencionados anteriormente:

a) Perfilógrafos (Profilographs)

Los perfilógrafos han estado disponibles durante muchos años y han existido en una variedad de formas, configuraciones, y marcas. Debido a su diseño éstos no son prácticos. En la actualidad es utilizado el Perfilógrafo de California, el cual su uso más común es para la inspección de construcciones de pavimentos rígidos, control de calidad, y aceptación de proyectos. Existen diferencias entre perfilógrafos, los cuales están relacionados con la configuración de las ruedas, el funcionamiento y procedimientos de medida de los dispositivos.

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre (ver Fig. 32). La desviación de un plano de la referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la



sensible. Los perfilógrafos pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6.0 (20 pies) en longitud.

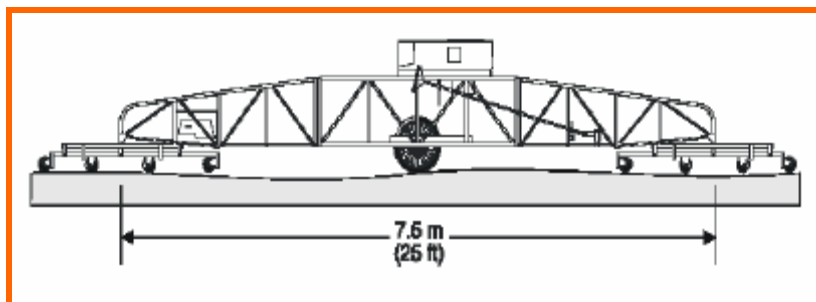


Fig. 32: Vista lateral del Perfilógrafo de California

b) Equipos Tipo Respuesta (RTRRM)

La recolección de datos de regularidad, también es realizada a través de equipos Tipo Respuesta (Response Type Road Roughness Meters, RTRRM), comúnmente llamados "Medidores de camino". Los sistemas RTRRM son adecuados para el monitoreo rutinario de una red pavimentada y para proporcionar una visión global de la condición y el mantenimiento necesario.

Los equipos RTRRM miden los movimientos verticales del eje trasero de un automóvil o el eje de un remolque relativo al marco del vehículo. Los medidores se instalan en los vehículos con un transductor de desplazamiento localizado entre la mitad del eje y el cuerpo del automóvil o remolque (ver Fig. 33). El transductor detecta pequeños incrementos del movimiento relativos entre el eje y el cuerpo del vehículo.

La desventaja de un RTRRM es que el movimiento del eje del vehículo vs. tiempo depende de la dinámica de un vehículo particular, lo que produce dos efectos no deseados:

- Medida de regularidad no estables con el tiempo: las medidas realizadas recientemente con un RTRRM, no pueden ser comparadas con aquellas mediciones realizadas en años anteriores.
- Las medidas de regularidad no son transportables: las mediciones realizadas por un RTRRM que utiliza un determinado sistema son raramente reproducibles por otro.



Fig. 33: Equipo Tipo Respuesta (Bump Integrator)

c) IRI Topográfico

Es conocido como Perfilómetro manual, considerado de bajo rendimiento, debido a que el proceso de recolección de datos es relativamente lento en comparación con otros equipos (ver Fig. 34). Se considera que para la evaluación de la regularidad de la superficie de rodadura de proyectos de gran magnitud es impráctico y de alto costo. Sin embargo, este tipo de equipo tiene una gran precisión y puede obtener una medida exacta del perfil del pavimento.



Fig. 34 Método de la Mira y Nivel

d) Dipstick

Los equipos Dipstick pueden usarse para obtener una cantidad relativamente pequeña de medidas del perfil de pavimento. El Dipstick (ver Fig. 35) consiste en un inclinómetro apoyado en dos apoyos separados por 305 mm (12 plg), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro. El operador conduce el Dipstick sobre una sección de pavimento premarcada, rotando el instrumento alternadamente sobre cada apoyo. Se registran las lecturas secuencialmente mientras el operador recorre la sección. El dispositivo registra 10 a 15 lecturas por minuto. El software de análisis es capaz de

proporcionar un perfil exacto a ± 0.127 mm (± 0.005 plg). El Dipstick comúnmente es usado para medir un perfil para la calibración de instrumentos más complejos, tal como el RTRRM, así mismo para la verificación de resultados obtenidos con los Perfilómetros Inerciales.



Fig. 35: Equipo Dipstick

e) Perfilómetro Inercial (Inertial Profilometer)

Los equipos de referencia inercial son equipos que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrada por acelerómetros colocados en el vehículo utilizados para obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (por ejemplo: Láser) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento (ver Fig. 36).

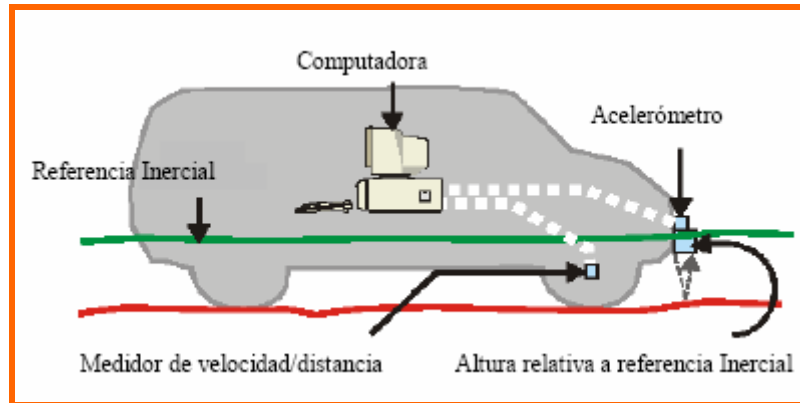


Fig. 36: Componentes de Equipo con Referencia Inercial



Fig. 37: Perfilómetro RSP de Dynatest

3.4.1.1.2 Clasificación de Equipos para Evaluar la Rugosidad de Pavimentos

Los equipos que se utilizan para medir la regularidad de las carreteras son clasificados de acuerdo a dos parámetros: el intervalo de almacenamiento de datos y la resolución de medición vertical; el World Bank en su Papel Técnico N°46: "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements" y la norma ASTM E-950-

98, presenta la clasificación para los diferentes métodos perfilométricos de la siguiente manera:

Clasificación de equipo	Clasificación según Banco Mundial (World Bank), Papel Técnico N°46 Requerimientos	Clasificación según ASTM E-950-98	
		Requerimientos	
		Intervalos longitudinales de almacenamiento de datos	Resolución de mediciones verticales
Clase 1*	Perfilómetros de precisión. Requiere que el perfil longitudinal de un camino sea medido como una serie de puntos de elevación equidistantes a través de la huella o rodela de la vía para calcular el IRI. Esta distancia no debería superar los 0.25m y la precisión en la medición de la elevación debería ser de 0.5mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y de 3mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km	Menor o igual a 25 mm	Menor o igual a 0.1 mm
Clase 2	Otros métodos perfilométricos. Requieren una frecuencia de puntos de perfil, no superior a 0.5m y una precisión en la medición de la elevación comprendida entre 1.0 mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y 6.0 mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km	Mayor que 25 mm hasta 150 mm	Mayor que 0.1 mm hasta 0.2 mm

Clasificación de equipo	Clasificación según Banco Mundial (World Bank), Papel Técnico N°46 Requerimientos	Clasificación según ASTM E-950-98	
		Requerimientos	
		Intervalos longitudinales de almacenamiento de datos	Resolución de mediciones verticales
Clase 3	IRI estimado mediante ecuaciones de correlación. La obtención del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta (RTRRM), los cuales han sido calibrados previamente con Perfilómetros de precisión mediante ecuaciones de correlación.	Mayor que 150 mm hasta 300 mm	Mayor que 0.2 mm hasta 0.5 mm
Clase 4	Estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas. Incluyen mediciones realizadas con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las carreteras.	Mayor que 300 mm	Mayor que 0.5 mm

Tabla 8: Clasificación de Equipos para Medición de Rugosidad

CLASE	EQUIPOS
CLASE I Perfilómetros de Precisión	Perfilómetro Laser Equipos de Operación Portátil TRL beam, Face Dipstick/ROMDAS Z-250 ARRB Walking Profiler
CLASE II Otros Métodos Perfilométricos	APL Profilometer, Profilographs (California, Rainhart) e Inertial Profilers
CLASE III IRI estimado a partir de ecuaciones de correlación	Roadmaster, ROMDAS, TRL Bump Integrator ARRB Roughometer
CLASE IV Alcances subjetivos, mediciones sin calibrar	Inspección Visual, Codificación

Fig. 38: Ejemplo de Equipos de Medición de Rugosidad

3.4.1.2 Relaciones entre PSI e IRI

La relación entre la Serviciabilidad y la Rugosidad se establece a partir de los valores de rugosidad y los resultados de PSR. El IRI es el Índice de Rugosidad Internacional, que fue obtenido en cada tramo a través de un Perfilómetro láser y que se expresa en m/km. Se debe recordar que el IRI del Tramo es el promedio del IRI sobre el perfil de cada huella, y considerando para la longitud total del tramo que debe ser 400 metros. El PSR es el promedio para cada tramo de las calificaciones individuales de los miembros del panel evaluador. Cuando se establecen ecuaciones que predicen los valores de PSR a partir de mediciones objetivas como las de Rugosidad, entonces se habla de PSI o “Present Serviciability index” para diferenciarlo del “Present Serviciability Rating” que proviene directamente del panel de usuarios.²²

²² Gestión de infraestructura Vial: Hernán de Solminihaç

Modelo empleado por el HDM III (Paterson 1987)

$$\text{PSI} = 5 \times e^{(-\text{IRI}/5.5)}$$

Modelo desarrollado por B. Al-Omari y M.I. Darter (1994)

$$\text{PSI} = 5 \times e^{(0.26 \text{ IRI})}$$

Modelo desarrollado por Dujisin – Arroyo (1995)

$$\text{PSI} = 7.10 - 2.19 (\text{IRI})^{0.5} \quad \text{Concreto Hidráulico}$$

$$\text{PSI} = 5.85 - 1.68 (\text{IRI})^{0.5} \quad \text{Asfalto}$$

3.4.2 Seguridad Vial

Uno de los aspectos de mayor importancia para la gestión vial es la provisión de adecuadas condiciones de fricción superficial en los pavimentos, para brindar mayor seguridad a la circulación de los vehículos, especialmente ante la presencia de agua en la superficie pavimentada. Las condiciones de adherencia entre los neumáticos y el pavimento dependen, entre otros factores, de la textura superficial de los pavimentos.

El objetivo de la gestión vial es lograr una adecuada resistencia al deslizamiento, para lo cual deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Suficiente Macrotextura para favorecer el drenaje.

- Adecuada microtextura, resistente al pulimiento.
- Permanencia de estas condiciones en el tiempo.

3.4.2.1 Conceptos Básicos: Adherencia, Fricción y resistencia al Deslizamiento

La adherencia en un pavimento se puede definir como “la habilidad de movilizar las fuerzas de fricción del contacto entre neumático y pavimento por efecto de las sollicitaciones inducidas por el proceso de conducción, tales como aceleración, frenadas y virajes”. La adherencia permite que el vehículo conserve en todo momento su trayectoria, especialmente en los virajes. También contribuye a reducir las distancias de frenado, y a favorecer las maniobras de recuperación de trayectoria.

La adherencia entre neumático y pavimentos varía según las condiciones del medio de interfase entre ambos sólidos, identificándose los estados siguientes: seco, húmedo, mojado, con nieve y con hielo u otro agente contaminante (caucho, polvo, grasas, etc). En el estado seco, la interacción se produce por contacto directo entre el neumático y el pavimento, en presencia de aire; en los casos segundo y tercero, la interacción se produce en un ambiente en el cual el agua puede tender a desplazar el aire en la interfase, produciéndose el fenómeno de hidroplaneo.

Una manera de cuantificar la adherencia en forma indirecta es a través de la medición del coeficiente de fricción y de la resistencia al deslizamiento.

La fricción superficial de un pavimento se define habitualmente como aquella fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y los neumáticos impedidos de rotar en forma parcial o total, cuando se deslizan a lo largo de una superficie. Dicha propiedad es habitualmente descrita a través del coeficiente de fricción, medido como la razón entre la fuerza de fricción y una fuerza normal originada por el peso. La fuerza de fricción tiende a impedir el movimiento del vehículo llegando a un valor máximo correspondiente a: $F \leq F_{MAX} = f_M \times Q$, en donde F_{MAX} es la fuerza de fricción máxima, expresada como el producto del coeficiente de fricción máxima (f_M) por el peso (Q) del vehículo. En un plano horizontal, la fuerza de fricción F puede expresarse en términos vectoriales como se muestra en la Fig. 39

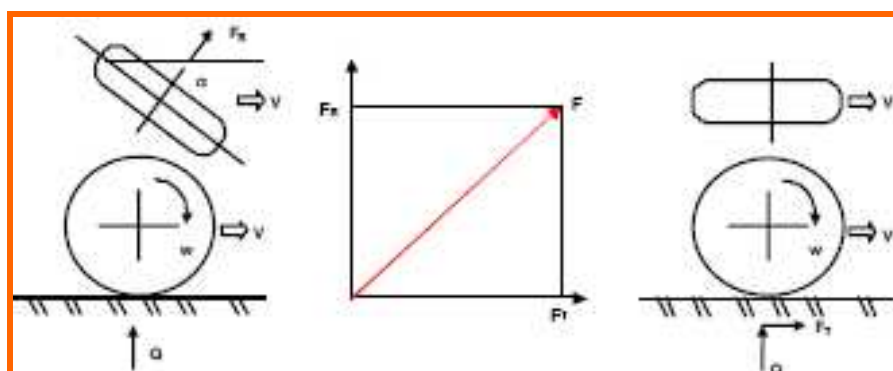


Fig. 39: Diagrama Vectorial de Fuerza de Fricción²³

²³ Gestión de Pavimentos: M. Bustos

La fricción total en el plano horizontal resulta de la distribución entre los cuadrados de las fricciones en sentido radial y tangencial. Este resultado muestra que un vehículo que se desplaza por un eje arbitrario, demandará en cada punto de su trayectoria una cantidad de fricción lateral y tangencial, las cuales combinadas deben ser inferiores a un valor máximo que resulta de la interacción neumático - pavimento bajo ciertas condiciones.

Una expresión que brinda una mejor estimación de la relación entre los coeficientes de fricción es la

$$\left(\frac{f_R}{f_{RMAX}}\right)^2 + \left(\frac{f_T}{f_{TMAX}}\right)^2 \leq 1$$

relación elíptica de Krempel. Dicha relación expresa que la reserva de fricción del pavimento está distribuida en los sentidos radial y transversal.

El factor de fricción se estima asegurando una reserva de fricción de modo que en los sentidos radial y tangencial no se produzca deslizamiento por falta de fricción. Esta consideración se fundamenta en la expresión de Krempel y es válida tanto para estimar valores de fricción máxima, como para especificar valores para el diseño.

Por su parte, la resistencia al deslizamiento (Skid Resistance) es un coeficiente adimensional que describe el grado de adherencia entre el neumático y el pavimento, y es una medida directa de la fricción tangencial. En la Fig. 40 se muestra la forma característica de la

variación de la resistencia al deslizamiento durante el proceso de frenado. f_{MAX} es el valor máximo, y corresponde al valor disponible en condiciones extremas de conducción. El valor admisible (f_G) es igual a la resistencia al deslizamiento, que se produce cuando existe traslación sin rotación (Wheel slip). Este valor es el que usualmente se emplea para determinar el factor de fricción tangencial admisible.

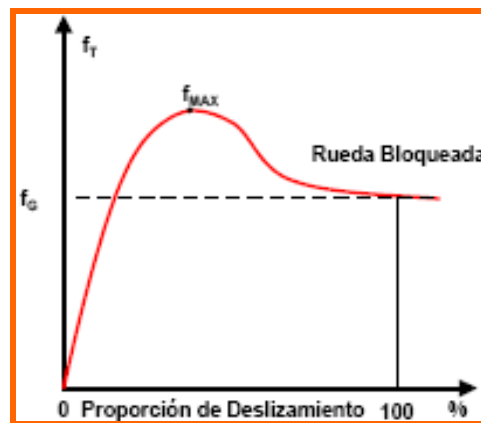


Fig. 40: Fricción en función de la proporción de traslación sin rotación

3.4.2.2 Indicadores de Textura Superficial de Pavimento

Se sabe que la superficie de rodadura de una carretera está constituida por el conjunto de áridos más cemento o ligante bituminoso. La textura superficial obtenida depende del tipo de pavimento, así en los pavimentos de hormigón la irregularidad se genera por las características del mortero, árido y el tratamiento superficial aplicado, mientras que en los pavimentos asfálticos la irregularidad se genera por las características y exposición de los agregados en la superficie.

Al conjunto de irregularidades superficiales se le conoce como “Rugosidad Geométrica”, que está dividida en dos grupos: la microtextura y la macrotextura.

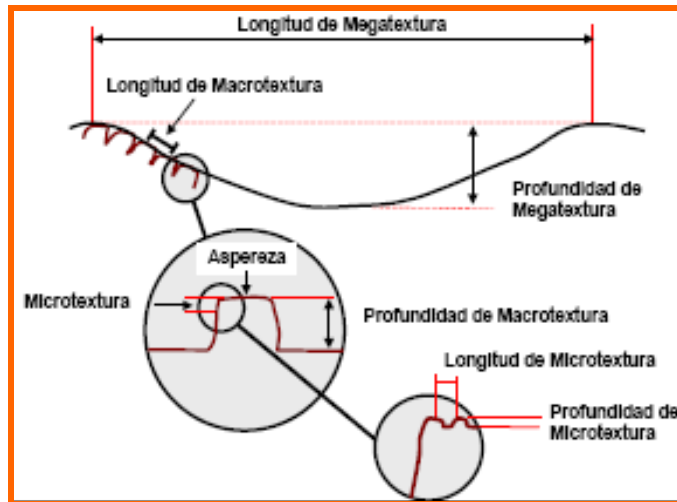


Fig. 41: Ejemplo gráfico de macro, micro y mega textura en un pavimento

En los pavimentos de hormigón, la microtextura está dada básicamente por las características superficiales del mortero, y la macrotextura queda determinada por el tratamiento superficial.

En los pavimentos de asfalto, la microtextura está dada principalmente por las características de los agregados de granulometría fina, y la macrotextura queda determinada por la exposición del agregado grueso, o por un tratamiento de gravillado superficial. Es decir, la microtextura es una propiedad inherente a los agregados pétreos y posee una escala que normalmente no puede distinguirse a simple vista; y la macrotextura es proporcionada por técnicas de construcción.

- La Microtextura o asperezas, corresponden a la geometría de los agregados presentes en la superficie del pavimento. La dimensión horizontal varía entre 0 y 0.5 mm, en tanto que la vertical lo hace entre 0 y 0.2 mm. Proporciona la adherencia entre el neumático y pavimento a través de los mecanismos de adhesión e indentación.
- La Macrotectura, corresponde a la altura media existente entre la superficie expuesta del árido y la matriz en que está inserto. Su dimensión horizontal oscila entre 0.5 y 50 mm y la vertical entre 0.2 y 10 mm. Proporciona los intersticios necesarios para el escurrimiento del agua por el pavimento.
- La Megatectura, corresponde a la mayor longitud de onda de la textura. La dimensión horizontal, varía entre 50 y 500 mm en tanto que la vertical oscila entre 1 y 50 mm. En general se encuentra más cercana a la rugosidad o irregularidad habitualmente percibida por el usuario, conocida bajo diferentes denominaciones tales como calidad de rodadura o serviciabilidad, o expresada en términos de IRI.

En la Fig. 42 se presentan los intervalos de longitud de onda asociados a los distintos indicadores de la irregularidad del perfil longitudinal del pavimento. Como también se muestra en dicha figura, irregularidades con diferentes longitudes de onda determinada afectarán distintas

variables de comportamiento, generando efectos sobre el usuario que pueden ser favorables o desfavorables en términos de seguridad y confort en el proceso de conducción.

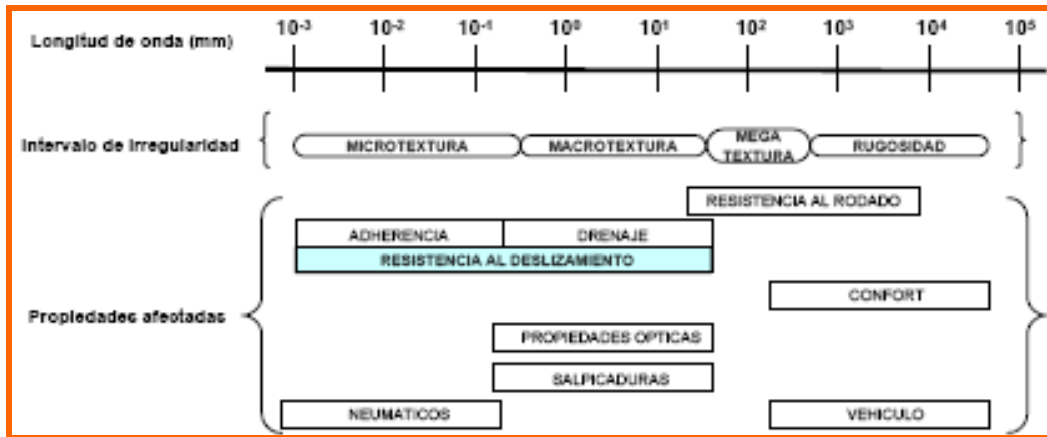


Fig. 42: Variables de comportamiento influenciadas por las irregularidades de la superficie del pavimento

Las bandas de textura asociadas a cada una de estas subdivisiones de la textura quedan determinadas por dos criterios: longitud de onda y frecuencia. En la Tabla 9 se muestra para cada subdivisión las correspondientes bandas de longitud de onda y frecuencia.

Textura	Longitud de Onda (mm)	Frecuencia (mm)
Megatextura	50 - 500	0.1 - 50
Macrotextura	0.5 - 50	0.01 - 20
Microtextura	0 - 0.5	0.001 - 0.5

Tabla 9: Bandas de textura

3.4.2.3 Influencia de diferentes factores en la resistencia al deslizamiento

Está influenciada por diferentes factores.

a) Influencia de las variaciones estacionales

Estudios realizados con el microscopio electrónico han demostrado que la resistencia al deslizamiento es más alta en los meses de invierno y más baja en los meses de verano, la causa de este fenómeno se explica porque los neumáticos mojados remueven las partículas finas del pavimento, lo que hace que en invierno la textura superficial sea mas gruesa. En invierno, al desgastarse las partículas más blandas de los componentes minerales crean una microrrugosidad que origina el desprendimiento de minerales mas duros y nuevas zonas de pavimentos sin pulir. Al congelarse el agua de los poros de los agregados por efecto de las heladas, provocan agrietamientos que originan irregularidades.

b) Influencia de la lluvia

una vez que comienza a llover, la resistencia al deslizamiento disminuye bruscamente, fenómeno que se explica por la presencia de una película jabonosa, ocasionada por la mezcla de las partículas sueltas del pavimento junto con el agua de lluvia. Este efecto va disminuyendo una vez terminada la lluvia, recuperando paulatinamente su resistencia al deslizamiento original.

c) Influencia del tránsito

El efecto del tránsito acumulado provoca pulimiento en los pavimentos, que es más intenso en los primeros años de servicio para luego estabilizarse alrededor de cierto valor que se mantiene en el tiempo.

d) Influencia de la velocidad de los vehículos

A medida que la velocidad aumenta, se produce un efecto de lubricación hidrodinámica que disminuye el coeficiente entre el neumático y el pavimento. Existen otros efectos que influyen en la resistencia al deslizamiento: la temperatura de la carpeta de rodado, presión, dibujo y calidad de los neumáticos.

3.4.2.4 Formas de Medición

Existen dos metodologías principales, la directa y la indirecta. El método directo tiene como objetivo determinar la profundidad de la textura del pavimento, y el método indirecto se basa en la obtención del coeficiente de rozamiento.

a) Equipos de medición de resistencia al deslizamiento

Entre las propiedades superficiales del pavimento analizadas en las secciones anteriores, las dos propiedades más comúnmente medidas en terreno son la resistencia al deslizamiento y la macrotextura. En el mundo se han desarrollado múltiples equipos destinados a medir estos atributos. Algunos de estos equipos realizan las mediciones en forma puntual (equipos estáticos), en tanto que otros, la mayoría, ejecutan las mediciones a velocidades similares a las de circulación normal de los vehículos. Por ello son denominados “equipos de alto rendimiento”, ya que pueden medir las propiedades mencionadas en una amplia superficie de pavimento, y en un tiempo relativamente breve, en relación a los equipos estáticos.

Para la medición de la resistencia al deslizamiento existen los siguientes tipos de equipos:

Equipos Estáticos

Dentro de esta categoría, se encuentra el Péndulo Británico, presentado en la Fig. 43. Este equipo permite medir resistencia al deslizamiento en forma puntual. Se clasifica como equipo estático, dado que la velocidad de caída del brazo del péndulo es equivalente a un móvil que se desplazara a 8 km/h. Los ensayos con este aparato se realizan en superficies mojadas.

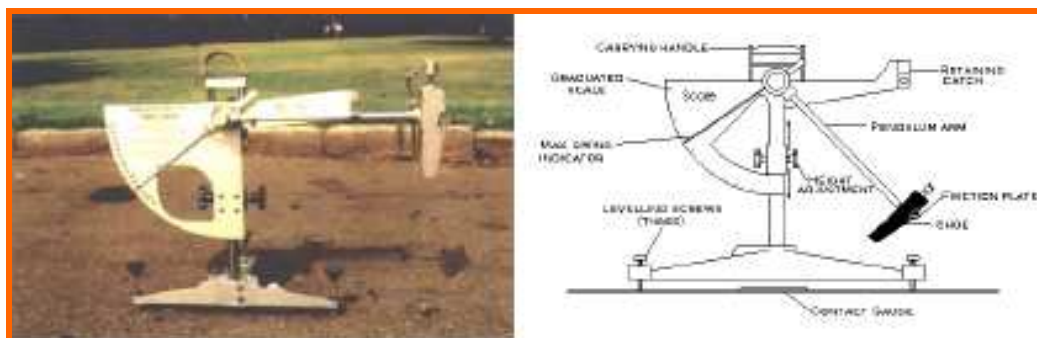


Fig. 43: Péndulo Británico (Portable Device Skid Tester)

Equipos Dinámicos

Dentro de esta categoría caen equipos tales como SCRIM, Grip Tester, K. J. Law, ADHERA, Mu-Meter, Norsemeter Roar, Saab Friction Tester, entre otros. Estos equipos utilizan un dispositivo acoplado al vehículo principal, o incluido en el mismo, que posee un neumático que está en contacto directo con el pavimento, y es el que registra la resistencia al deslizamiento provista por el mismo. En función de la ubicación del

neumático y de grado de impedimento de la rodadura, se identifican las siguientes categorías dentro de este grupo:

- Equipos de rueda esviada (oblicua)
- Equipos de rueda totalmente bloqueada
- Equipos de rueda parcialmente bloqueada

La diferenciación en estas subcategorías, radica en el tipo de fricción que se está midiendo. Los equipos de rueda oblicua miden fricción transversal, y los otros miden fricción longitudinal.

La Fig. 44 muestra un equipo SCRIM. Esta sigla significa “Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine” (Equipo de Investigación Rutinaria del Coeficiente de Fricción Lateral), y corresponde a un equipo de medición del tipo de rueda oblicua, destinado a medir la resistencia al deslizamiento en dirección transversal.



Fig. 44: Equipo SCRIM

Por su parte, en la Fig. 45 se presenta un equipo Grip Tester, que mide la fricción con un grado variable de bloqueo de la rueda de medición.

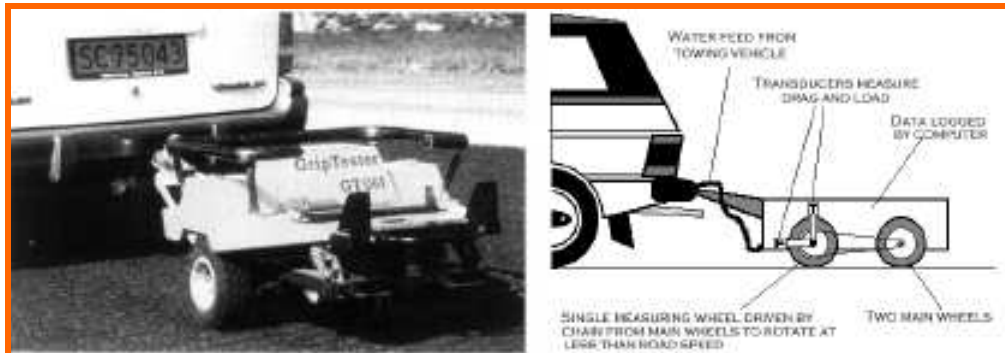


Fig. 45: Grip Tester para la medición de Fricción de Carreteras

b) Equipos de medición de Macrotextura

La macrotextura puede estimarse en terreno aplicando métodos de tipo:

- Volumétrico como el Método del Círculo de Arena (norma ASTM 965);
- Métodos indirectos, basados en el uso de perfilómetros láser;
- Medición directa, basada en equipos móviles o estacionarios de medición de textura.

En nuestro país el método más utilizado es el Círculo de Arena, pero también están comenzando a utilizarse los perfilómetros para medir la macrotextura. Recientemente, en 1998, se desarrolló un nuevo método de medición de textura denominado Circular Textura Meter (CTMeter). Este método emplea un haz láser para medir el perfil de un círculo de

28,4 cm de diámetro. En Tabla 4.8 se muestra una síntesis de los equipos de medición más empleados para la medición de textura.²⁴

Equipo	Principio de Medida	Velocidad de Operación	Norma Típica
Equipo de Círculo de Arena	Area de Círculo	Estacionario	ASTM E965 - 96
TRL Skid Resistance Tester (SRT)	Contacto	Estacionario	ASTM E303 - 83 TRL NLT - 175
CT Meter	Láser en Area de Círculo	Estacionario	Sin Referencia
TRL Mini Texture Meter (MTM)	Láser	3 - 6 Km./h	Sin Referencia
TRL High Speed Texture Meter (HSTM)	Láser	Hasta 110 Km./h	Sin Referencia

Tabla 10: Características generales de equipos de medición de textura²⁵

3.5 EVALUACION ESTRUCTURAL

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 mas 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.

²⁴ Gestión de Pavimentos: U.N.S.J. – Marcelo Bustos

²⁵ www.piarc.org

La importancia de la evaluación estructural se resume en la variedad de datos que resultan del procesamiento de estos:

- Evaluar la capacidad de soporte.
- Parámetros de resistencia de diversas capas.
 - Módulo elástico de las capas o de tensión deformación (relaciones constitutivas)
 - Propiedades de fatiga
 - Propiedades de deformación
 - Tensiones residuales
- Evaluar la condición de estructura del pavimento.
 - Realizar predicciones realistas de la vida remanente de los pavimentos
 - Diseño de mantenimiento y reconstrucciones
 - Monitorear cambios de las propiedades de las capas en el tiempo

3.5.1 Influencia de las Características Geotécnicas

El comportamiento de un pavimento no solo depende de las propiedades del suelo a nivel de la subrasante, también influyen las características de cortes, terraplén, que pueden llegar a ser aspectos importantes dentro de la operación de la infraestructura.

La construcción de un camino supone la ejecución de movimientos de tierra con una sucesión de cortes y terraplenes que permitan entregar una rasante adecuada para la circulación de vehículos. Debido a que estas obras son muy extensas, durante su avance se encuentran condiciones topográficas y de suelos muy diferentes. No resulta posible detenerse en cada punto a realizar una verdadera investigación de suelos, como es el caso de obras “concentradas”.

El ingeniero de caminos debe conformarse muchas veces con reglas simples que le aseguren un comportamiento relativamente estable de las obras. En el diseño de las obras de tierra debe tenerse en cuenta una serie de factores que se conjugan: costos de construcción, costos de mantenimiento, seguridad del usuario, requerimiento en cuanto al mantenimiento permanente de la vía.

Normalmente para el análisis de los problemas asociados a suelos se dividen en:

- Estabilidad de cortes
- Estabilidad de terraplenes

Cabe destacar que la presencia del agua, sea esta en forma de “agua libre superficial” o de “agua subterránea”, representa un factor importante en los problemas de estabilidad y por lo tanto debe ser un aspecto de

suma importancia al momento de diseñar, construir y operar la infraestructura vial.

3.5.1.1 Estabilidad de cortes

Existe una gran cantidad de clasificaciones que se pueden adoptar en relación a los movimientos de masas que ocurren en los cortes según se considere la clase de material, tipo de movimientos, causas que originan, etc. El comité para investigaciones de movimientos de tierras, dependiente del Highway Reseca Borrada de Estados Unidos, estableció una división en tres grupos principales: desprendimientos, deslizamientos y flujos. Un cuarto grupo, deslizamientos complejos, es una combinación de los otros grupos indicados.

a) Desprendimientos. Tanto en los desprendimientos de roca como de suelos, la masa se mueve rápidamente a través del aire en caída libre. No existe un movimiento lento que preceda al desprendimiento. Se presenta principalmente en las rocas afectadas por desintegración y descomposición, fallando en los planos o superficies más débiles. Actualmente, la mecánica de rocas no se encuentra suficientemente desarrollada en que respecta a teorías cuantitativas, como ser usada en aplicaciones prácticas en diseño de taludes. Esta deficiencia es suplida por la experiencia.

b) Deslizamientos. En los deslizamientos, el movimiento de la masa es el resultado de una falla de corte a lo largo de una o varias superficies. Se presenta en material de comportamiento elástico o semiplástico.

c) **Flujos.** En el movimiento del suelo designado como flujo, la masa de éste tiene la apariencia de un líquido viscoso. El flujo puede ser de dos tipos: *Flujo Seco*, éste no es difícil de reconocer después que ha ocurrido pero resulta prácticamente imposible de predecir en forma anticipada. Es muy común en arenas uniformes y limos de textura uniforme. Se presenta también en roca fragmentada característico de zonas cordilleranas. El flujo seco se activa normalmente por movimientos sísmicos u otro tipo de vibraciones, impactos o debilitamiento de alguna sección tal talud por erosión. Es usual observarlos durante el secamiento de taludes en arenas que se mantenían estables debido a la cohesión aparente proporcionada por la humedad. En general, es suficiente una capa cohesiva relativamente delgada para estabilizar este tipo de taludes.

Flujo Húmedo, el flujo húmedo ocurre normalmente en suelo tipo arenas finas y limos. Se genera por un exceso de agua que hace perder al suelo su estabilidad interna. Normalmente se inicia debido a lluvias de grana intensidad o a derrames concentrados de agua y se hace presente en los sectores donde ha sido removida la capa vegetal del suelo. La protección del camino para estos casos se logra estabilizando el talud con suelo vegetal, productos asfálticos o materiales de cemento. Además, deben sellarse las posibles grietas del terreno y evitar el agua de derrames sobre el talud.

3.5.1.2 Estabilidad de terraplenes

La estabilidad de los terraplenes o rellenos en obras viales puede ser afectada por diferentes causas. Prevenir los daños correspondientes significa normalmente adoptar métodos de diseño y constructivos de menor costo que los que corrientemente se utilizan cuando las fallas han tenido lugar.

La siguiente clasificación de fallas son propuestas:

- a) **Erosión y Deslizamientos locales en taludes.** Este tipo de fenómeno se manifiesta debido a fallas por corte con desplazamiento y grietas de tracción en el coronamiento del terraplén. Su causa principal es la acción del agua superficial, en el material de relleno, produciendo disminución de la resistencia del suelo por efecto del agua, aumento de peso de la masa de suelo, generación de presión hidrostática y fuerzas de flujo y debilitamiento de la superficie resistente al corte.
- b) **Corrimiento en laderas de cerros.** La construcción de terraplenes sobre planos inclinados trae normalmente acompañado problemas de corrimiento de masa de suelo. La experiencia nos indica que para pendientes mayores a 1:5 (v/h), ocurren anomalías de este tipo. La razón de ello es durante la construcción del terraplén se produce un debilitamiento en el plano de contacto entre el suelo natural y el terraplén, agravado por la acción del agua. Este fenómeno es particularmente claro en secciones mixtas (corte-terraplén), donde la sección de corte permanece estable.

- c) Disminución de los huecos del suelo de relleno.** Durante el proceso de compactación de rellenos para terraplenes se produce una importante reducción de huecos en las masas del suelo. Este acomodo de las partículas sólidas continúa largo tiempo, aún después que el proceso mecánico de compactación se termina, traduciéndose en una deformación superficial de la rasante del camino. La magnitud de esta deformación depende básicamente de dos factores: grado de compacidad inicial y altura de terraplén.
- d) Hundimiento por consolidación del suelo de fundación.** La colocación de un terraplén sobre la superficie del terreno genera un aumento de las presiones efectivas en las capas subyacentes del suelo. Si este es de carácter compresible, la sobrepresión impuesta ocasiona una disminución de volumen con expulsión de agua de los poros. El cuantificar la magnitud de los asentamientos superficiales debido a este efecto supone, por una parte, calcular correctamente la sobrepresión impuesta por el peso del terraplén a diferentes profundidades y, por otra, aplicar la teoría y ensayos de suelo que sean más representativos.
- e) Flujo plástico del suelo de fundación.** Este fenómeno es característico de suelos blandos o de baja consistencia y se presenta como una deformación continua, derivada de un esfuerzo de corte constante. Esta forma de falla ocurre por una concentración de esfuerzos en un punto del suelo de fundación de un terraplén que alcanza el valor del esfuerzo máximo de resistencia de corte del suelo. Se manifiesta como hundimiento del terraplén acompañado

de levantamiento del terreno adyacente. Debe recordarse que, a diferencia de la consolidación, la deformación o cambio de forma de suelo se produce sin disminución de volumen.

f) Asentamiento por vibraciones y licuación del suelo. Es sabido que determinados suelos que son sometidos a solicitaciones dinámicas, tales como vibraciones, impactos, sismos, etc. Tienden a densificarse disminuyendo de volumen. Si estos suelos tienen baja permeabilidad, la tendencia a la densificación se traduce en un incremento de presión de la fase fluida, que puede crecer hasta un punto en que iguale a la presión total, llegando a anular a la presión efectiva o presión de contacto entre los granos. En estas circunstancias un suelo de características granulares pierde totalmente su capacidad de soporte.

En el caso de las arenas finas y limos saturados, el aumento de presión en la fase fluida que no alcanza a drenar durante el corto tiempo que dura una carga, puede llevar al suelo transitoriamente al estado de licuación con el consiguiente hundimiento de las estructuras apoyadas en él.²⁶

3.5.2 Métodos De Evaluación Estructural

Las propiedades de los materiales se pueden obtener de diversas maneras:

²⁶ Gestión de Infraestructura Vial: Hernán de Solminihaç

- Estimación o uso de nomogramas ²⁷ con correlaciones estadísticas.
- Comparación con materiales “Estándar” de características similares.
- Mediciones “in situ” basándose en ensayos no destructivos (NDT).
- Ensayos de laboratorio combinado con ensayos destructivos. El ensayo destructivo requiere el retiro físico o el daño de material de capa de pavimento para obtener las características de lo materiales mediante ensayos de laboratorio.

En la actualidad mayormente se utilizan las dos últimas opciones mencionadas.



Fig. 46: Ensayos Destructivos (calicata)

²⁷ Nomograma: Representación gráfica que permite realizar con rapidez cálculos numéricos. Obtenido de "<http://es.wiktionary.org/wiki/nomograma>"



Fig. 47: Ensayos No Destructivos (FWD)

3.5.3 La Deflexión

3.5.3.1 Concepto de la deflexión

Como se ha indicado el pavimento es una estructura constituida por varias capas y materiales (multicapa) que al ser sometida a una determinada sollicitación, normalmente una carga ortogonal al pavimento que produce un estado de tensiones y deformaciones, se desplaza en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas (del orden de centésimas o milésimas de milímetro). Este desplazamiento vertical se conoce con el nombre de deflexión. El análisis de la estructura caracterizada por un modelo de cálculo, permite determinar el desplazamiento teórico y compararlo con el desplazamiento obtenido mediante técnicas de reconocimiento con equipos que miden las deflexiones que se producen bajo una carga de ensayo.

La deflexión es una característica de cada tipo y estado del pavimento

que está intrínsecamente relacionada con los valores de los módulos de las capas. Existiendo una correspondencia entre los valores de los módulos y los valores de la deflexión.²⁸

3.5.3.2 Análisis de deflexión

La medición de las deflexiones se utiliza ampliamente para conocer la capacidad estructural de los pavimentos en campo, y dentro de la tecnología de pavimentos, particularmente en la evaluación estructural de los mismos existen diversas metodologías y equipos para tales propósitos.

La literatura especializada en pavimentos proporciona información acerca de la medición de deflexiones en pavimentos localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejadas de él, a partir de una carga estática conocida, de una vibratoria o de una por impulso. Las deflexiones se miden con transductores que determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. Actualmente, existen diversos procedimientos para la medición de deflexiones en pavimentos de concreto asfáltico, en concreto hidráulico, e incluso en una combinación de ellos. Los pavimentos rígidos pueden ser sin refuerzo, una con juntas, con refuerzo en las juntas, o concretos reforzados de manera continua.

²⁸ Evaluación Estructural de Firmes de Carreteras: AEPO Ingenieros Consultores

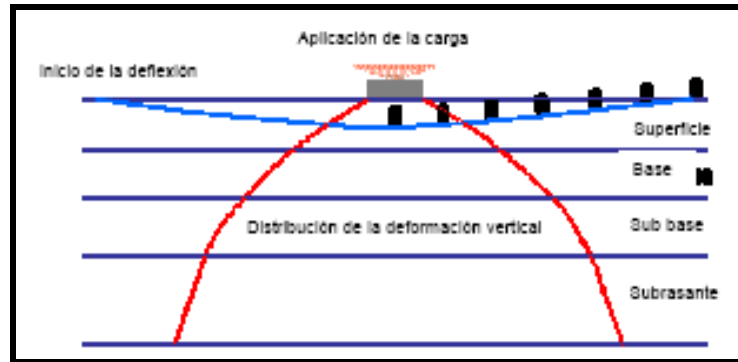


Fig. 48: Representación de un ensayo no destructivo, en donde se aprecia la distribución de las deformaciones en las diferentes capas de un pavimento

Los ensayos realizados mediante esta metodología, son por su naturaleza denominada no destructivos NDT (Non Destructive Test).

Los ensayos no destructivos de deflexiones proporcionan información que se utiliza para la evaluación estructural de los pavimentos. Además, los resultados de dichas deflexiones pueden emplearse a su vez en las siguientes características de los pavimentos:

- a) Módulo de elasticidad de cada capa
- b) Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos
- c) Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas de pavimentos de concreto hidráulico
- d) Módulo efectivo de la subrasante.
- e) Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo.
- f) Capacidad de carga o capacidad de soporte del pavimento.

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la

rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles; evaluación de la capacidad estructural, incluyendo la eficiencia de las juntas en pavimentos de concreto hidráulico; detección de oquedades en pavimentos de concreto hidráulico; y/o para fines de inventario estructural de la red.

3.5.3.3 Propósito del análisis de deflexión

El análisis de deflexión proporciona una técnica capaz de utilizar el modulo elástico equivalente de una estructura de pavimento en lugar de obtener el modulo resiliente en laboratorio de muestras pequeñas, y en algunas ocasiones de muestras alteradas.

3.5.3.4 Evolución de los ensayos de deflexión

El concepto de auscultación estructural no destructiva puede ser establecido a partir de los ensayos de placa de carga y del desarrollo de la conocida Viga Benkelman en los años 50. La idea de ligar la medida de la deflexión superficial del pavimento con la evaluación estructural del mismo ha dominado esta actividad desde aquellos años. La principal aplicación de la medida, no destructiva, de la deflexión desde los primeros días fue el dimensionamiento del refuerzo del pavimento. La medida de la deflexión incrementa su importancia al comienzo de los años 70 cuando el concepto de Sistema de Gestión de Carreteras (SGC) fue introducido en la ingeniería de pavimentos y la necesidad de disponer de SGC se incrementa entre las autoridades de carreteras y los profesionales de los pavimentos en todo el mundo.

Los ensayos de medida de la deflexión con equipos ha sufrido con el tiempo transformaciones haciéndose más sofisticado. Versiones automáticas de la Viga Benkelman se construyeron en los años 60, el deflectómetro móvil de California y el Deflectógrafo Lacroix francés fueron los representantes de esta generación de equipos de medida de la deflexión. A mediados los años 70 la demanda de equipos más rápidos y efectivos que se necesitan para los SGC originó el desarrollo de equipos vibratorios en régimen permanente, tales como el Dynaflect y el Road Rater. A final de los años 80 los deflectómetros de impacto (FWD) fueron ganando popularidad y difusión e incrementando la aceptación de los investigadores y profesionales de los pavimentos debido a su mejor representación de la cargas del tráfico respecto a sus antecesores, convirtiéndose en el equipo de referencia para la mayoría de las administraciones de carreteras europeas y americanas.

Dos tecnologías más avanzadas de medida de las deflexiones están siendo actualmente exploradas por los investigadores. Una es el Deflectómetro Rodante (RWD) y la otra es un Deflectógrafo de Alta Velocidad (HSD) basado en la utilización de sensores de rayos láser. El RWD es un equipo instalado en un vehículo que mide continuamente la deflexión máxima del pavimento bajo una carga en movimiento. Actualmente el equipo puede realizar medidas a la velocidad máxima de 10 km/h con cargas hasta 220 kN, o de 32 km/h hasta 40 kN por rueda. Se está desarrollando una versión de hasta 80 km/h. El Deflectógrafo de alta velocidad (HSD) se está desarrollando para medida continua de

deflexión en el rango de 20-70 km/h. Ambos equipos poseen el potencial de llegar a desplazar a los FWD en el deseable futuro de realizar la medida de las deflexiones a las velocidades normales del tráfico.

3.5.3.5 Tipos de modelos de carga para análisis de deflexión

La carga aplicada puede ser modelada como: una carga cuasiestática, una carga móvil, una carga vibratoria o una carga de impulso.

3.5.3.5.1 Modelo de carga cuasiestática

Dentro de este grupo se encuentran la viga Benkelman y el deflectógrafo Lacroix.

Viga Benkelman.- La viga Benkelman es un equipo que fue desarrollado durante el ensayo de la “Western Association of State Highway Organizations” (WASHO) en 1952. Se trata de un dispositivo bastante simple, que funciona aplicando la conocida “regla de la palanca”. Este equipo se usa junto con un camión; el ensayo se realiza colocando el extremo de la viga entre las dos ruedas gemelas del camión, midiendo la recuperación vertical de la superficie del pavimento cuando el camión avanza y se retira. La principal ventaja de este equipo es que se trata de un ensayo bastante económico; no obstante, es muy laborioso, y no permite obtener el cuenco de deflexiones, sino únicamente la deflexión bajo carga, en el centro de las ruedas gemelas. Es necesario tener en cuenta, para determinar el tiempo de aplicación de la carga, la velocidad del camión que se emplea con el equipo.

Usualmente se considera una velocidad aproximada 1 a 3 km/h.

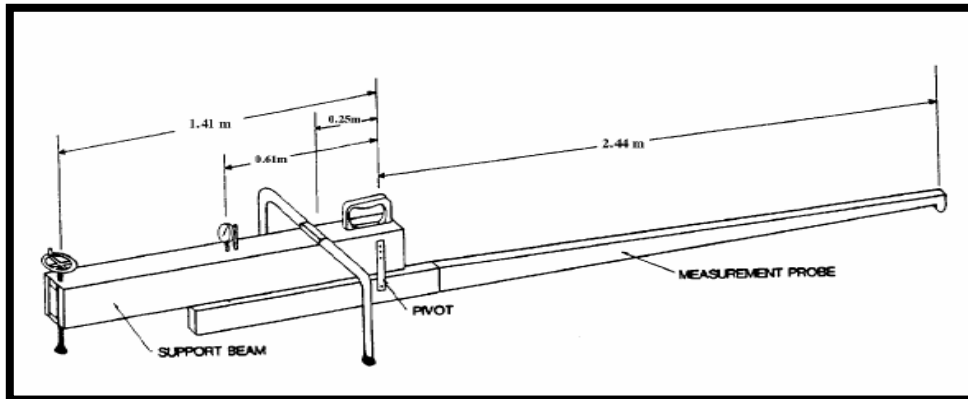


Fig. 49: Esquema Isométrico Viga Benkelman



Fig. 50: Evaluación con Viga Benkelman

Deflectógrafo Lacroix.- El deflectógrafo Lacroix (D.L.) es uno de los primeros equipos denominados “de alto rendimiento”. Estos sistemas permiten obtener las deflexiones en ambas rodadas, registrando valores cada 5 metros. En cada punto se realizan del orden de 60 medidas de la deflexión, lo que permite obtener la línea de influencia de la misma. A pesar de esto, no permite obtener, al menos directamente, el cuenco de deflexiones. La velocidad de circulación de este equipo se sitúa en torno

a los 5 km/h. y la recogida y tratamiento de datos se efectúa por computadora.

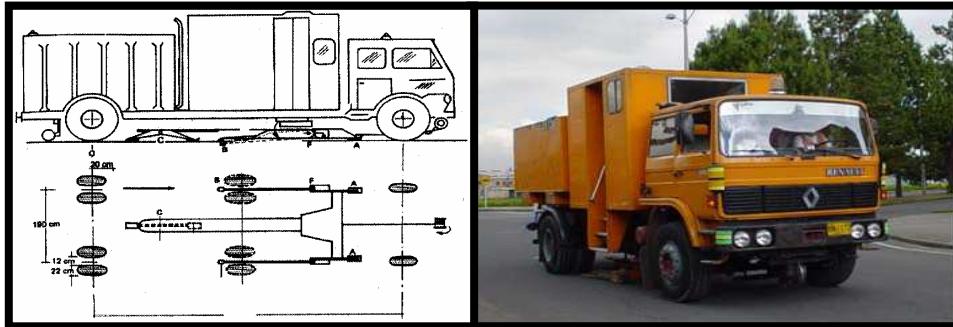


Fig. 51: Esquema del equipo semicontínuo para la determinación de deflexiones con delfectómetro Lacroix

3.5.3.5.2 Modelo de carga vibratoria

En este grupo se encuentran los vibradores dinámicos como el Road Rater y del Dynaflect.

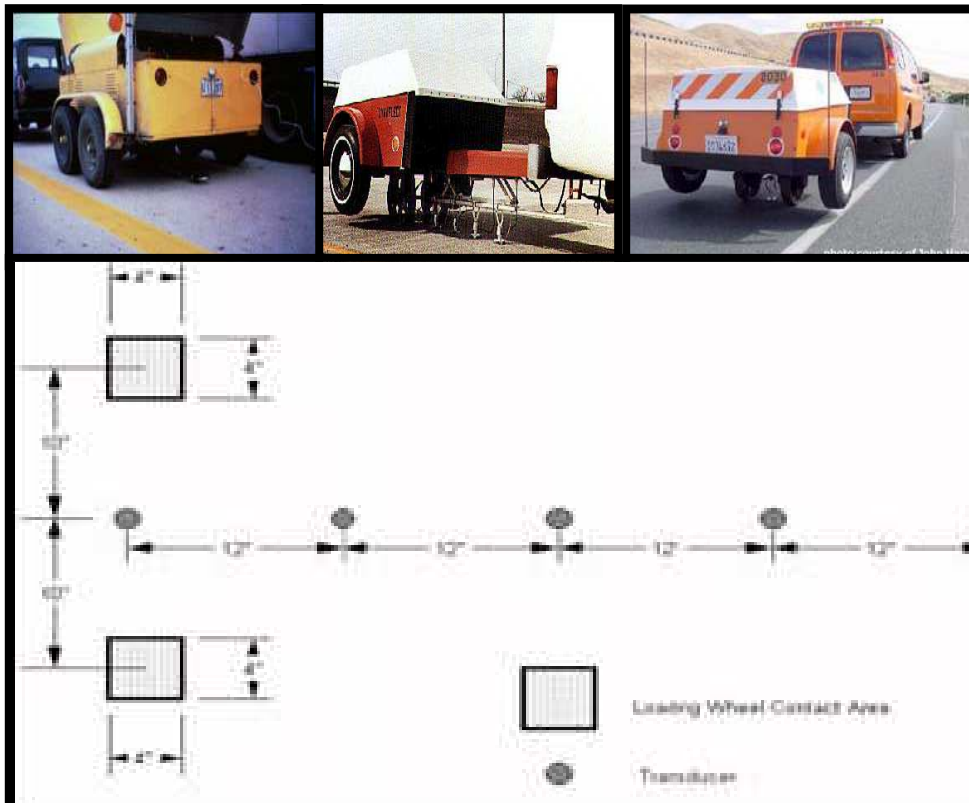


Fig. 52: Dynaflect.- Utiliza un generador de fuerza dinámica por masa giratoria

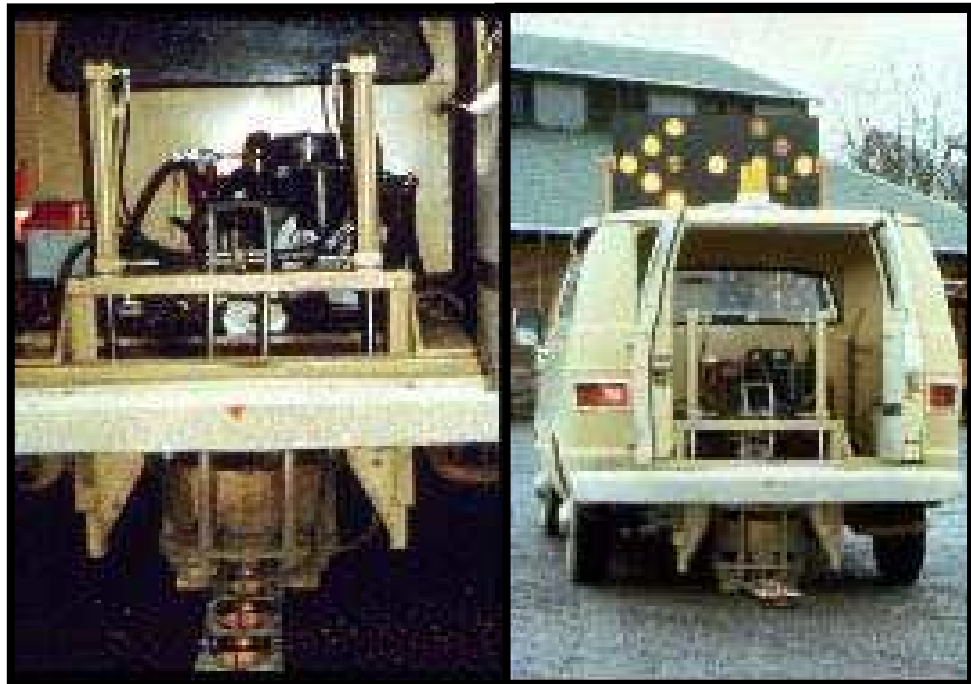


Fig. 53: Road Rater.- Utiliza un generador de fuerza dinámica mediante un mecanismo actuador servohidráulicamente controlado.

3.5.3.5.3 Modelo de carga de impulso

Los deflectómetros de impacto (FWD) son equipos constituidos por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya. El equipo mide la deflexión producida en la superficie del pavimento al aplicarle una carga vertical preestablecida, registrando el pico o valor máximo del desplazamiento vertical en el punto de aplicación de la carga, así como en una serie de puntos separados secuencialmente, para obtener el cuenco de deflexiones. La principal ventaja de este equipo es, precisamente, que permite la obtención del cuenco de deflexiones, además de tratarse de un ensayo relativamente rápido y sencillo. Además, su forma de aplicar las cargas es la que más se

aproxima a las solicitaciones de tráfico real.

Estos equipos están diseñados para simular la aplicación de la carga transmitida por eje de un camión circulando a una velocidad entre 65 a 80 km/h.

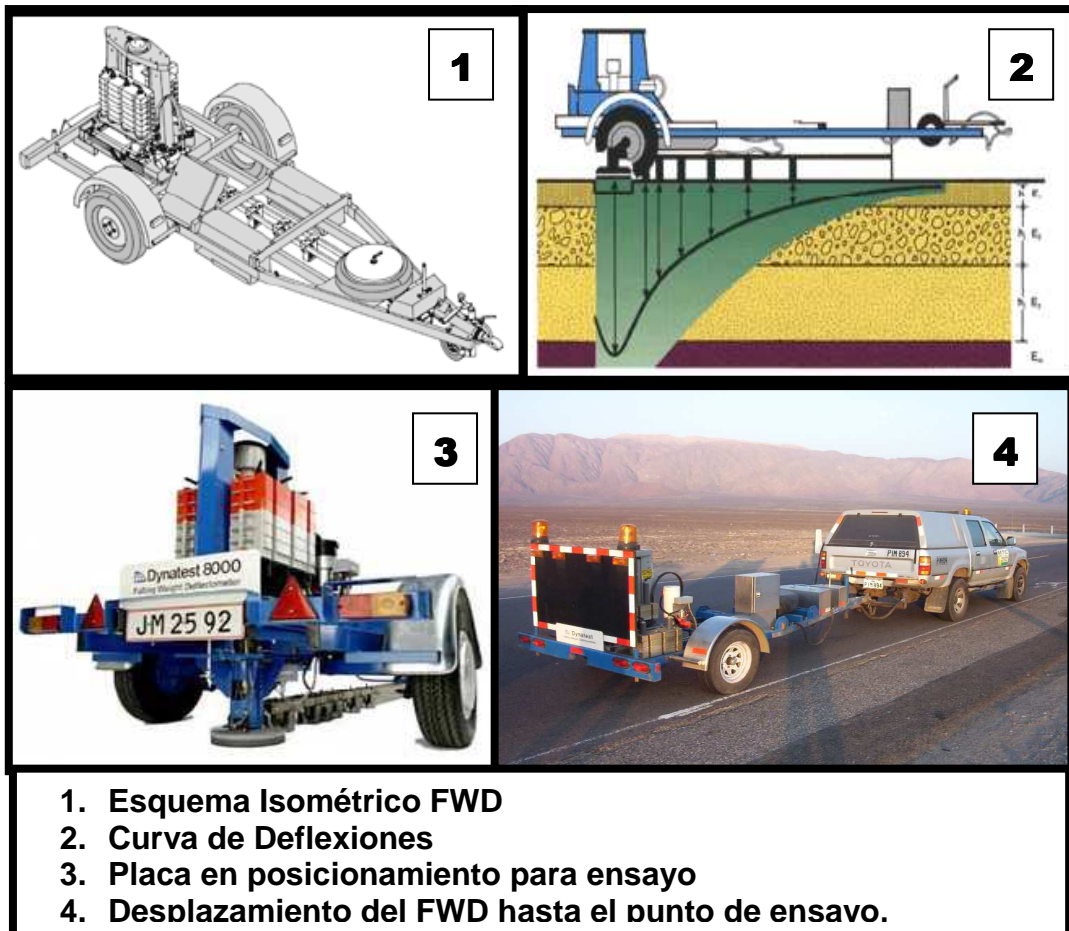


Fig. 54: Deflectómetro de Impacto

3.5.3.5.4 Modelo de carga móvil

Aplicado por tráfico vehicular pesado a velocidades normales como son el RDT (Road Deflection Tester, Suecia), el RWD (Rolling Wheel Deflectometer, USA), el Rolling Weight Deflectometer (USA) y el Deflectografo de Alta Velocidad (Dinamarca). Los cuales otorgan carga

a través de un eje doble trasero con cargas típicas entre 8.2 Ton. y 13 Ton., con tiempo de carga típica entre 25 y 35 milisegundos.²⁹



Fig. 55: El Rolling Wheel Deflectometer es un especial diseño de un remolque cojnmedidor láser montado en una viga bajo dicho remolque

²⁹ In-Extec Cia Ltda. Reporte Noviembre – Diciembre 2003: In-Extec

3.5.3.6 Conclusión comparativa de equipos de modelos de carga para el análisis de deflexión

MODELO CUASI ESTATICO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad de equipo - Bajo costo de equipo - Amplio y extendido uso 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para asegurar que los soportes frontales no están en la cuenca de deflexión - La dificultad o inhabilidad para determinar la forma y tamaño de la cuenca de deflexiones - Pobre repetibilidad de las medidas - Intensivo en mano de obra y laborioso montaje
MODELO VIBRATORIO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Rápido, repetibilidad alta, equipo robusto - Registro de la cuenca de deflexión - Registro de la eficiencia de transferencia de carga y posible existencia de vacíos 	<ul style="list-style-type: none"> - La pre carga estática es grande con relación a la carga dinámica (puede modificar propiedades de los materiales por confinamiento) - Difícil coincidir frecuencia de ensayo con frecuencia de vehículos. Baja frecuencia de aplicación de carga - Costo del equipo

MODELO DE IMPULSO	
<i>VENTAJAS</i>	<i>DESVENTAJAS</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Rápido (hasta 60 ensayos/hora) - Repetibilidad alta - Equipo robusto - Registro de la cuenca de deflexión - Registro de la eficiencia de transferencia de carga y posible existencia de vacíos - Simula mejor las cargas del vehículo - Aplicación de diferentes valores de carga 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo del equipo

Nota.- No se presenta conclusiones sobre los modelos de carga vehicular debido a que hasta el momento de la redacción son prototipos de diseño.

3.5.3.7 Correlaciones entre equipos

A continuación se presentan correlaciones de deflexiones de: deflectógrafo Lacroix, Benkelman y FWD. Deberá tenerse en cuenta que:

- Los datos con los que se desarrollan las correlaciones contienen una gran dispersión, por lo tanto las correlaciones pueden generar grandes errores.

- Correlaciones realizadas para un tipo de pavimento/subrasante pueden no ser aplicables a estructuras diferentes.
- A mismos niveles de carga aplicados por diferentes equipos las deflexiones son diferentes.

Viga Benkelman y Deflectómetros de impacto

- (1) $DB = 1,48 DI_s + 3,3$
- (2) $VB = 1,33269 + 0,93748 * (FWD)$
- (3) $D_{FWD} = 0,693 * D_{VB} + 560,39$
- (4) $d_{BB}/d_{FWD} = 1,4$ a $1,6$
- (5) $d_{FWD} = 9,505 * d_{BB}^{0,58}$

Convenciones:

DB = Deflexión viga Benkelman en 10^{-2} mm.

D_{VB} = Deflexión viga Benkelman en 10^{-2} mm.

d_{BB} = Deflexión Benkelman. Semieje de 65 kN, en 10^{-3} cm.

VB = Deflexión Benkelman medida bajo el semieje de 40 kN, en 10^{-3} pulg.

FWD = Deflexión del deflectómetro corregida para una carga de 40 kN, en 10^{-3} pulg.

D_{FWD} = Deflexión FWD en 10^{-3} mm.

d_{FWD} = Deflexión FWD, normalizada a 65 kN, en 10^{-3} cm.

DI_s = Deflexión Deflectómetro de impacto que aplique para la medida 5 Ton de carga total, en 10^{-2} mm.

Deflectógrafo Lacroix y Deflectómetro de Impacto

- (1) $D_{FWD} = 1,59 * D_{Lacroix}^{0,89}$
- (2) $D_{FWD} = 1,14 * D_L$

Convenciones:

D_{FWD} = Deflexión FWD

$D_{Lacroix}$ = Deflexión deflectógrafo Lacroix.

D_L = Deflexión Lacroix chasis corto.

Viga Benkelman y Deflectómetros de Impacto según Washington

State DOT Materials Laboratory

$$BB = 1,33269 + 0,93748 (FWD)$$

Donde:

BB = deflexión Benkelman Beam (inches x 10⁻³)

FWD = deflexión FWD centro de la carga (inches x 10⁻³) corregido a una carga de 9 000 lb. aplicada en una placa de diámetro 11,8-inch

$$R^2 = 0,86$$

Error Estándar = 3,20 mils

Tamaño de la Muestra = 713

NOTA.- Asimismo, se presenta:

FWD Dynatest y FWD Kuab

$$(1) D_{D_{\text{dynatest}}} = 1,837 * D_{K_{\text{KUAB}}}^{0,898}$$

Convenciones:

$D_{D_{\text{dynatest}}}$ = Deflexión FWD Dynatest.

$D_{K_{\text{KUAB}}}$ = Deflexión FWD KUAB.

30

³⁰ Evaluación y Diagnostico Estructural de Pavimentos: Javier A. Ortiz

3.5.3.8 Factores que influyen en la determinación de las deflexiones

Los factores que afectan en mayor medida a las deflexiones incluyen la carga, el clima y las condiciones del pavimento. Estos hechos deben considerarse cuidadosamente cuando se realizan ensayos no destructivos.

3.53.8.1 Carga

La magnitud y duración de la carga influye considerablemente en las deflexiones de los pavimentos. Es recomendable que el equipo que se utiliza en pruebas no destructivas sea capaz de aplicar una carga al pavimento, similar a la carga actual de diseño (por ejemplo, 5 Ton.).

Desafortunadamente, no todos los equipos comerciales que efectúan ensayos no destructivos pueden simular la carga de diseño, algunos lo hacen con la magnitud de la carga, pero no con su duración o frecuencia. Generalmente, se acepta al deflectómetro de impacto FWD (Fallig Weight Deflectometer) como el mejor equipo hasta ahora, para simular la magnitud y duración de las cargas actuales que circulan por los caminos.

Las propiedades no lineales o su sensibilidad al nivel de esfuerzos, de la mayoría de los materiales que conforman las capas de los pavimentos hacen que las deflexiones medidas sean proporcionales a las cargas aplicadas. Los resultados de prueba se tienen que extrapolar para cargas excesivas. Debido a que las extrapolaciones frecuentemente inducen

errores significativos, los especialistas se inclinan por el uso de los equipos para ensayos no destructivos, dado que generan cargas similares a las que aplican los vehículos pesados.

En el campo de los pavimentos se han encontrado diferentes ecuaciones de correlación o regresión, relacionando deflexiones bajo cargas más ligeras y las obtenidas con equipos que aplican cargas más pesadas. Es importante destacar que el uso de tales correlaciones debe hacerse con cuidado, pues los datos a partir de los cuales se desarrollaron tales correlaciones, normalmente muestran una gran dispersión, lo que hace posible incurrir en errores significativos. Por otro lado, las correlaciones logradas a partir de un tipo de estructura de pavimento, no necesariamente se cumplen para diferentes tipos de pavimentos. Aún en la misma estructura de pavimento es factible encontrar variaciones considerables entre correlaciones encontradas por diferentes organismos, lo anterior suele asociarse a diferencias desde el proceso de construcción, condiciones ambientales, temperaturas, etc.

3.5.3.8.2 Temperatura

La temperatura y la humedad son dos condiciones climáticas que afectan la magnitud de las deflexiones. En los pavimentos asfálticos, las altas temperaturas producen el reblandecimiento de la carpeta asfáltica e incrementan las deflexiones. En los de concreto hidráulico, la temperatura en forma de cambios globales del gradiente térmico representa una influencia muy importante en las deflexiones medidas

cerca de las juntas o grietas. Las temperaturas altas provocan expansión en las losas, y por ende un acercamiento entre ellas; así, se incrementa la eficiencia de la transferencia de carga, y por consiguiente las deflexiones son menores.

El alabeo de las losas, debido a los gradientes de temperatura suele causar variaciones importantes en las deflexiones medidas, especialmente si se evalúan en la noche o en la mañana, cuando la cara superior de la losa está más fría que la inferior, ya que generarán deflexiones mayores en las esquinas y en las orillas que las que se realizan por la tarde, cuando la cara superior de la losa está mucho más caliente que la inferior.

La época del año ejerce una influencia muy significativa en las mediciones de la magnitud de las deflexiones. En regiones frías se pueden diferenciar cuatro periodos diferentes: El de congelamiento, que se presenta en invierno, provoca que el pavimento esté más rígido. El de primavera, o sea cuando se presenta el deshielo y existe agua libre en la estructura del pavimento, lo cual incrementa considerablemente la magnitud de las deflexiones medidas. El periodo de incremento rápido de la rigidez es que se presenta a principios de verano, cuando el exceso de agua libre disminuye en la estructura del pavimento y la deflexión se ve disminuida de manera considerable. Por su parte, el de rigidización continúa, aunque más lentamente, a finales de verano y la época de otoño cuando los niveles de las deflexiones se reducen en función del

decremento del agua libre en el sistema de pavimento.

En regiones que no experimentan congelamiento ni deshielo, las deflexiones generalmente presentan una curva senoidal, correspondiendo la máxima deflexión en la época de lluvias, donde el contenido de agua libre es mayor en la estructura del pavimento. En regiones secas, el periodo de deflexión máxima puede ser en el verano, cuando la superficie del asfalto se reblandece debido a la intensa radiación solar.

Para comparar e interpretar las mediciones de la deflexión deben considerarse tanto la hora del día como la época del año en que se realizan. Generalmente, las deflexiones se correlacionan con una temperatura estándar, por ejemplo, 21 °C para un periodo de condiciones críticas, basado en procedimientos desarrollados localmente.

3.5.3.8.3 Condiciones del pavimento

Es evidente que las condiciones en que se encuentre el pavimento influyen en la magnitud de las deflexiones medidas. Para asfálticos, las deflexiones obtenidas en áreas con agrietamientos y roderas serán mayores que las que se consigan en áreas libres de deterioros. En los de concreto hidráulico, los vacíos bajo las losas de concreto provocarán incrementos en las deflexiones; a su vez, la ausencia de deterioros de los dispositivos de transferencia de carga afectará a la deflexión medida en ambos lados de las juntas.

Las deflexiones obtenidas cerca de una alcantarilla suelen ser mucho mayores; y para secciones en corte y en balcón se presentan diferencias considerables en las deflexiones. Es importante considerar tales condiciones cuando se obtienen deflexiones en un tramo de carretera, y más aún cuando se seleccionan las zonas de evaluación.

3.5.3.9 Aplicaciones de la Evaluación Estructural

Dentro del análisis estructural se encuentran los estudios de vida remanente, capacidad estructural y rehabilitaciones. Para realizar los estudios existen diversos métodos, los cuales se orientan a predecir y solucionar fallas estructurales que ocurren en los pavimentos. Los métodos se pueden dividir en *empírico* y *mecanicista-empírico*.

La mayoría de los procedimientos de diseño utilizados son empíricos, en donde el criterio de falla está basado en un set determinado de condiciones, por ejemplo: tráfico, materiales, configuración de las capas y condiciones ambientales. Un ejemplo de ello es el método AASHTO.

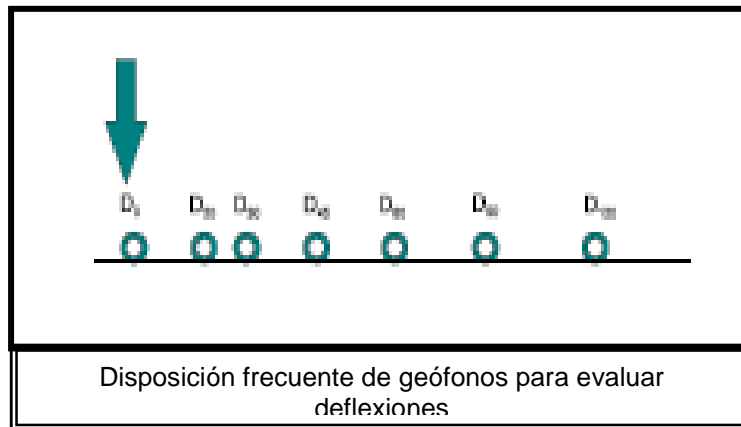
El otro tipo de método son los mecanicistas, basándose en relaciones físicas para determinar la reacción de las estructuras cargadas. En la práctica, métodos estrictamente mecanicistas no existen, generalmente se combinan con la experiencia empírica. Estos métodos que combinan ambos elementos se denominan mecanicista-empíricos. La componente mecanicista está dada por la respuesta estructural del pavimento, como

tensiones, deformaciones y deflexiones dentro de las capas del pavimento determinado a través del uso de modelos matemáticos, y la parte empírica se utiliza para relacionar estas respuestas con el comportamiento del pavimento in situ.

El Modelo YONAPAVE, es un modelo mecanicista-empírico que requiere de datos del FWD y se utilizará para realizar el análisis estructural a nivel de red y de proyecto. Previamente analizaremos la Interpretación del Área de Cuenco de Deflexiones, que es la base del método anteriormente mencionado, y además comprende una de las herramientas para la identificación de las Secciones Homogéneas.

3.5.3.9.1 El área del cuenco de deflexiones.

El ÁREA de la Cuenca de deflexiones es una herramienta de interés para observar la capacidad estructural de un pavimento de carretera. Establecida por el Ingeniero Mario S. Hoffman en 1981 al desarrollar su tesis doctoral fue incorporada por el método AASHTO y recientemente ha sido recuperada en diversos estudios desarrollados tanto por investigadores universitarios como por Agencias de Carreteras y Departamentos de transporte en particular por el DOT del Estado de Washington.



El valor del ÁREA se define por la siguiente expresión:

$$Area = \frac{150(D_0 + 2D_{30} + 2D_{60} + D_{90})}{D_0}$$

Donde:

D_0 = Deflexión en el centro de la carga

D_{30} = Deflexión a 30 cm de la carga

D_{60} = Deflexión a 60 cm de la carga

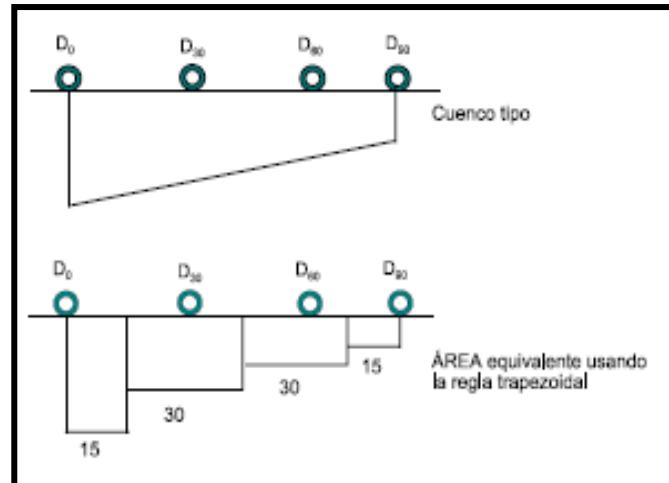
D_{90} = Deflexión a 90 cm de la carga

En primer lugar señalar que el ÁREA al estar normalizada por el valor de la deflexión máxima (bajo la carga) tiene unidades de milímetros (o cm, según se desee hablar).

En segundo lugar indicar que el valor del ÁREA está acotado entre un máximo, fácil de determinar ya que ocurre cuando los 4 valores de deflexión son iguales, lo cual no es muy probable que suceda, entrando en la ecuación fácilmente se obtiene que el valor máximo del ÁREA es

igual a:

$$150 * (1 + 2 + 2 + 1) = 900 \text{ mm}$$



Asimismo tiene un mínimo no tan evidente que correspondería a ensayar sobre la explanada en un sistema monocapa. Las relaciones entre los sensores resultan ser :

$$D_{30}/D_0 = 0.26; D_{60}/D_0 = 0.125; D_{90}/D_0 = 0.083;$$

Aplicando estos valores en la ecuación del ÁREA resulta un valor mínimo de:

$$150 * \{1 + 2(0.26) + 2(0.125) + 0.083\} = 278 \text{ mm}$$

De la observación del valor del ÁREA y de la deflexión máxima se han establecido tendencias sobre el estado del pavimento que se recogen en

la siguiente tabla:

ÁREA	DEFLEXIÓN MÁXIMA (D0)	CONCLUSIONES
BAJA	BAJA	FIRME DÉBIL EXPLANADA FUERTE
BAJA	ALTA	FIRME DÉBIL EXPLANADA DÉBIL
ALTA	BAJA	FIRME FUERTE EXPLANADA FUERTE
ALTA	ALTA	FIRME FUERTE EXPLANADA DÉBIL

En conclusión la presente tabla es una herramienta que nos ayuda a descartar errores en el retroanálisis, una buena interpretación de la cuenca de deflexiones ayuda a determinar si los deterioros se producen por fallos en las capas o en el cimiento del pavimento.

Asimismo, el Dr. Hoffman indica la siguiente equivalencia aproximada de valores típicos de Área.³¹

TIPO DE FIRME	VALOR DEL ÁREA
FLEXIBLE	≤ 600
SEMIRRÍGIDO	600 - 710
RÍGIDO	> 710

³¹ Evaluación estructural de firmes de carreteras: AEPO ingenieros consultores.

3.5.3.9.2 El Método YONAPAVE

Se presenta un método simple y directo (YONAPAVE) para la evaluación de las necesidades estructurales de pavimentos flexibles basado en la interpretación del cuenco de deflexiones usando conceptos mecanísticos y empíricos. La primera parte de YONAPAVE estima el Número Estructural Efectivo (SN) y el módulo equivalente de la subrasante independientemente del espesor de las capas constitutivas del pavimento. Por ello, no hay necesidad de practicar perforaciones, permitiendo ahorros en tiempo y dinero, y evitando incomodidades al flujo del tránsito. La segunda parte de YONAPAVE requiere la medición del espesor de la carpeta asfáltica existente por medio de perforaciones superficiales para verificar las condiciones de fatiga en la capa asfáltica y proponer el refuerzo necesario para satisfacer los criterios de fatiga para los niveles de tráfico futuro estimados.

Las simples ecuaciones y algoritmos de YONAPAVE permiten rápidas estimaciones estructurales en el campo. La simplicidad del método y su independencia del uso de sofisticados programas de computadora hacen de YONAPAVE un método apto para evaluar las necesidades estructurales de una red de carreteras y hacer un estimativo de los costos usando la información deflectométrica del FWD. Con el reiterado uso y la cimentación de experiencia local, sumado a la comparación y calibración con otros métodos de evaluación estructural y cálculo de

refuerzos, YONAPAVE puede constituirse en el método adoptado para determinar las necesidades de refuerzo a nivel de proyecto ejecutivo.

A.H.A. Hogg presentó el análisis de una losa de espesor delgado sustentada por una fundación elástica de espesor finito o infinito en 1938 y 1944.

Wiseman y otros demostraron la utilidad del modelo para la evaluación estructural de pavimentos y Hoffman amplió la solución para el cálculo de cuencos de deflexiones con el modelo de Hogg para cargas de cualquier forma y a diferentes distancias del eje de la carga. La Tabla 11 muestra los parámetros y las definiciones del modelo.

Incorporando los valores de $\mu_p=0.25$ y $\mu_{sg}=0.5$ en las ecuaciones [2] y [3], y realizando las sustituciones algebraicas pertinentes, la Ecuación [1] se puede reformular como:

$$SN_{\psi} = 0.0182 l_0 \sqrt{E_{sg}} \dots [4]$$

Donde:

l_0 = Longitud Característica, en cm,

E_{sg} = Módulo de Elasticidad de la subrasante, en Mpa.

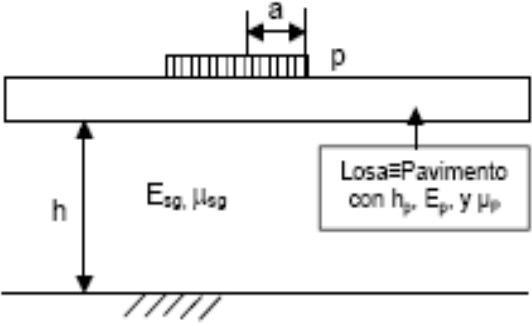
Geometría del Modelo	
Parámetros Básicos del Modelo	<p>Rigidez de la losa (pavimento), $D = \frac{E_p h_p^3}{12(1-\mu_p^2)} \dots [2]$</p> <p>Longitud Característica, $l_0 = \sqrt{\frac{D}{E_{sg}} \frac{(1+\mu_{sg})(3-4\mu_{sg})}{2(1-\mu_{sg})}} \dots [3]$</p> <p>Módulo de Subrasante y coeficiente de Poisson, E_{sg}, μ_{sg}</p>

Tabla 11: Parámetros y Definiciones del Modelo de Hogg

Se observa en la Ecuación [4], que reemplazando el sistema pavimento-subrasante real por medio de la simplificación de Hogg, es posible evaluar el SN efectivo de acuerdo al postulado de la AASHTO, por medio de la longitud característica y el módulo de elasticidad de la subrasante. El SN efectivo del pavimento ya no es más una función directa de h_p . El problema se reduce, entonces, a la determinación de l_0 y E_{sg} de la interpretación del cuenco de deflexiones con el FWD.

Cuenco de deflexiones en el modelo de Hogg

La Fig. 56 muestra cuencos de deflexiones calculados con el modelo de Hogg "cargado" con la configuración geométrica del FWD, es decir, con una carga circular de 6 pulgadas de radio. La figura ilustra la variación

del cociente de las deflexiones D_r/D_0 para valores de deflexiones a diferentes distancias del eje de carga en relación a la deflexión central para diferentes valores de l_0 , y para una base rígida (capa rocosa) a un espesor equivalente a 20 veces l_0 ($h / l_0 = 20$).

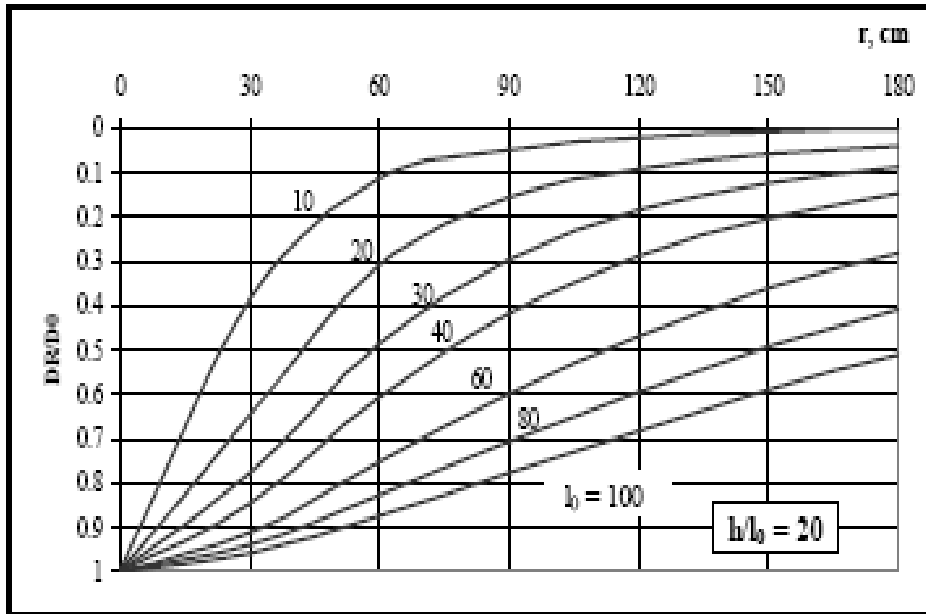


Fig. 56: Variación de D_R/D_0 vs. Lo en el modelo de How para $h/l_0=20$, carga de FWD

La Fig. 57 muestra la variación del Área del cuenco de deflexiones en función de la longitud característica para el modelo de Hogg con una capa rocosa a una profundidad de 10 veces l_0 ($h/l_0=10$). El Área del cuenco de deflexiones se calcula en base a la siguiente expresión (12):

$$Area = 6 \left(1 + 2 \frac{D_{30}}{D_0} + 2 \frac{D_{60}}{D_0} + \frac{D_{90}}{D_0} \right) \dots [5]$$

Donde:

Área = Área del cuenco de deflexiones, en pulgadas,
 $D_0, D_{30}, D_{60}, D_{90}$ = Deflexiones del FWD para $r=0, 30, 60$ y 90 cm
respectivamente.

De la Fig. 57 puede verse que la longitud característica se determina en forma directa del valor del Área del cuenco de deflexiones para un valor seleccionado de h/l_0 . Curvas similares de AREA vs. l_0 pueden desarrollarse para diferentes valores de h/l_0 . También puede verse que la longitud característica se determina en forma independiente del valor del espesor del pavimento.

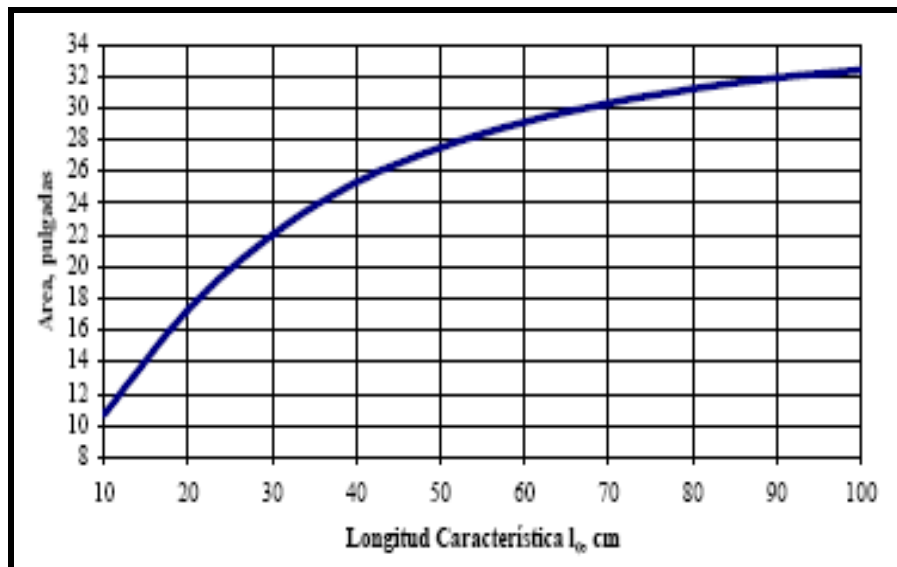


Fig. 57: “AREA” del cuenco de deflexiones vs. l_0 en el modelo de How para $h/l_0=10$, carga de FWD

La Fig. 58 muestra la variación del factor de deflexión máxima en el modelo de Hogg en función de la longitud característica para diferentes valores de h/l_0 .

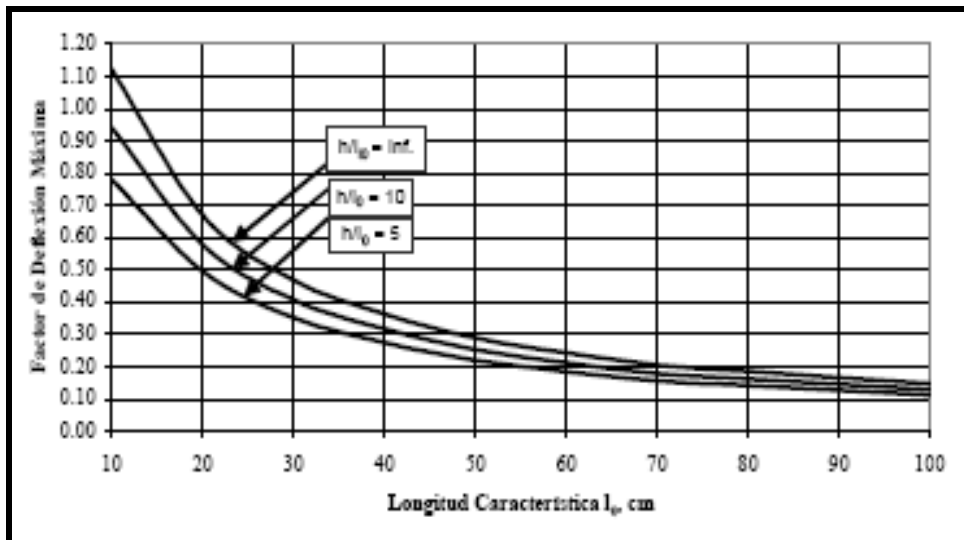


Fig. 58: Factor de deflexión máxima en el modelo de How para diferentes valores de h/l_0

El valor del factor de deflexión máxima se define como:

$$\text{FactorDeflexionMaxima} = \frac{D_0 E_{sg}}{\rho a} \dots [6]$$

Donde:

D_0 = Deflexión máxima bajo el plato de carga circular del FWD de 12 pulgadas de diámetro, en unidades de longitud.

E_{sg} = Módulo de Elasticidad de la subrasante, en unidades de carga/superficie.

ρ = Presión en el plato de carga del FWD, en las mismas unidades de E_{sg} .

a = radio del plato de carga del FWD, en las mismas unidades de D_0 .

Una vez que h/l_0 ha sido seleccionado, y l_0 ha sido determinado por medio de una relación similar a la de la Fig. 57, se puede determinar el factor de deflexión máxima por medio de la Fig. 58. El módulo de elasticidad de la subrasante es calculado multiplicando el factor de deflexión máxima por la presión y el radio del plato de carga, y dividiendo por la deflexión máxima medida con el FWD. Una vez que se han determinado l_0 y E_{sg} , es posible calcular el valor del número estructural SN por medio de la Ecuación [4].

Algoritmos de YONAPAVE

Basado en múltiples comparaciones entre el módulo de elasticidad determinado usando el método propuesto y el programa MODULUS, se ha podido determinar que la mayor coincidencia entre ambos módulos se obtiene cuando la profundidad de la capa rocosa en el modelo de Hogg, es decir el valor de h/l_0 , es determinado en función del Área del cuenco de deflexiones.

Usando simples técnicas de ajuste de curvas es posible expresar la relación entre la longitud característica y el Área del cuenco de deflexiones usando una expresión de la forma:

$$l_0 = A \times e^{B \times \text{Area}} \dots [7]$$

Donde:

l_0 = Longitud Característica en cm,

Área = Área del Cuenco de Deflexiones, en pulgadas,

A, B = Coeficientes de ajuste de curvas según se describe en la Tabla

12.

Rango de Valores del Area, pulgadas	h/l_0	A	B
Area =23.0	5	3.275	0.1039
21.0=Area<23.0	10	3.691	0.0948
19.0=Area<21.0	20	2.800	0.1044
Area<19.0	40	2.371	0.1096

Tabla 12: Coeficientes de ajuste de curvas para el cálculo de lo

De una manera similar, es posible ajustar una curva exponencial para la determinación de E_{sg} usando una expresión de la forma:

$$E_{sg} = m \times \frac{P}{D_0} \times l_0^n \dots [8]$$

Donde:

E_{sg} = Módulo de Elasticidad de la Subrasante, en Mpa.

p = Presión de carga en el plato del FWD, en kpa.

D_0 = Deflexión del FWD bajo el plato de carga, en mm.

m, n = Coeficientes de ajuste de curva según se describe en la Tabla 12.

h/l_0	m	N
5	926.9	-0.8595
10	1,152.1	-0.8782
20	1,277.6	-0.8867
40	1,344.2	-0.8945

Tabla 13: Coeficientes de Ajuste para el Cálculo de Esg

La Fig. 59 muestra la concordancia entre los valores de E_{SG} obtenidos con MODULUS y con YONAPAVE en varias secciones de pavimentos de Israel (véase Tabla 11).

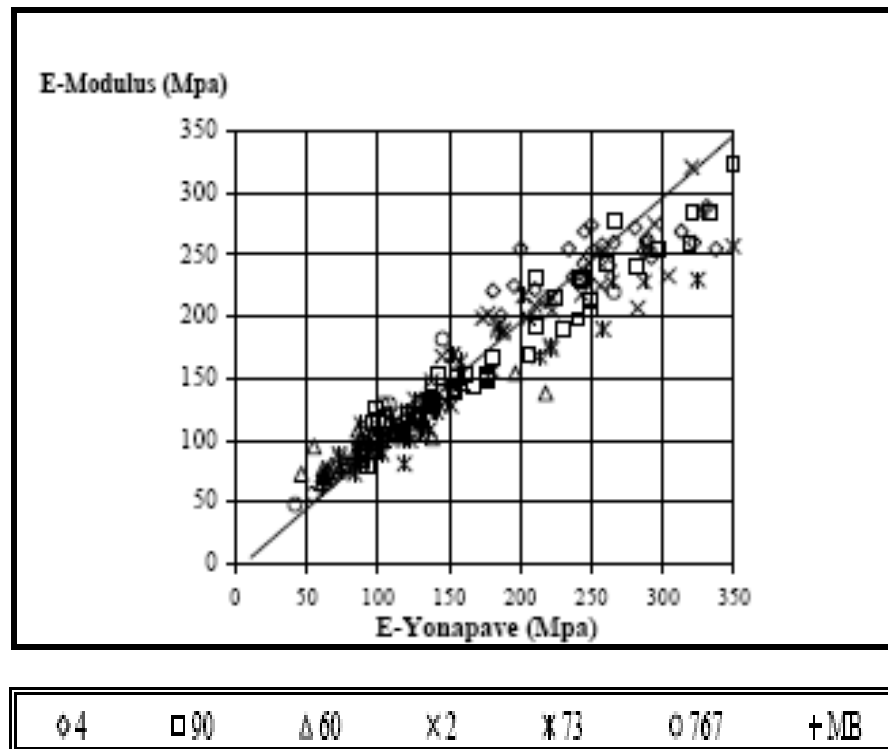


Fig. 59: Módulos de Elasticidad de MODULUS vs. YONAPAVE

Determinación del SN_{ef}

Una vez que los valores de l_0 y ESG han sido determinados, según se

explicó en la sección anterior, es posible calcular SN_{ef} usando la ecuación [4]. Debido a las características intrínsecas del modelo de Hogg, en el cual la estructura del pavimento es modelada como una losa de espesor pequeño, y consecuentemente no se producen deformaciones verticales en la estructura del pavimento, la ecuación [4] subestima el valor de SN, para lo cual se propone la corrección detallada a continuación.

Basado en numerosos análisis de retroanálisis con el programa MODULUS, donde se utilizó la mejor información disponible en lo que a espesores de capa se refiere, se derivó un valor de SN calculado en base a MODULUS conjuntamente con el SN calculado con la ecuación [4]. El valor SN derivado de MODULUS utilizó los módulos de elasticidad retroanalizados de los cuencos de deflexiones medidos con el FWD en base al esquema propuesto en la guía AASHTO. Este valor de SN fue adoptado como el valor "correcto" del SN efectivo del pavimento.

La comparación de los valores de SN derivados del programa MODULUS y los obtenidos usando la ecuación [4] permite definir una simple ecuación de corrección de la forma:

$$SN_{ef} \text{ corregido} = 2 SN_{Ecuacion [4]} - 0.5 \dots [9]$$

La ecuación [9] tiene un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.84$. De

esta manera, los valores de SN obtenidos por medio de la ecuación [4] deben ser corregidos usando la ecuación [9] para contrarrestar la subestimación relacionada con la losa del modelo de Hogg.

Corrección por temperatura

La temperatura tiene un impacto directo sobre el módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica. Este efecto se ve directamente reflejado en los parámetros del cuenco de deflexiones medido con el FWD a diferentes temperaturas. El grado de influencia de la temperatura sobre el módulo de elasticidad del asfalto, y consecuentemente sobre las deflexiones, depende del tipo de mezcla, de su edad, de su grado de deterioro, etc. El efecto de la temperatura sobre las deflexiones medidas con el FWD se ve afectado también por el espesor de la carpeta asfáltica.

Basado en numerosas mediciones de cuencos de deflexiones con el FWD en pavimentos flexibles tanto de carreteras como de aeropuertos durante el mismo día de verano a diferentes temperaturas, se han podido definir rangos típicos de los efectos de la temperatura en Israel para carpetas de más de 10 cm de espesor, según se indica a continuación:

- Entre la mañana y las primeras horas de la tarde, la temperatura de la carpeta asfáltica a una profundidad de 5 cm aumenta típicamente hasta un 60%.
- Para ese rango de temperaturas, la deflexión máxima bajo el plato

de carga del FWD aumenta típicamente hasta un 20%.

- En ese rango de temperaturas, el AREA del cuenco de deflexiones disminuye típicamente hasta un 7%.

En ese rango de temperaturas, los módulos de elasticidad retrocanalizados con el programa MODULUS para un modelo tricapa elástico representando a estos pavimentos tiene las siguientes variaciones típicas:

- Variación típica del módulo de la carpeta EAC: -50%
- Variación típica del módulo de las capas granulares: +10%
- Variación típica del módulo de la subrasante ESG: -10%

Es interesante notar que una mezcla asfáltica "fresca", ensayada en el laboratorio, exhibe normalmente una variación del módulo de resiliencia del orden de 100% o más en el mismo rango de temperaturas. Una discusión sobre las diferencias de comportamiento entre el material de "capa" y la "muestra" de laboratorio excede el alcance de este trabajo, aunque por lo general se observa que el comportamiento de la "capa" en el sitio es menos pronunciada que el comportamiento de la "muestra" en el laboratorio. Este efecto más moderado tiene que ver también con la influencia recíproca entre las diferentes capas y efectos de no linealidad, los cuales son muy difíciles de reproducir y medir en el laboratorio.

La Fig. 60 muestra la variación del número estructural a cualquier temperatura con respecto a una temperatura base de 30 °C versus la temperatura de la carpeta asfáltica medida a una profundidad de 5 cm. Los valores de SN a distintas temperaturas fueron calculados usando YONAPAVE para diferentes carreteras y aeropuertos de Israel, en los cuales se midieron cuencos de deflexiones el mismo día a diferentes horas desde la mañana temprano hasta la tarde. Una temperatura referencial de 30 °C fue seleccionada como representativa de las condiciones climáticas prevalecientes en Israel.

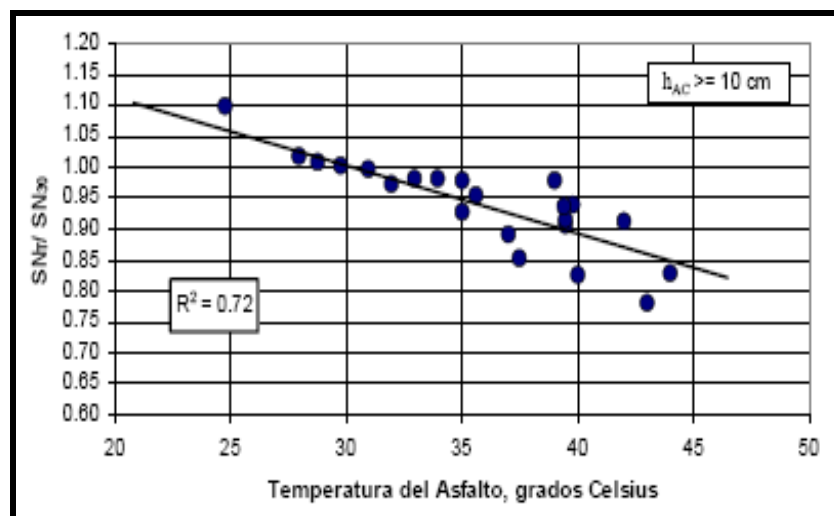


Fig. 60: Variación del SN Efectivo con la temperatura de la carpeta asfáltica

La relación lineal representada en la Fig. 60 puede expresarse como:

$$SN_T / SN_{30^{\circ}C} = 1.33 - 0.011T \dots [10]$$

Donde:

$SN_T = SN$ efectivo a cualquier temperatura

$SN_{30^\circ C} = SN$ efectivo a una temperatura base de $30^\circ C$

T = Temperatura de la carpeta asfáltica en $^\circ C$ a 5 cm de profundidad.

La ecuación [10] puede ser usada para corregir el SN efectivo calculado con YONAPAVE a diferentes temperaturas a una temperatura base referencial de $30^\circ C$. Esta ecuación fue desarrollada para temperaturas de carpetas asfálticas en el rango de 22 a $45^\circ C$. No es recomendable realizar extrapolaciones fuera de este rango sin una verificación experimental. Además, la ecuación es aplicable al caso de carpetas asfálticas de 10 ó más cm de espesor. En el caso de carpetas con espesores menores a 10 cm se evidencia un efecto pequeño y por lo tanto despreciable, de la temperatura sobre el valor de SN. De la Figura 60 o la ecuación [10] es posible desarrollar una corrección por temperatura para otros valores referenciales distintos de $30^\circ C$.

Implementación de YONAPAVE para la evaluación estructural y el diseño de refuerzos

La implementación de YONAPAVE para la evaluación estructural y el diseño de refuerzos de pavimentos flexibles comprenden dos fases de análisis:

1. La evaluación de la capacidad estructural total del pavimento, y
2. La verificación de la resistencia a la fatiga en las capas asfálticas.

Estas dos fases de análisis se detallan a continuación.

Evaluación de la Capacidad estructural total del pavimento.- La evaluación de la capacidad estructural total del pavimento está esquematizada en la Figura 6 y se compone de los siguientes pasos:

- 1) La medición del cuenco de deflexiones con el FWD con cargas de 45 á 75 KN (dependiendo de los límites legales de carga en la red). Paralelamente, el registro de la temperatura de la carpeta asfáltica a una profundidad de 5 cm cada 1 á 2 horas.
- 2) El análisis de la homogeneidad del pavimento (tramos homogéneos) y de la necesidad de dividirlo en subsecciones dependiendo de los valores de deflexión máxima y/o el AREA del cuenco de deflexiones, y/o la inspección visual de las fallas (tipo, severidad y cantidad), la rugosidad superficial o algún otro criterio.
- 3) Determinación de h/l_0 en base a los valores del AREA.
- 4) Cálculo de l_0 y E_{SG} usando las Ecuaciones [7] y [8], respectivamente.
- 5) Cálculo del valor de SN_{ef} usando la Ecuación [4] y corrección de este valor usando la Ecuación [9].
- 6) Corrección de SN por temperatura usando la Ecuación [10].

- 7) Para la adopción de valores de diseño se recomienda usar el percentil 30 para E_{SG} , y percentiles de 10 á 30 para valores corregidos de SN_{ef} dependiendo de la importancia de la vía analizada, seleccionando los percentiles más bajos para las carreteras más importantes.

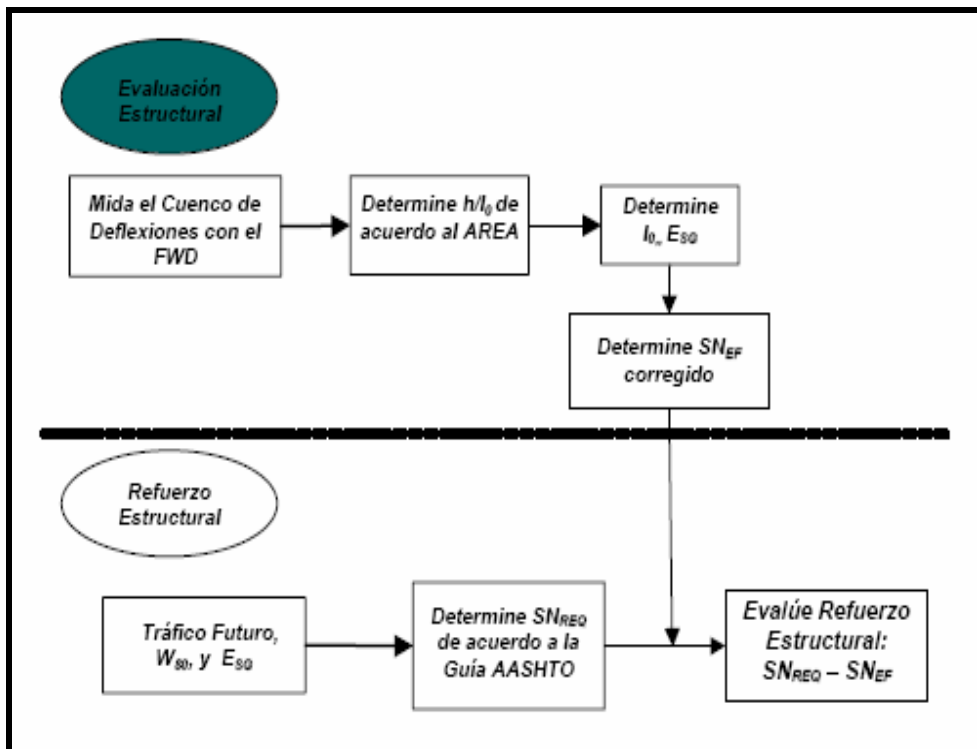


Fig. 61: Diagrama de flujo esquemático para la evaluación de la capacidad estructural total del pavimento.

El **refuerzo estructural** puede determinarse de acuerdo al siguiente esquema:

- 1) Evalúe la demanda futura de tráfico en ejes equivalentes de 80 KN (18 kilolibras) durante el período de diseño seleccionado (10 á 20 años dependiendo de los presupuestos existentes u otros criterios

de rehabilitación).

- 2) Usando el módulo de la subrasante E_{SG} obtenido por medio de YONAPAVE y la demanda futura de tráfico determinada en el numeral anterior, determine el número estructural requerido de acuerdo a la Guía AASHTO de 1993.
- 3) Compare el número estructural requerido (SN_{Req}) con el efectivo (SN_{ef}) evaluado con YONAPAVE para establecer la capacidad estructural y estimar las necesidades de refuerzo. La capacidad estructural puede expresarse por medio del Índice de Capacidad Estructural (ICE) definido como:

$$ICE (\%) = (SN_{ef}/SN_{Req}) \times 100 \dots [11]$$

- 4) Si el ICE es igual o mayor al 100% el pavimento no adolece de deficiencia estructural. Si el ICE en cambio es menor al 100% existe una carencia estructural. Es posible expresar el espesor de carpeta asfáltica requerido para satisfacer el déficit estructural del pavimento de acuerdo a la siguiente expresión:

$$H_{AC} = (SN_{Req} - SN_{ef}) / \alpha \dots [12]$$

Donde:

H_{AC} = Espesor del refuerzo asfáltico, en pulgadas.

α = coeficiente de capa asfáltica (0.44 según AASHTO u otros valores)

Verificación de la resistencia a la fatiga en las capas asfálticas

La Guía AASHTO 1993 no considera en forma directa la fatiga de la carpeta asfáltica como mecanismo de falla estructural en pavimentos flexibles. Otros métodos de diseño desarrollados en los años 70 y 80 del siglo pasado, entre los que se cuentan el método Shell y el método del Instituto del Asfalto, sí han establecido relaciones entre la deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta asfáltica y el desarrollo de fisuras de fatiga, las cuales han sido incorporadas como criterios de diseño estructural.

Para incorporar los criterios de fatiga de la carpeta asfáltica en la evaluación estructural de un pavimento existente, es necesario realizar calicatas superficiales para determinar el espesor de la carpeta existente y el grado de adherencia entre sus subcapas. Además hay que evaluar el grado de fisuramiento, desprendimiento, desintegración y oxidación de la carpeta existente para determinar su valor estructural residual en el cálculo del refuerzo total requerido. YONAPAVE propone incorporar el análisis de fatiga de la carpeta asfáltica según se explica a continuación.

Volviendo al sistema bicapa elástico considerado en la guía AASHTO (ver Ecuación [1]), YONAPAVE caracteriza al pavimento-subrasante evaluados como un sistema bicapa elástico efectivo o equivalente representado en la Fig. 62. En el sistema representado en la figura, el espesor y el módulo del pavimento (h_P y E_P) son valores efectivos que se obtienen directamente

del cuenco de deflexiones medido con el FWD usando las siguientes simplificaciones y supuestos.

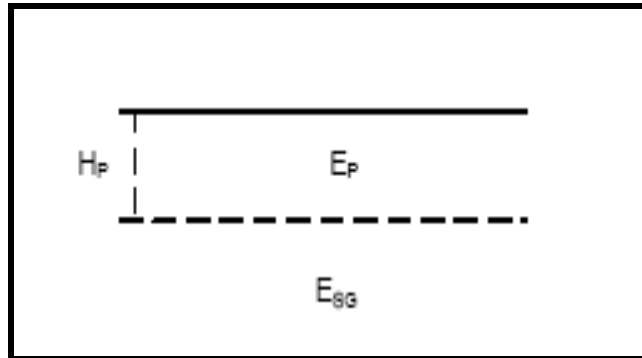


Fig. 62: Sistema Bicapa Equivalente del Pavimento Subrasante

Si se aplica al modelo bicapa elástico de la Fig. 62 la geometría de carga del FWD, se verifica que para un rango de espesores de la capa del pavimento, h_p , de 25 á 75 cm, la relación entre el cociente modular E_p/E_{sg} y el AREA del cuenco de deflexiones es prácticamente independiente del espesor del pavimento, de manera que es posible expresar la siguiente aproximación:

$$E_p/E_{sg} = 0.1256 e^{0.2095 \text{ AREA}} \dots [13]$$

Donde:

E_p = Módulo efectivo o equivalente del pavimento.

E_{sg} = Módulo de la subrasante.

AREA = Area del cuenco de deflexiones de acuerdo a la Ecuación [5].

Como el valor de E_{sg} ya ha sido determinado por medio de la Ecuación

[8], la Ecuación [13] permite estimar el módulo efectivo del pavimento EP.

Como también ya se conoce al valor de S_{Nef}, el espesor equivalente o efectivo del pavimento, h_P, puede calcularse por medio de la Ecuación [1].

Por otra lado, la resistencia a la fatiga de la carpeta asfáltica es calculada de acuerdo a la ecuación propuesta por Finn modificada por Uzan para tomar en cuenta la fase de propagación de las fisuras. La ecuación resultante es:

$$\log W_{80} = -3.13 + \frac{h}{380} - 3.291 \log \varepsilon_t - 0.854 \log E_{AC} \dots [14]$$

Donde:

W_{80} = Número de ejes equivalentes de 80 KN (8.2 ton)

h = espesor de la carpeta asfáltica en mm.

ε_t = Máxima deformación unitaria de tracción en la base de la carpeta asfáltica.

E_{AC} = Módulo de elasticidad del asfalto a la temperatura de diseño, en Mpa.

El primer paso en la verificación de la fatiga en el método YONAPAVE consiste en determinar cuál es el espesor mínimo de carpeta asfáltica requerido en el caso extremo (conservativo) en el que se supone que todo el espesor h_P está compuesto solamente de material granular. El espesor mínimo de la carpeta depende del módulo de elasticidad de la subrasante,

E_{SG} , del espesor h_P , y de los niveles de tráfico expresados por el valor de W_{80} , y es calculado por intermedio del programa JULEA. En el cálculo de la fatiga se ha adoptado un módulo de elasticidad para la capa asfáltica de 3,000 Mpa. El módulo de la capa granular de espesor h_P (expresado en mm) se determina de acuerdo a la relación:

$$E_{GR} = E_{SG} (1 + 0.003 h_P) \dots [15]$$

Donde:

E_{SG} = módulo de elasticidad de la subrasante obtenido en la primera fase de evaluación.

En base a numerosos cálculos realizados de acuerdo al esquema arriba indicado, y después de aplicar el método en diversos proyectos de evaluación estructural, se concluye que desde el punto de vista práctico, es posible dividir a los pavimentos flexibles en 2 grupos:

- a) Pavimentos con h_P evaluado menor de 30 cm, y
- b) Pavimentos con h_P evaluado mayor de 30 cm.

Para el primer grupo el cálculo de la fatiga se efectúa con un espesor granular representativo de 20 cm, y para el segundo grupo el cálculo de la fatiga en la carpeta asfáltica se efectúa con un espesor granular de 40 cm.

Las Figuras 8 y 9 muestran el espesor mínimo de carpeta asfáltica requerido para satisfacer los criterios de fatiga en los 2 grupos adoptados.

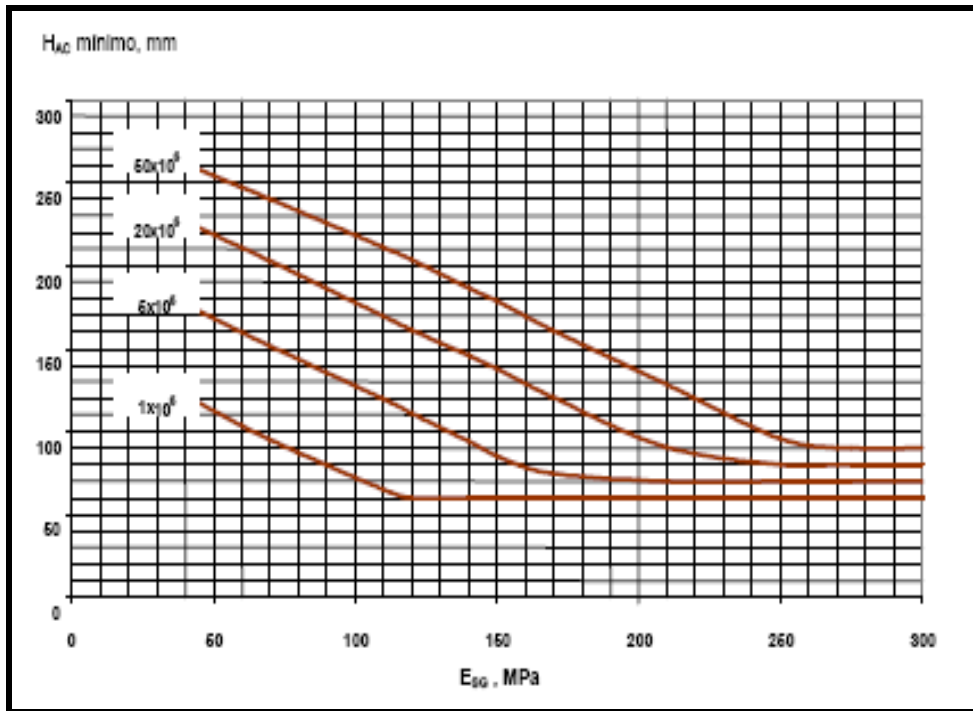


Fig. 63: Espesor Mínimo de Carpeta Asfáltica para h_P menor de 30 cm.

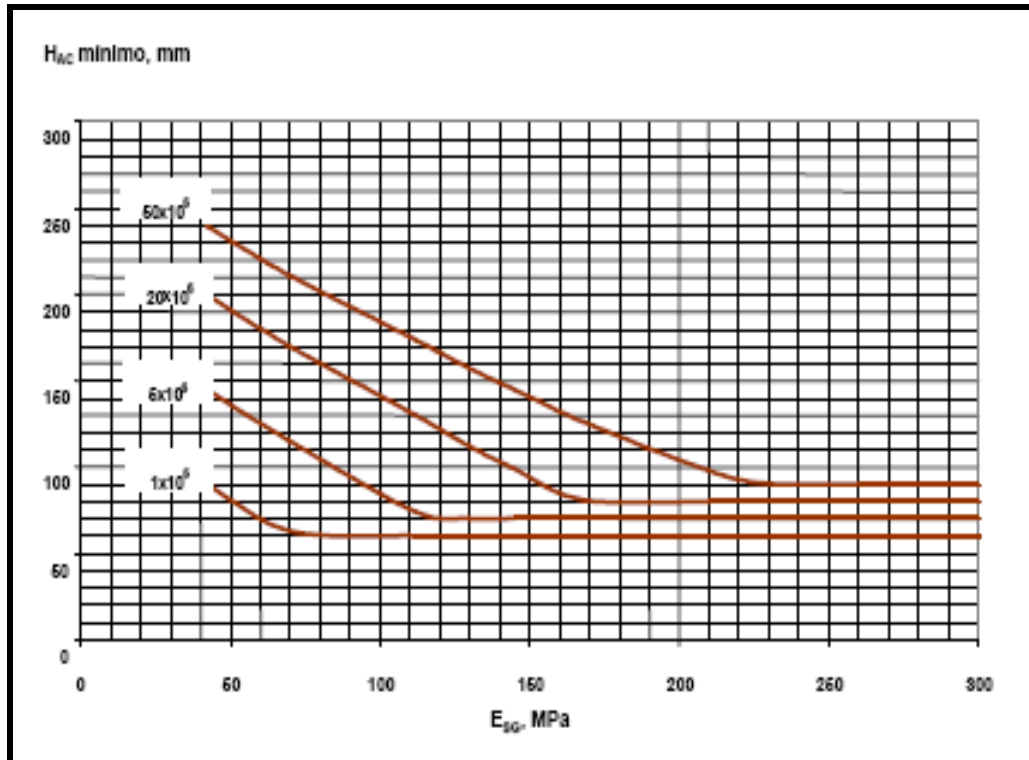


Fig. 64: Espesor Mínimo de Carpeta Asfáltica para hP Mayor de 30cm

El espesor de refuerzo asfáltico final necesario para satisfacer los criterios de fatiga se determina tomando en cuenta el espesor mínimo obtenido por medio de las Fig. 63 y 64 y el espesor de la carpeta existente. En este proceso, hay que considerar los niveles y severidad de fallas en la carpeta existente, el nivel de adherencia entre sus subcapas, y las limitaciones geométricas o constructivas del proyecto.

Si bien no es posible proponer una solución para todos y cada uno de los casos particulares que pueden presentarse en diferentes proyectos, la tabla 5 presenta lineamientos generales para tomar en cuenta el espesor existente en el proceso de determinar el espesor asfáltico de refuerzo.

Caso No.	Nivel y Severidad de Fallas en la Carpeta Existente	Valor Residual de la Carpeta Existente
1	Fisuramiento en más del 25% del pavimento	0 %
2	Fisuramiento menor a 25% con escasa a mediana desintegración y/u oxidación	25%
3	Escaso o nulo fisuramiento u otras fallas	50%

Tabla 14: Recomendaciones Generales para considerar el espesor de la carpeta asfáltica existente

En el caso 1 de la tabla 14 no se asigna ningún valor estructural a la carpeta existente y ésta actúa como material granular. Por cuestiones constructivas puede contemplarse el escarificado de toda la carpeta existente a fin de evitar la reflexión de las fallas en las capas de refuerzo, y la construcción de una carpeta monolítica nueva de espesor según se determina en las Fig. 63 ó 64 según sea el caso.

En el caso 2 se le asigna un valor de 25% al espesor existente. Es decir, una carpeta de 100 mm aporta 25 mm estructurales en el cálculo del refuerzo por fatiga. En el caso 3 el valor residual es del 50%, es decir, 100 mm de carpeta existente contribuyen 50 mm estructurales.

Resumiendo, la verificación de la resistencia a la fatiga en las capas asfálticas se compone de los siguientes pasos:

- 1) La determinación de E_p y h_p equivalentes del pavimento mediante las ecuaciones [13] y [1] y el valor de SN_{ef} determinado en la primera

fase de la evaluación.

- 2) La estimación de la demanda futura de tráfico en términos del número de repeticiones del eje equivalente de 80 KN.
- 3) La determinación del espesor mínimo de carpeta asfáltica requerido para satisfacer los criterios de fatiga usando las figuras 8 ó 9 según el valor de E_{SG} evaluado en la fase anterior, el nivel de tráfico, y el valor de h_p .
- 4) La asignación de un valor residual estructural a la carpeta existente de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 14.
- 5) La adopción del espesor de refuerzo asfáltico recomendado tomando en cuenta el espesor mínimo requerido, el espesor residual existente y otras consideraciones de orden estructural, constructivo, económico, etc.

Progresiva Km	Esfuerzo Kpas	Temperatura Grad. Cel.	D0 mm	D20 mm	D60 mm	D90 mm	Area pulg.	Rigidez ton/cm	Lo(Yona) cm	Esg(Yona) Mpa	SNeF Yona	Ep Mpa	ap	Hpef cm	Carril
44+100	700	40,0	312	263	106	69	19,6	162	21,7	187	4,5	1431	0,27	43,0	Carril Derecho
44+200	700	23,0	333	249	96	60	18,1	151	17,3	221	3,1	1232	0,25	30,7	Carril Izquierdo
44+300	700	40,0	334	277	111	71	19,9	151	22,3	170	4,5	1378	0,26	43,4	Carril Derecho
44+400	700	23,0	176	121	43	33	16,8	288	15,0	476	3,5	2037	0,30	29,7	Carril Izquierdo
44+500	700	40,0	229	160	53	36	16,8	220	14,6	373	3,7	195	0,27	35,0	Carril Derecho
44+600	700	23,0	174	131	40	26	17,2	290	15,6	463	3,6	2122	0,30	30,1	Carril Izquierdo
44+700	700	40,0	191	142	54	34	17,9	264	16,9	393	4,5	2106	0,30	37,7	Carril Derecho
44+800	700	23,0	134	94	39	28	17,7	378	16,6	571	4,2	2946	0,34	31,3	Carril Izquierdo
44+900	700	40,0	154	111	46	33	18,2	329	17,4	476	5,0	2701	0,33	38,5	Carril Derecho
45+000	700	23,0	166	117	47	34	17,7	304	16,4	464	3,8	2357	0,31	30,9	Carril Izquierdo
45+100	700	40,0	148	102	52	42	18,9	342	18,8	462	5,4	3034	0,34	39,9	Carril Derecho
45+200	700	23,0	185	154	66	65	22,6	273	31,4	211	5,9	3011	0,34	43,6	Carril Izquierdo
45+300	700	40,0	238	194	107	77	22,0	212	29,6	173	6,2	2163	0,31	51,4	Carril Derecho
45+400	700	23,0	147	103	42	34	17,8	344	16,7	517	4,1	2710	0,33	31,3	Carril Izquierdo
45+500	700	40,0	243	189	76	48	18,8	207	18,6	283	4,4	1822	0,29	39,0	Carril Derecho
45+600	700	23,0	168	115	45	32	17,1	299	15,4	492	3,8	2165	0,31	30,0	Carril Izquierdo
45+700	700	40,0	230	240	105	64	20,3	174	23,2	189	4,9	1666	0,28	44,5	Carril Derecho
45+800	700	23,0	174	137	72	61	21,0	290	27,1	256	5,3	2629	0,33	41,6	Carril Izquierdo
45+900	700	40,0	283	231	92	58	19,1	172	20,5	209	4,4	1430	0,27	42,1	Carril Derecho
46+000	700	23,0	216	164	77	58	19,7	233	22,0	267	4,3	2093	0,30	36,3	Carril Izquierdo
46+100	700	40,0	131	102	57	45	21,5	387	28,4	327	7,4	3740	0,37	51,6	Carril Derecho
46+200	700	23,0	116	94	50	40	21,8	435	29,3	358	6,6	4361	0,39	43,1	Carril Izquierdo
46+300	700	40,0	101	76	48	40	22,2	502	30,3	401	8,6	5284	0,41	52,9	Carril Derecho
46+400	700	23,0	243	147	47	34	14,8	207	12,0	420	2,6	1163	0,25	26,2	Carril Izquierdo
46+500	700	40,0	122	80	43	35	16,6	415	18,2	576	5,6	3576	0,36	39,7	Carril Derecho
46+600	700	23,0	132	86	38	28	17,1	381	15,4	615	4,0	2785	0,33	30,4	Carril Izquierdo
46+700	700	40,0	163	116	62	51	19,8	310	22,1	353	5,8	2759	0,33	44,4	Carril Derecho
46+800	700	23,0	183	110	50	42	16,9	276	14,4	472	3,3	1876	0,29	29,1	Carril Izquierdo
46+900	700	40,0	153	105	42	31	17,3	331	15,8	522	4,6	2463	0,32	36,9	Carril Derecho
47+000	700	23,0	97	66	30	24	18,0	520	17,0	770	4,8	4166	0,38	32,0	Carril Izquierdo
47+100	700	40,0	170	125	53	38	18,4	296	17,9	419	4,9	2501	0,32	38,9	Carril Derecho
47+200	700	28,0	140	105	53	42	20,1	360	22,8	398	5,5	3360	0,35	34,3	Carril Izquierdo

Fig. 65: Resumen del Análisis Estructural de la calzada UC en la Variante de Pasamayo

CAPITULO IV

TECNICAS DE CONSERVACION

4.1 GENERALIDADES

Las técnicas de conservación, son elementos que han ido implementándose a medida de querer recuperar la infraestructura del pavimento tomando en cuenta las restricciones presupuestarias. A su vez estas dependen de condiciones tanto funcionales como estructurales, ya que ambas afectan al usuario; a modo de ejemplo, un pavimento flexible puede estar muy agrietado, lo que significa una pérdida considerable de capacidad estructural, sin embargo, el conductor podría no sentir mayores molestias. Al contrario, un pavimento puede tener una excelente capacidad estructural, pero aspectos como una deficiente rugosidad o escalonamiento en el caso de pavimentos rígidos pueden afectar la conducción, con lo que la capacidad funcional se reduce. Dado que las políticas de conservación dependerán directamente de las condiciones ya descritas, se han definido tres grandes grupos de conservación: Restauración, Rehabilitación y

Reconstrucción.³²

4.2 GRUPOS DE CONSERVACION

Los grupos de conservación vienen a ser los conjuntos de técnicas, las que se agrupan en función al requerimiento, tiempo de vida útil de condición presupuestaria.

4.2.1 Restauración

La restauración se refiere a aquellas técnicas que mantienen la infraestructura dentro de un nivel aceptable o bajo los estándares inicialmente establecidos. Este tipo de conservación afecta tanto al pavimento como a sus elementos complementarios. Su aplicación es permanente en el tiempo, requiere de una constante revisión de la infraestructura y sus soluciones den de bajo costo en comparación con las otras políticas de mantenimiento. Una aplicación eficiente de esta política protege a la infraestructura de un deterioro acelerado y permite que las acciones de conservación futuras no sean tan costosas.

En este punto se han dividido la restauración en dos grupos:

a) Mantenimiento Rutinario

La conservación de caminos no solo se aplica al pavimento, sino que a todo el conjunto que compone la infraestructura. De este modo

³² Gestión de Infraestructura Vial: Hernán de Solminihaç

elementos tales como sistemas de drenaje, estructuras y elementos de seguridad vial, deben ser mantenidos para poder brindar un nivel de servicio adecuado. Para mencionar un ejemplo, dentro de la Concesión de la Red Vial N°5, el mantenimiento rutinario consta de las siguientes actividades:

- Despeje de escombros, basuras y vegetación que se encuentren dentro de la calzada y/o en algunos casos, del derecho de vía.
- Limpieza de cunetas, para asegurar el escurrimiento libre de las aguas hacia los puntos de desagüe.
- Limpieza de alcantarillas, eliminando sedimentos y vegetación en toda su extensión.
- Conservación de demarcaciones horizontales.
- Limpieza y repocisión de señales de tránsito, ya sean, reglamentarias, preventivas o informativas.
- Repocisión de tachas reflectivas desprendidas o que se encuentren en mal estado.

b) Restauración de pavimentos asfálticos

Esta actividad tiene como objetivo restaurar la carpeta de rodadura cuando ésta presente los primeros indicios de deterioro o cuando ya no cumplan con los niveles de servicio requeridos. La aplicación de estas técnicas permite proteger al pavimento de deterioros acelerados y mantiene los niveles de servicio por debajo de los límites preestablecidos.

Dentro de los pavimentos flexibles, puede considerarse las siguientes actividades como mantenimiento periódico:

- Reposición de carpeta en todo su espesor; el *full depth* consiste en reemplazar sectores en todo el espesor de las capas asfálticas por una sola capa de concreto asfáltico. Se utiliza cuando el deterioro es severo pero localizado, con ello se trata de recuperar la capacidad estructural y funcional del sector manteniendo los índices de performance dentro de los límites establecidos.
- Reposición de carpeta en parte de su espesor; consiste en reemplazar parte de la carpeta de rodadura por una mezcla asfáltica. A diferencia de la anterior, ésta técnica renueva solo el deterioro localizado sin renovar la totalidad del espesor del pavimento.
- Bacheo; es generalmente asociado a la formación de pérdida de material en el pavimento asfáltico producto del efecto combinado del clima y de las cargas del tránsito. Las mezclas asfálticas utilizadas en el bacheo son aquellas mezcladas y compactadas en frío.
- Tratamientos de superficie; el tratamiento de superficie es un término amplio que abarca la aplicación, sobre cualquier tipo de calzada de materiales asfálticos, cubiertos o no con materiales pétreos, pero cuyo espesor final es por lo común inferior a 25 mm. Entre ellos se puede mencionar los tratamientos superficiales simples, dobles y triples, los morteros asfálticos y los riegos de sellado.

4.2.2 Rehabilitación

Esta alternativa aporta las siguientes características a la superficie de rodadura: entrega una nueva superficie de rodadura, aumenta la comodidad al conducir, aumenta la seguridad y la resistencia al deslizamiento. La nueva carpeta corrige los defectos de la sección transversal y de la superficie. Además el espesor del recapeo aporta una capacidad estructural extra al pavimento con lo que la vida útil se ve acrecentada. Los materiales utilizados y las características constructivas de un recapeo tienen una gran influencia sobre el diseño ya que la composición de esta afecta el espesor necesario para llegar a la capacidad estructural requerida y por ende la extensión de la vida útil del pavimento. En la siguiente tabla se aprecian los distintos tipos de recapeo:

PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO FLEXIBLE
Hormigón Adherido	Hormigón
Hormigón No Adherido	Concreto Asfáltico
Concreto Asfáltico	

Fig. 66: Técnicas de Recapeo de pavimentos

Uno de los aspectos más importantes para definir que técnica se va a utilizar es determinar la condición de la estructura que será recapada ya que de ésta dependerá el comportamiento del recapado.

Por lo general, previo a todo recapeo se deben realizar obras sobre la carpeta existente de modo que ésta sea uniforme y homogénea a lo

largo de todo el proyecto. La cantidad de obra requerida para estabilizar la carpeta de rodadura.

4.2.3 Reconstrucción

La reconstrucción consiste en reemplazar el pavimento existente incluyendo las bases por uno nuevo ya sea en asfalto u hormigón. La estructura puede ser reemplazada por capas o reciclando.

4.3 TECNICAS DE CONSERVACION

Estas actividades van desde un sellado de fisuras hasta un reciclado en todo su espesor. Cada uno de estos se ejecutan en función a la experiencia e innovación constructiva y la gestión de pavimentos aplicada al monitoreo e inspección del comportamiento de estas actividades frente a las condiciones en las que se ejecutan.

Estas actividades van desde trabajos previos hasta la recuperación de la superficie de rodado:

4.3.1 Sellado de Fisuras y Grietas

Esta actividad es utilizada para minimizar la infiltración del material incompresible y de agua a través de las fisuras, para prevenir efectos como bombeo o tensiones



que pueden llegar a modificar el perfil de la carretera

4.3.2 Bacheo

Esta generalmente asociado a la formación de pérdida de material en el pavimento asfáltico producto del efecto combinado del clima y de las cargas de tránsito. Las mezclas asfálticas utilizadas generalmente en el bacheo son aquellas mezcladas y compactadas en frío. Consiste en el retiro de la capa de rodadura en una profundidad cercana a los 15 cm. dependiendo del espesor de la carpeta.

El comportamiento de un bacheo depende de dos factores principales, la calidad de los materiales y la calidad del esfuerzo constructivo puesto en la colocación y compactación de la mezcla.

4.3.3 Tratamientos Superficiales

Los tratamientos superficiales es un término amplio que abarca la aplicación, sobre cualquier tipo de calzada de materiales asfálticos, cubiertos o no con agregados pétreos cuyo espesor final es por lo común inferior a 25 mm.

Un tratamiento superficial por si mismo no agrega capacidad estructural al pavimento. Básicamente brinda una cubierta impermeable a la superficie existente de la calzada y resistencia a la acción abrasiva del tránsito. Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los

caminos; cada uno tiene uno o más propósitos esenciales. La siguiente es una clasificación de acuerdo a su aplicación:

a) Tratamientos superficiales Simples.- Son usados como superficie de rodadura y como capa impermeabilizadora. Consiste en una aplicación de asfalto cubierto inmediatamente por una capa única de agregado pétreo tan uniforme como sea posible. El espesor del tratamiento se aproxima al tamaño nominal máximo de las partículas del agregado pétreo usado en el mismo.



b) Tratamientos Superficiales Múltiples.- Proveen una superficie de rodadura y una capa impermeabilizadora mas densa que en un tratamiento superficial simple, consiste en dos a mas aplicaciones alternadas de asfalto y agregado. El tamaño máximo del agregado de cada distribución sucesiva es usualmente la mitad del de la capa precedente, pero el espesor total es aproximadamente el tamaño máximo nominal de las partículas del agregado de la primera capa.

Un tratamiento superficial múltiple puede obtenerse con una serie de tratamientos simples que produzcan un recubrimiento de espesor no mayor a 25 mm.

c) Fog Seal.- Consiste en una aplicación muy ligera de emulsión diluida de rotura lenta. Se emplea para renovar viejos pavimentos asfálticos y cerrar pequeñas grietas y huecos superficiales. Son especialmente útiles para pavimentos sometidos a un volumen de tránsito ligero.

También puede emplearse con el objeto de sellar huecos superficiales de mezclas asfálticas nuevas hechas en planta y evitar la producción de polvo en los tratamientos superficiales después de distribuido el agregado pétreo en zonas densamente pobladas, mejorando la retención de las partículas y dando al conjunto un color oscuro uniforme.

d) Lechadas Asfálticas.- es una mezcla de agregado fino bien graduado, material de relleno (filler), y en caso de ser necesario una emulsión asfáltica y agua distribuida sobre un pavimento,



como tratamiento superficial. Es usado en el mantenimiento correctivo y preventivo de calzadas asfálticas. No aumenta la resistencia estructural del pavimento y si este presenta áreas localizadas con fallas debido a causas estructurales puntuales, estas deberán ser corregidas antes de la lechada asfáltica.

Las lechadas asfálticas son realmente efectivas cuando se aplican a superficies de pavimentos viejos. Sellan las grietas superficiales,

detienen desprendimientos de agregados, impermeabilizan al agua y al aire las superficies de textura abierta y mejoran la resistencia al deslizamiento. Su oportuna aplicación ayuda a reducir los peligros causados por la oxidación del asfalto y resquebrajamiento de la mezcla asfáltica del pavimento.

CAPITULO V

EVALUACION ECONOMICA

5.1 GENERALIDADES

Cada vez se hace mayor hincapié en los estudios de costos de caminos, debido a las reducidas sumas que se disponen tanto para construcción, mantenimiento ó rehabilitación. También ha sido creciente el consenso entre los administradores de caminos, economistas e ingenieros, el principio general de minimizar el costo total de transporte, como base para determinar las políticas de construcción y de mantenimiento de caminos.

Tradicionalmente los préstamos de cualquier índole se han otorgado en función de las garantías ofrecidas por los receptores de dicho préstamo. En la actualidad se requiere de análisis mediante técnicas metodológicas de preparación y evaluación de proyectos, de esta forma se protege no solo al ente prestatario, sino que también al receptor del préstamo, quien es, en definitiva, quien debe responder con sus bienes. Así, la deuda se adquiere de acuerdo a un análisis que demuestre rentabilidad positiva.

En un análisis económico se deben evaluar y considerar todos los costos asociados a cada alternativa propuesta. Los análisis económicos en caminos pueden realizarse en dos momentos bien definidos.

Tanto para determinar factibilidades, como para elegir entre distintas alternativas de un proyecto, se deben tener en cuenta todos los costos, o flujos de dinero, involucrados a lo largo de toda su vida útil. Estos flujos pueden ser mayores o menores respecto a una alternativa que se toma como base. Los análisis de evaluación económica estudian la influencia del movimiento de estos flujos de dinero, y ayudan a seleccionar el plan de inversiones más conveniente, ya sea a nivel de red o a nivel de proyecto de un camino.

Los siguientes principios son extraídos de la ingeniería económica de caminos aplicada a la evaluación económica de caminos:

- a) Prefactibilidad, el cual consiste en el estudio a grandes rasgos de la situación actual, y las posibles soluciones a aplicar. Aquí se hace una recopilación total de antecedentes y se analizan todos los factores que influyen sobre el proyecto.
- b) El nivel de gestión donde se va a realizar la evaluación debe estar claramente definido. Es decir, si se va a trabajar a nivel de proyecto o a nivel de red, tal como se definió anteriormente.
- c) La evaluación económica realizada es una herramienta que nos

ayudará a realizar la elección de una estrategia de inversión, la que consideremos es mas adecuada a nuestros intereses; en sí mismo esta evaluación no representa una decisión.

- d) La evaluación económica no tiene relación con el método o fuente de los recursos de financiamiento. Las fuentes no pueden limitar el número o factibilidad de proyectos, o limitar la cantidad de recursos para un proyecto en particular. Tampoco deben afectar la metodología o principios que rigen la evaluación económica en sí.
- e) Los criterios de aplicación para la decisión deben definirse antes de que los resultados de la evaluación sean aplicados.
- f) En una evaluación económica deben considerarse todas las alternativas posibles dentro del tiempo disponible para el análisis. Esto incluye la comparación con la situación existente, y también con cada una de las restantes.
- g) Las comparaciones deben realizarse para el mismo periodo de tiempo. Aún cuando la vida útil de las alternativas consideradas puedan ser distintas. Para ello se deben complementar las soluciones en un menor plazo o acortar las de mayor plazo.
- h) Además de los costos de construcción y mantenimiento, en la evaluación deben incluirse los costos de operación y los beneficios esperados.

5.2 DESARROLLO DE UN ANALISIS ECONOMICO

El proceso de evaluación económica de un proyecto de camino puede tomar diferentes formas y presentar diferentes pasos, dependiendo entre

otras cosas del tipo de proyecto, extensión, ubicación y destino. Cada una de las tareas se puede insertar dentro de un “sistema o modelo de ordenamiento”, cuya estructura general se indica en la Fig. 2.1.

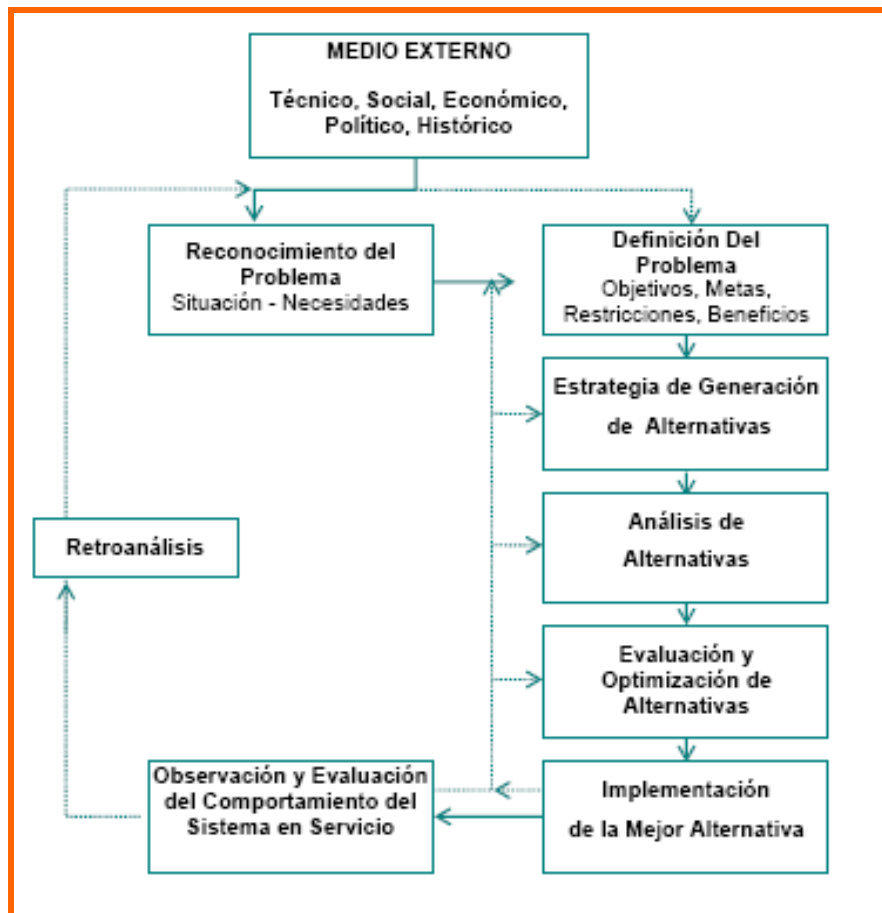


Fig. 67: Principales Fases de Componentes y Métodos de Sistemas³³

5.2.1 Descripción de la Situación General

En esta tarea se resalta brevemente el ámbito económico, social, político e histórico del país o región, en términos de su desarrollo general. De forma similar, si el país es muy extenso o el proyecto muy chico, se describen las características de la región o área en que se ubica el proyecto. Además, se describe el sector del transporte en general,

³³ Gestión de Pavimentos: U.N.S.J. – Marcelo Bustos

incluyendo los caminos, en aquellos aspectos que pudieran verse afectados por la implementación del proyecto, y como influiría dicha implementación sobre otros modos de transporte.

5.2.2 Problemas, Metas y Beneficios Potenciales del Proyecto

La mayoría de los proyectos se desarrollan en respuesta a un conjunto de problemas. Por ejemplo se podría plantear como primer problema la inaccesibilidad de los residentes rurales a los distintos servicios, y como un segundo problema la escasez de los fondos de gobierno para iniciar las actividades que remedien tal situación. Las soluciones a estos problemas claramente se contraponen al tratar de compatibilizar en forma simultánea la disminución de los costos y tiempos de viaje con la reducción del costo de construcción. Generalmente se debe lograr una solución de compromiso entre ambas situaciones, en donde la meta es minimizar el costo total del transporte.

Los objetivos o beneficios potenciales de una propuesta pueden provenir, entre otros aspectos, de:

- Ahorro en el costo de operación de los vehículos;
- Ahorro en los tiempos de viaje;
- Reducción en la frecuencia y severidad de los accidentes;
- Desarrollo de nuevas actividades y usos de la tierra;
- Mejoras ambientales;

- Ahorros en el costo de mantenimiento del camino;
- Ahorros en el costo de construcción.

Además, los caminos permiten ofrecen campos propicios para el desarrollo de nuevas actividades comerciales, residenciales y recreacionales. Todos estos elementos pueden ser considerados dentro de los potenciales beneficios de un proyecto, dependiendo de sus características.

5.2.3 Análisis de Alternativas

Para un proyecto particular de camino se pueden presentar diversas opciones de ubicación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos. Considerando las restricciones geográficas, técnicas y operacionales, el objetivo de la evaluación es seleccionar aquellas alternativas técnicamente factibles y económicamente viables, para lo que deberían tenerse en cuenta todas las alternativas posibles. Las alternativas propuestas deben contrastarse contra la alternativa o caso “base”, la que habitualmente se elige entre una de estas dos:

- No hacer nada
- Seguir haciendo lo mismo que se ha hecho hasta el momento de la evaluación

En cualquiera de estos dos casos se habla de alternativa “sin proyecto”.

Pero también puede seleccionarse como “base” otra alternativa

cualquiera seleccionada en primera instancia como elemento de comparación, dependiendo del criterio que emplee el analista.

5.2.4 Análisis, Pronóstico y Evaluación de Impactos de las Alternativas

Es necesario realizar esta actividad para que los efectos puedan ser evaluados en términos de alguna unidad de comparación. Los impactos pueden dividirse en: económicos, sociales, ambientales, políticos, etc. Todos estos, a su vez, presentan diversos elementos. Como por ejemplo el económico, el que se puede subdividir en impacto sobre los usuarios del camino, impacto sobre la sociedad, efecto sobre los productores agrícolas, etc. En general, en la selección de alternativas tiene mayor importancia el impacto económico.

Los diversos efectos, tanto costos como beneficios, pueden ser sólo comparados si se adopta una medida común. La unidad de medida suele ser la monetaria. El principio básico de evaluación económica es que los bienes y servicios tienen un precio igual al que es el que los individuos están dispuesto a pagar por ellos.

Cuando los bienes y servicios son producidos, comprados y vendidos en mercados competitivos, los precios de mercado son generalmente una medida aceptable de su valor.

Pero algunas veces los mercados no son competitivos, o algunos mercados de bienes y servicios, por ejemplo de bienes ambientales, podrían no existir. En tales casos el analista tiene que valorarlos como disponibles y completar su análisis con datos provenientes de encuestas.

Existen otros efectos que no son fácilmente valorados en términos monetarios, como el impacto visual que ocasiona un camino sobre un ambiente virgen natural. Este efecto debería describirse solamente, y no procurar su evaluación en términos económicos.

Para enmarcar la evaluación, es necesario definir además algunos conceptos básicos, como los que se mencionan a continuación:

Período de análisis: es el lapso durante el cual se evalúan y cuantifican los flujos de costos y beneficios. Puede coincidir o no con el período de diseño de un camino, o con la vida útil estimada. Varía en función del tipo de evaluación ejecutada y de las posibilidades reales de predecir confiablemente la evolución de algunas variables.

Por ejemplo, la predicción del crecimiento del tránsito puede ser más confiable en países desarrollados con una economía estable, pero es bastante más difícil en el caso de países emergentes cuyas economías sufren continuos altibajos sin tendencias definidas. El período de análisis puede variar entre 5 y 25 años; habitualmente en proyectos viales se toman entre 15 y 20 años.

Tasa de descuento: es el valor de la tasa porcentual a la cual se descuentan anualmente los flujos de costos y beneficios. Esto se hace para asegurar la rentabilidad del proyecto, frente a otras opciones menos arriesgadas como invertir el dinero a plazo fijo en entidades bancarias. Por ello, la tasa de descuento que se adopte es el indicador de rentabilidad mínima que debería tener el proyecto bajo análisis. La tasa de descuento está relacionada con las características económicas de los países y con el costo de obtención del dinero. Usualmente se adopta una tasa anual del 12% en evaluación social, en países en vías de desarrollo.

En los países más desarrollados pueden adoptarse valores inferiores, del orden del 10%.

Valor residual: es el valor de la infraestructura al finalizar el período de análisis. Puede estimarse como la diferencia entre el costo de construir una infraestructura nueva, y el costo de llevar la infraestructura existente a que quede como nueva. Este concepto también se usa en el cálculo de refuerzos de pavimentos. En el caso de evaluaciones de proyectos de construcción, es importante para considerar las diferencias entre el estado final de distintos proyectos de construcción.

La factibilidad de un proyecto y/o de sus alternativas puede evaluarse a través de distintos procedimientos matemáticos. La Razón Beneficio/Costo, el Valor Presente Neto (VPN), también llamado Valor

Actualizado Neto (VAN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR) son, entre otros, los métodos más empleados. Estos procedimientos no son contradictorios entre sí, un VAN positivo implica una Relación B/C mayor que 1 y una TIR mayor que la tasa de descuento seleccionada. La conveniencia de la utilización de alguno de ellos está dada por los objetivos que se persigan aunque normalmente se suele emplearlos en conjunto.

Cuando se requiere una comparación, o elección entre alternativas distintas, los tres criterios pueden dar una jerarquía de elección inconsistente. El método a elegir depende de una serie de consideraciones básicas, como son: cuán importante es la inversión inicial respecto de los gastos futuros; qué método comprende más el agente que toma las decisiones; qué método es más conveniente para el agente público o privado involucrado.

Además, las restricciones presupuestarias también deben ser consideradas. En ausencia de limitaciones de financiamiento, la alternativa seleccionada debería ser aquella que tengan el mayor VAN de beneficios; pero cuando hay restricciones, pueden emplearse otros criterios adicionales, como la Relación B/C o alguna de sus variantes. En capítulos posteriores se definen los indicadores presentados (VAN, TIR) y se mencionan algunos de estos criterios adicionales de selección de alternativas.

5.2.5 Análisis de Sensibilidad

El objetivo de un evaluador siempre es encontrar el resultado que más se ajuste al verdadero, no obstante en los estudios de factibilidad todos los datos se estiman con una determinada certeza de ocurrencia. Esto provoca una serie de resultados dentro de un rango de dispersión, variando su amplitud según el grado de exactitud o intervalo de confianza empleado en el cálculo o en la determinación de los datos básicos.

Por otro lado, siempre existen variables que influyen en mayor medida que otras; los errores en la determinación de esas variables pueden amplificar aún más el error en el resultado, provocando elecciones desacertadas entre las alternativas disponibles.

El análisis de sensibilidad consiste en evaluar el cambio en los resultados al modificar los valores de las variables más importantes dentro de sus propios rangos. Esto permite verificar la incidencia de dichas variables y brinda una mayor seguridad en la elección al considerar no sólo los escenarios más probables, sino también las situaciones optimistas y pesimistas.

Existen técnicas estadísticas para ejecutar los análisis de sensibilidad, que asocian a las variables una distribución de probabilidad y asignan valores aleatorios a dichas variables para simular distintos escenarios. Una de las más conocidas es la simulación de Montecarlo. Pero también el analista puede diseñar sus propios escenarios asignando valores a las

variables según su criterio, para limitar el número de situaciones a evaluar.

5.2.6 Retroanálisis

El análisis de alternativas puede finalizar mucho tiempo después de haber sido solicitado, o puede haberse realizado con bastante anterioridad al momento en que realmente desea materializarse el proyecto.

Bajo estas circunstancias, el escenario técnico, económico, político o social en el cual se insertaba el problema inicialmente definido podría haber cambiado con lo que el problema puede desaparecer, disminuir o aumentar, de manera que la solución propuesta originalmente no tendría aplicación o quizá no sería la más conveniente en este nuevo escenario. En ese caso resulta necesario volver a examinar detenidamente cada uno de los pasos de la evaluación, tratando de detectar las diferencias a través de los posibles cambios incurridos, reelaborando el análisis.

Es por esto fundamental la investigación que permita medir y evaluar el comportamiento del sistema aplicado, si el problema ha sido solucionado o si las condiciones iniciales han cambiado, de manera que sirva como refuerzo y retroalimentación de las condiciones asumidas durante el proceso inicial de evaluación.

5.3 CRITERIOS DE DECISION ECONOMICA

5.3.1 Valor Presente Neto

Si se aplica el valor presente a los beneficios y los costos, se obtiene el valor presente neto o valor actual neto, VAN. Este método tiene la ventaja que puede aplicarse a proyectos con distintas vidas de servicio, o con etapas ya desarrolladas. Además los costos y beneficios se representan en términos actuales. Este método se aplica entre alternativas distintas. Cada alternativa se compara con otra denominada "base", la que puede ser la alternativa sin proyecto.

Una inversión es rentable cuando el valor actual neto es positivo, a una tasa de interés conveniente para el inversionista. Mide en moneda actual cuanto más rico es el inversionista por invertir en el proyecto, en lugar de hacerlo en otra alternativa.

Entre las ventajas se pueden enumerar las siguientes:

- Los beneficios y costos pueden expresarse por un solo número.
- Proyectos de diferentes vidas de servicio y con etapas en desarrollo son directa y fácilmente comparables.
- Los costos y beneficios son expresados en términos presentes.
- El método es computacionalmente simple.

Dentro de las desventajas se puede mencionar:

- El método no se puede aplicar a alternativas únicas, donde no se pueden evaluar beneficios.

- El resultado no es tan fácil de comprender como lo sería una tasa interna de retorno o el costo anual.

Este método puede considerar solo los costos, los beneficios, y también los costos junto con los beneficios. Este involucra traer al Valor presente el costo de futuras erogaciones, mediante una tasa de descuento apropiada.

$$VAN = \sum_{i=1}^n (b_i - c_i) \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Donde:

VAN: Valor Presente

b_i : Beneficio Futuro

c_i : Costo Futuro

i : Tasa de Descuento

n : Año en el que se realiza el gasto o se obtiene el beneficio

Una inversión es rentable cuando el valor actual de los flujos de ingresos es mayor que el valor actual de los flujos de costos.

5.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Corresponde a la tasa de descuento bajo la cual el valor presente neto definido anteriormente es igual a cero, representa la tasa de interés a partir de la cual podría ser interesante invertir en el proyecto.

Si la tasa interna de Retorno de la estrategia evaluada es mayor que la tasa mínima especificada para los proyectos de caminos, dicha

estrategia será una de las posibles de implementar. La estrategia con mayor tasa interna de retorno será la mejor a seleccionar.

Matemáticamente se puede demostrar como:

$$\sum_{i=1}^n (b_i - c_i) \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] = 0$$

5.3.3 Relación Beneficio Costo (B/C)

Acá se plantea el cociente entre los Beneficios y los Costos, siendo un proyecto rentable, cuando este valor es mayor que uno, o sea cuando los beneficios son mayores a los costos. Es perfectamente equivalente al VAN. Es correcto para determinar la deseabilidad de un proyecto, pero no para elegir entre proyectos alternativos. Cuando hay más no permite determinar cual es el mejor.

5.4 EVALUACION SOCIAL Y PRIVADA DE PROYECTOS VIALES

Al evaluar económicamente un proyecto deben elaborarse y estimarse los flujos de costos y beneficios de las distintas alternativas de inversión, para así decidir sobre la conveniencia de llevarlo a cabo. Cuando el valor presente neto (VAN) de un proyecto es positivo, los beneficios estimados exceden a los costos estimados, por lo que en términos de los beneficios económicos el proyecto debería realizarse, lo mismo que cuando se obtiene una relación beneficio/costo mayor a 1.

5.4.1 Evaluación Social

La evaluación social del proyecto de un camino origina la determinación de los beneficios sociales netos para la comunidad provocado por el desarrollo que ocasiona la construcción o mejora de dicho camino. El bienestar social de una comunidad depende de la cantidad de bienes y servicios disponibles, o de la cantidad relativa de bienes y servicios recibidos por cada uno de los miembros que la componen, y otros aspectos económicos más específicos que no es el caso enumerar.

En el área de caminos, la evaluación social pretende considerar los siguiente beneficios: ahorros en el costo de operación de los vehículos, reducciones en los tiempos de viaje, reducción en la fatalidad y número de accidentes, reducción en la emisión de gases y contaminantes a la atmósfera, mejora en los accesos, minimización de los costos de desarrollo vial, y otros objetivos que no son tenidos en cuenta normalmente, ya sea por las dificultad para cuantificarlos o bien por la inexistencia de una metodología adecuada que permita una adecuada evaluación en términos monetarios.

Adicionalmente el Estado, que es el principal interesado en realizar este tipo de evaluación, puede tener otros objetivos específicos, como ser:

- Seguridad nacional;
- Ejercicio efectivo de la soberanía sobre un determinado territorio aislado o alejado;

- Aumento del prestigio nacional al disponer de una red vial moderna, amplia y en buen estado;
- Incremento de los índices internacionales representativos del grado de desarrollo y competitividad de un país o región en particular;
- Priorización a la disponibilidad de un sistema básico de caminos;
- Generación de nuevas actividades y empleos al favorecer mediante nuevos caminos el desarrollo del turismo, la agricultura, la explotación forestal, la ganadería, etc.

5.4.2 Evaluación Privada

Por su parte, la evaluación privada supone que la riqueza (el dinero) constituye el único interés del Inversionista; así lo importante es determinar en este caso el flujo anual de ingresos netos que implica para él la inversión en el proyecto en cuestión. El proyecto es conveniente para el inversionista si genera un aumento en su riqueza superior al que podría obtener si utilizara esos fondos en la mejor inversión alternativa disponible.

Los beneficios anuales del Inversionista provendrán de la venta del producto, que en el caso de caminos es la provisión de una vía de transporte bajo condiciones aceptables de serviciabilidad, por la que cobra un “peaje”. El Inversionista no considera en sus análisis de rentabilidad el impacto del proyecto sobre la comunidad. En particular, el

inversionista no requiere conocer los flujos de costos operacionales de los usuarios de la carretera, ya que no son costos que incidan sobre su flujo de ingresos. Sólo le interesarán en la medida que desincentiven al tránsito de los usuarios y con ello bajen los ingresos por peajes, por ejemplo en el caso que hubiera grandes demoras por congestión o por reparaciones muy frecuentes. El suministro un camino con alto nivel de servicio aumentará para el Inversionista el costo del proyecto. Por otro lado, él querrá obtener el mayor beneficio posible (riqueza) cobrando el mayor peaje posible, con lo cual la comunidad podría quedar expuesta al interés de lucro del inversionista o desatendida en sus intereses. Entonces es el Estado quien debe intervenir para regular la actividad exigiendo un nivel mínimo de serviciabilidad a un peaje razonable velando, en última instancia, por el bienestar de la comunidad en su conjunto.

En definitiva, el Inversionista realiza una evaluación “privada” cuyo objetivo consiste en aumentar su riqueza a través del cobro del peaje, lo que constituye su único beneficio. El Estado por su parte realiza una evaluación “social”, cuyo objetivo está centrado en maximizar el bienestar general de la comunidad en su conjunto, a través de la disminución del costo de los usuarios, u otros aspectos que el Estado considere como prioritarios. Además de estas diferencias en el tipo de evaluación hay otras según los precios, los componentes de costos, las tasas de descuento, los períodos de evaluación por cada uno de ellos asignados, y otros aspectos técnicos propios de la evaluación privada o

social.

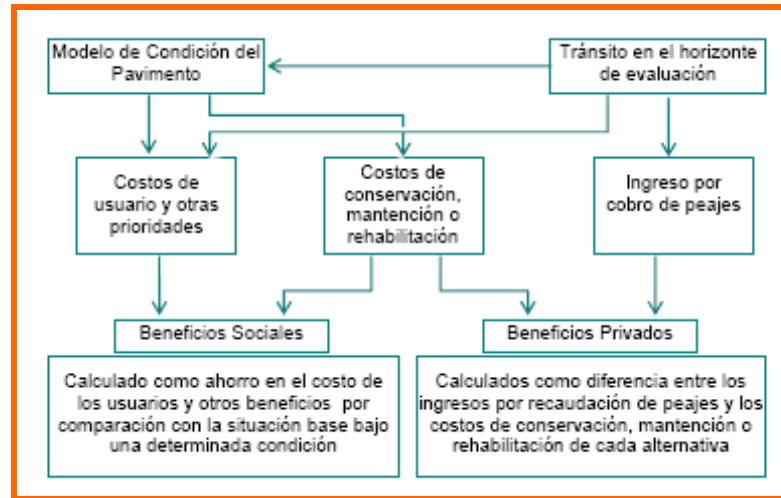


Fig. 68: Esquema de determinación de Beneficios Sociales y Privados³⁴

En este apunte, en general se tendrá en cuenta la evaluación económica social, es decir desde el punto de vista del Estado, considerando como beneficio el correspondiente a los usuarios del camino y aquellos que el Estado considere como prioritarios. La ejecución del análisis de rentabilidad social es el que entrega al Estado las herramientas necesarias para establecer tanto los niveles aceptables de serviciabilidad en carreteras que deben exigirse a los concesionarios, como la rentabilidad que resulta razonable para el privado, en función de los beneficios que perciban los usuarios. Es justo que los usuarios paguen por un mejor servicio ya que ahorran en sus costos operacionales al tener caminos en mejor estado y demorarse menos en sus viajes, pero dicho pago (el peaje) debe ser en proporción a dichos beneficios, los cuales deben determinarse mediante la evaluación social del proyecto.

³⁴ Gestión de Pavimentos: U.N.S.J. – Marcelo Bustos

CAPITULO VI

LA HERRAMIENTA HDM-4

6.1 ALCANCE

El Modelo de estándares de diseño y conservación de carreteras (HDM-III), desarrollado por el Banco Mundial, ha sido usado por más de dos décadas combinando evaluaciones técnicas y económicas de proyectos de inversión de carreteras y analizando estrategias y estándares. Un estudio internacional se logró desarrollar para expandir el alcance del modelo HDM-III, con el objetivo de proveer un sistema armónico de gestión de carreteras con herramientas de software adaptable y fácil de usar. El resultado de esto ha sido el desarrollo de Herramientas para el desarrollo y gerencia de carreteras (HDM-4).

El alcance de HDM-4 se ha expandido considerablemente más allá de las evaluaciones de proyectos tradicionales para proveer un poderoso sistema de análisis de alternativas de inversión y gestión de carreteras. Además de llevar a cabo nuevos estudios científicos se ha enfatizado en

la recolección y aplicación del conocimiento ya existente y se han incorporado algunos nuevos datos. Cuando ha sido posible, nuevos enfoques creativos se han desarrollado aplicando el conocimiento técnico a los problemas y necesidades gerenciales de diferentes países.

6.2 ANTECEDENTES

El primer paso dado para desarrollar un modelo de este tipo fue hecho en el año 1968 por el Banco Mundial. Nuevos términos de referencia para estudio del diseño de carreteras se obtuvieron y consideraron por el Banco Mundial en conjunto con el Laboratorio de Transporte e Investigación de Carreteras de Gran Bretaña (TRRL, por sus siglas en inglés) y el Laboratorio Central Francés de Puentes y Carreteras (LCPC, por sus siglas en inglés). El Banco Mundial comisionó entonces a un grupo del Instituto de Tecnología de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés) para que desarrollaran una encuesta y construyeran un modelo basado en la información obtenida de la misma. El Modelo de costos de carreteras producido por el MIT (Moavenzadeh, 1971 y 1972) fue un considerable avance sobre cualquier otro método existente en ese tiempo que examinaba las relaciones entre costos de carreteras, costos de conservación y costos de operación vehicular. El modelo señaló las áreas en las cuales era necesaria una mayor investigación para desarrollar las relaciones apropiadas al ambiente de cada país a la vez que proveía relaciones adicionales.

Después de esto, TRRL(Laboratorio de Investigación de Transporte y Caminos), en colaboración con el Banco Mundial, llevó a cabo un estudio de campo más amplio en Kenya para investigar la deterioración de carreteras con y sin pavimento y factores que afectan al costo de operación vehicular en un país en desarrollo. Los resultados de este estudio fueron usados para calibrar un prototipo de modelo de ordenador (RTIM, por sus siglas en inglés), para evaluar los costos de construcción, conservación y operación vehicular para un proyecto de inversión de carretera en un país en desarrollo (Abaynayaka, 1977). En 1976 el Banco Mundial desarrollo investigaciones más profundos en el modelo de ordenador, dando lugar a la concesión de un contrato de investigación a MIT para producir una versión más extensa del modelo capaz de llevar a cabo directamente análisis económicos fragmentando la carretera en tramos homogéneos y desarrollando sensitivos análisis automáticos de claves variables tales como tasas de descuento o de crecimiento. El trabajo dio origen a la producción del Modelo de estándares de diseño y conservación de carreteras (HDM) (Harral, 1979).

Ambos modelos RTIM y HDM se probaron extensivamente en la práctica. Otros estudios más a fondo se llevaron a cabo, como se indica a continuación, con el propósito general de expandir el campo geográfico de los resultados:

- **Caribe** - *por TRRL*

Investigación de los efectos de la geometría en los costes de operación vehicular en una carretera (Morosiuk y Abaynayaka, 1982; Hide, 1982).

- **India** – *por el Instituto central de investigación de carreteras*

Estudio de los problemas operacionales particulares de carreteras de la India en términos de la estrechez de sus calzadas y el gran tamaño de los transportes acarreados por animales (CRRRI, 1982).

- **Brasil** – *realizado por UNDP*

Estudio de la validez de todas las relaciones entre modelos (GEIPOT, 1982).

- **Desarrollo de modelos paralelos**

La experiencia del uso de TRRL sugirió la necesidad de un modelo más sencillo que el que existía. Los requisitos fueron obtener un modelo más fácil de usar por los consultores en el campo y por los usuarios en los países en desarrollo. Esto dio como origen al desarrollo de RTIM2 (Parsley y Robinson, 1982). De otra forma, el Banco Mundial vio la necesidad de un modelo más comprensible y desarrolló el HDM-III (Watanatada, 1987).

Ambos modelos se diseñaron originalmente para operar en ordenadores corporativos y con el avance de la tecnología la Universidad de Birmingham, a petición de TRLL (Kerali, 1985) produjo la versión RTIM2 para microordenadores. Después, el Banco Mundial (Archondo-Callao y Purohit, 1989) produjo una versión de HDM-III para microordenador. Desde entonces, se han desarrollado estudios más profundos de ambos

modelos. RTIM3 fue producido en 1993 para proveer una versión extremadamente fácil de usar del software que se comportaba como una hoja de cálculo (Cundill y Withnall, 1995). En 1994 el Banco Mundial produjo dos desarrollos más extensos:

HDM-Q

Producido para incorporar los efectos de la congestión del tráfico dentro del programa HDM (Hoban, 1987).

HDM Gestor

Producido para proveer una versión a través de menús de HDM-III (Archondo- Callao, 1994).

6.3 ESTRUCTURA GENERAL DEL HDM-4

Básicamente los mismos del HDM-III, ya que el objetivo sigue siendo la determinación de estrategias optimizadas que permitan minimizar costos globales de inversión y de operación, aplicado ya sea para un proyecto específico o a nivel de red. Sin embargo, la estructura utilizada en HDM-4 difiere sustancialmente del HDM-III, y permite ampliar considerablemente las posibilidades de análisis, pudiéndose como su nombre lo indica analizar políticas de desarrollo y gestión de una red vial (en la nueva versión la sigla HDM significa Highway Development and Management). Un esquema general de flujo de información del HDM-4 se presenta en la Fig. 69.

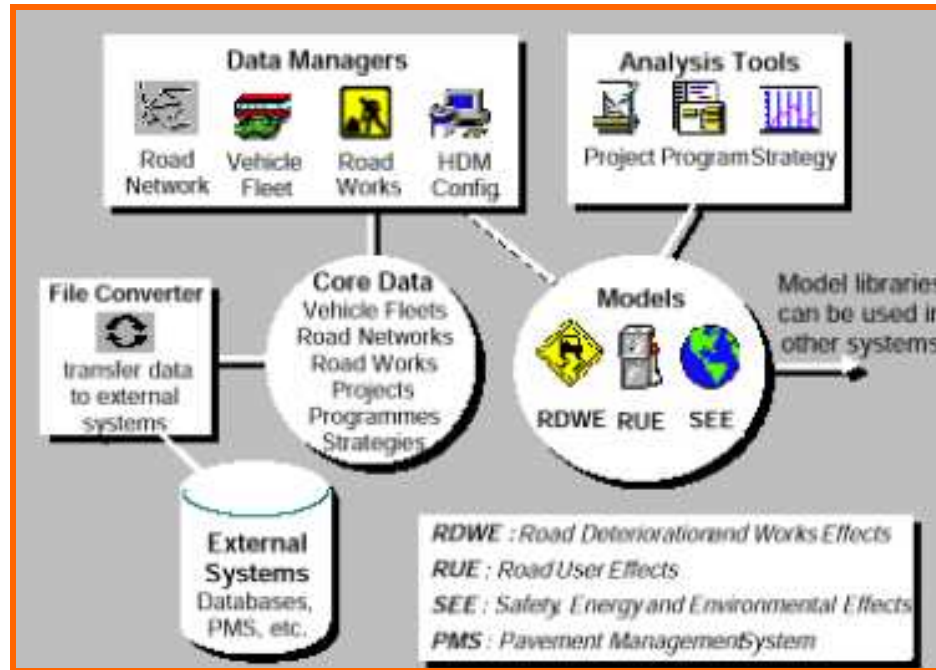


Fig. 69: Esquema Global del HDM-4

La Pantalla de bienvenida esta diseñada para familiarizarle con los conceptos y características de HDM-4. La Pantalla de bienvenida proporciona acceso a los principales servicios de HDM-4:

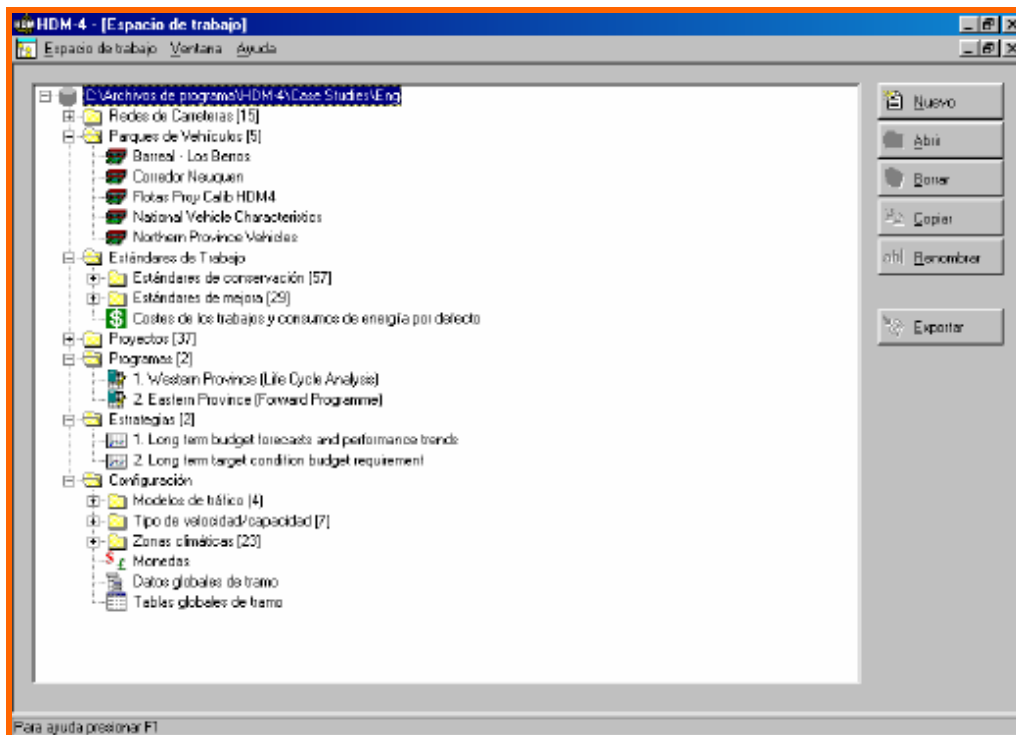


Fig. 70: Espacio de Trabajo del HDM-4

- *Base de Datos:* Módulos de Redes de Carreteras, de Flotas y de Estándares de Mejoramiento y Conservación;
- *Niveles de Análisis:* Módulos de Proyectos, de Programas y de Estrategias;
- *Módulo de Configuración,* para ajustar los valores típicos de determinadas variables o rangos de las mismas, a condiciones locales.

Las secciones siguientes describen los módulos arriba mencionados, presentando sus principales características y capacidades.

6.3.1 Módulo de Redes de Carreteras

En este módulo se ingresan todos los datos que constituyen el inventario de secciones de la red. La sección es la unidad de análisis en el HDM-4, y está definida por múltiples parámetros. El sistema de ingreso de datos está organizado mediante “ficheros” o “tarjeteros” accesibles desde la pantalla, que permiten ir ingresando en forma ordenada la información dentro de cada ficha o tarjeta. En la Fig. 71 se muestra la ventana principal de ingreso de datos, en este caso para una sección con pavimento de flexible.

Fig. 71: Ventana Principal del Ingreso de Datos en el Módulo de Redes de Carreteras

Entre los datos a ingresar deben especificarse, entre otras, las siguientes características:

- Denominación, longitud y clasificación funcional de la sección.
- Clima: selección de zona climática definida en el módulo de Configuración.
- Datos de tránsito: TMDA de vehículos motorizados y no motorizados, patrones de flujo de tránsito y de distribución de velocidades. El resto de los datos de tránsito se ingresa en la evaluación a nivel de Proyecto, Programa o Estrategia.
- Datos de diseño geométrico: ancho de calzada y banquetas, número de trochas, curvatura horizontal, subidas más bajadas, altitud promedio, etc.
- Datos de estructura de pavimentos: tipo de superficie, información sobre capas estructurales y subrasante, capacidad estructural del

paquete, edad desde intervenciones realizadas, estado de deterioro del pavimento, condiciones de drenaje, textura superficial, coeficientes de ajuste de modelos, etc.

Tramo: km 65+480 - km 66+000 Variante (N)

Definición | Geometría | Firme | Estado

Capa de Rodadura

Tipo material: Mezcla bituminosa

Espesor más reciente: 10 mm

Espesor anterior/antiguo: 60 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconst. o nueva const.: 1995 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 1995 año

Último repavimentado (resellado): 2005 año

Último tratamiento preventivo: 2005 año

Capacidad de Soporte

Parámetros calc. para estación seca

SNP: 4.08 DEF: 0.68 mm

[1] Número estructural: 4

CBRI explanada: 15 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado:

Base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor base: mm

Módulo Resiliente: GPa

Detalles...

Material de la capa de rodadura

Fig. 72: Ingreso de Datos Estructurales de Pavimentos

El HDM-4 tiene la ventaja que permite ingresar los datos de una sección en forma agregada, a partir de valores cualitativos (por ejemplo, el tránsito puede ser especificado como alto, medio o bajo, a partir de las definiciones de los rangos de tránsito asignados a estos niveles por el usuario en el módulo de Configuración), o bien pueden especificarse en detalle los valores numéricos precisos para cada variable. Ello permite tener la posibilidad de evaluar secciones de la red dentro de análisis globales, a nivel de políticas y estrategias, para lo cual no hace falta tanto detalle, o bien realizar análisis pormenorizados de una sección determinada, a nivel de proyecto.

6.3.2 Módulo de Flotas

Este módulo permite incorporar las principales características de los vehículos que componen las flotas que circularán sobre las distintas secciones, información que será posteriormente utilizada para el cálculo de costos de los usuarios de la carretera. Los datos se ingresan a partir de vehículos tipificados, que tienen sus propios parámetros por defecto, y a partir de allí pueden modificarse de acuerdo a las realidades propias de cada país o región.

En HDM-4 pueden ingresarse tanto vehículos motorizados, incluyendo motocicletas, como no motorizados (bicicletas, carros a tracción animal, incluso peatones).

La Fig. 73 muestra la ventana de ingreso de características básicas del vehículo cuyos datos se quieren especificar, entre las cuales se cuentan equivalencia en vehículos livianos (para análisis de capacidad), número de ejes y de neumáticos, utilización anual, vida útil estimada, número de pasajeros, equivalencia de cargas (ESAL/vehículo), etc.

Características del vehículo: Camion articulado

Definición | **Características básicas** | Costes económicos unitarios

Físicas

Espacio equiv. en vehículo de pasajeros: 1.8
 Nº de ruedas: 18
 Nº de ejes: 5

Neumáticos

Tipo neumático: Diagonal
 Nº de recauchutados: 1.3
 Coste recauchutado: 15 %

Utilización

Km anuales: 100000 km Uso privado: 0 %
 Horas trabajo: 3200 h Pasajeros: 0 persona
 Vida media: 12 años Viajes de trabajo: 0 %

Carga

ESALF: 6.39 Peso en marcha: 30 toneladas

Factor de equivalencia del espacio de coche pasajeros (PCSE)

Fig. 73: Ingreso de Características Básicas de Vehículos

Presionando el botón “Calibración”, se puede acceder a una ventana adicional que permite ingresar datos específicos sobre potencia, factores correctores de velocidad, consumos de combustible y lubricantes, desgaste de neumáticos, repuestos y taller, emisiones contaminantes, etc.

Calibración del vehículo: Camion articulado

Neumáticos | Conservación | Vida óptima | Emisiones | Energía

Fuerzas | Velocidad | Combustible | Efectos de la aceleración

Aerodinámicas

Área frontal: 9 m²
 CD: 0.8
 Multiplicador: 1.22

Resistencia a la rodadura

parámetro a0: 37
 parámetro a1: 0.064
 parámetro a2: 0.012

Potencia

Del motor: 227 kW
 Potencia frenado: 255 kW
 Potencia nominal: 300 kW

Intransitabilidad de carret. no pavimentadas

FPLIM: 1

Área frontal proyectada

Fig. 74: Ventana de Acceso a calibración de Factores

Todo ello con el propósito de permitir el ajuste de los modelos de costos de operación vehicular a condiciones locales, en la medida que existe información suficiente y confiable como para efectuar dicha calibración. Posteriormente, deben ingresarse los costos unitarios que permiten calcular costos a partir de los consumos estimados por el modelo para cada uno de los ítems, como puede verse en la Fig. 75.

Fig. 75: Costos Unitarios de Insumos en Valor Económico

Estos valores deben proveerse como costos sociales, es decir que a los precios de mercado de cada insumo deberán descontarse los impuestos, subsidios, aranceles, etc., ya que la determinación de costos de operación vehicular es válida fundamentalmente en evaluación social de proyectos, donde es el mismo Estado quien analiza la rentabilidad de dineros públicos invertidos en la red vial, considerando que estos fondos son generados justamente por los impuestos que pagan los contribuyentes.

En evaluación privada, en cambio, lo que importa es analizar la rentabilidad, a partir de los ingresos monetarios por peajes, de la inversión en construcción y/o conservación planificada para cumplimentar las estipulaciones de calidad de rodadura y grado de deterioro aceptables, por ende la determinación precisa de los costos sociales de los insumos vehiculares no es esencial.

La flota queda finalmente configurada de la manera que muestra el ejemplo de la Fig. 76, expresando además de la denominación del vehículo, su clase, el vehículo tipificado básico al cual correspondería, y su categoría (motorizado/no motorizado).

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
Auto	Coche de pasajero	13/11/2005	Coche medio	Motorizado
Bus 3E	Autobuses	13/11/2005	Autobús pesado	Motorizado
Bus2E	Autobuses	13/11/2005	Autobús medio	Motorizado
Camion 2E	Camiones	13/11/2005	Camión mediano	Motorizado
Camion 3E	Camiones	13/11/2005	Camión pesado	Motorizado
Camion articulado	Camiones	13/11/2005	Camión articulado	Motorizado
Pick up	Vehículos de rep:	13/11/2005	Vehículo de reparto lig	Motorizado

Para ayuda presionar F1

Fig. 76: Lista General de Vehículos que componen una flota Específica

6.3.3 Módulo de Estándares de Conservación y Mejora

Aquí se definen cuáles son los estándares que pueden aplicarse al camino o pavimento para mejorar su condición y funcionalidad. Dichos estándares están constituidos por grupos de actividades específicas que se ejecutan ya sea en forma programada o por condición de respuesta,

en un lapso predefinido. Una vez aplicados, dichos estándares producen una cierta variación sobre alguno o varios de los indicadores de condición estructural y funcional de la carretera, como por ejemplo la disminución de la rugosidad IRI, aumento en la capacidad estructural, incremento en la capacidad de acomodar flujo vehicular, etc.

Los estándares se clasifican en dos grandes grupos:

6.3.3.1 Estándares de Conservación

Aplican una actividad que mejora solamente la condición del pavimento, o del camino no pavimentado. Entre las actividades que pueden formar parte de este tipo de estándares se cuenta el reperfilado y reposición de grava puntual o total, en caminos no pavimentados. Para los pavimentos flexibles, se ha considerado el sellado de grietas, tratamientos superficiales, relleno de huella, lechadas asfálticas, riegos de neblina, microrrefuerzos, refuerzos con mezcla en caliente, mezcla abierta en frío, con asfaltos polimerizados, etc. Para pavimentos de hormigón, se ha incorpora el sellado de juntas, el cepillado con discos de diamante, la reparación de espesor parcial o total, el reemplazo de losas, los refuerzos adheridos de hormigón, etc. En todos los casos, deben especificarse las características de diseño de la actividad, el momento y condiciones de aplicación, los costos y los efectos sobre el estado del pavimento, tanto funcional como estructural (Fig. 77).

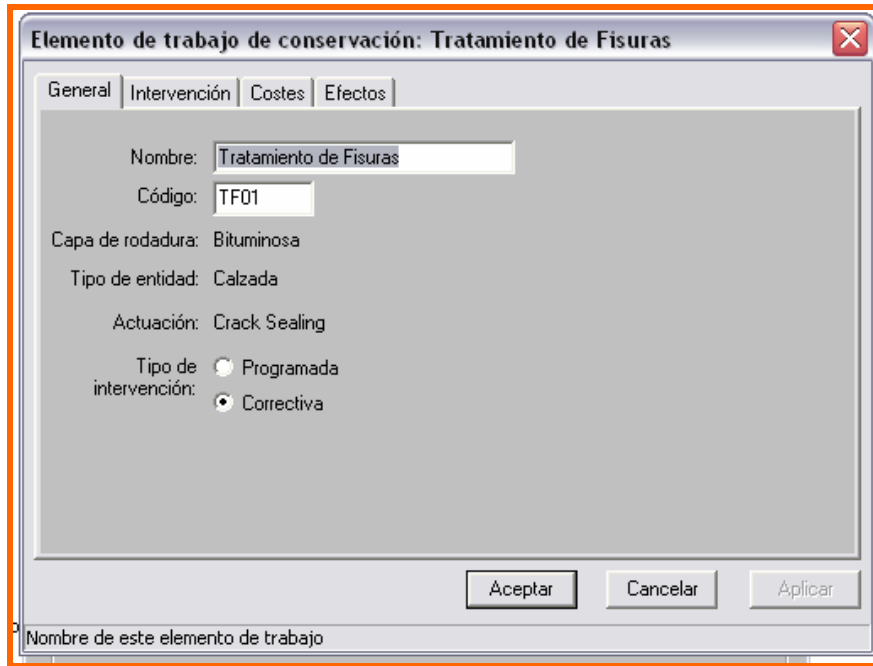


Fig. 77: Definición de Tratamiento de Fisuras como Estándar de Conservación

6.3.3.2 Estándares de Mejora

Introducen una mejora no sólo en la condición del pavimento, sino también en la funcionalidad global de la carretera. Entre las actividades que forman parte de este tipo de estándares se cuenta la adición o ensanche de trochas, el realineamiento longitudinal, la reconstrucción parcial o total y la nueva construcción. Todas estas actividades pueden ejecutarse con pavimentos asfálticos o de hormigón. Al especificar la aplicación de un estándar de este tipo, el analista debe definir las variables de diseño geométrico, pavimento, costos, efectos sobre el tránsito y condiciones de aplicación, como puede verse en la Fig. 78.

Fig. 78: Ingreso de Datos de un Estándar de Mejoramiento

6.3.4 Módulo de Configuración

En este módulo se definen características generales relativas a ciertos aspectos tales como patrones de tránsito (estacional, flujo libre, conmutador o interurbano), relación de velocidad/capacidad, que depende de la geometría transversal de la calzada, o zonas climáticas, que están definidas por diversos parámetros tales como precipitaciones, índice de humedad, temperaturas medias, rango de temperaturas, índice de congelamiento, porcentaje del tiempo con la calzada recubierta de nieve o agua, etc. La Fig. 79 muestra la pantalla de ingreso de datos climáticos.

Zona climática: Norte chico

Clima

Nombre: Norte chico

Clasificación por humedad: Subhúmedo

Índice de humedad: 0

Duración estación seca: 0.5 (como parte de un año)

Precipitación media mensual: 100 mm

Clasificación temperatura: Subtropical - cálido

Temperatura media: 22 °C

Rango temperaturas medias: 17 °C

Días T > 32°C: 60 días

Índice de helada: 0 °C-día

Porcentaje de tiempo que se conduce

Carreteras cubiertas nieve: 0 0<=PCTDS<=100

Carreteras cubiertas agua: 10 0<=PCTDW<=100

Nombre de esta zona climática

Aceptar

Cancelar

Por defecto...

Fig. 79: Ingreso de Datos para Zonas Climáticas

6.3.5 Módulo de Análisis de Proyectos

Una vez ingresados todos los datos básicos que permiten definir una sección de carretera, la flota que circulará sobre la misma y las actividades de mejoramiento que pueden aplicarse, para determinar la estrategia más conveniente a aplicar en un proyecto debe utilizarse el módulo de Análisis de Proyectos.

Este módulo permite definir parámetros generales de la evaluación, como el período de análisis, las monedas de entrada y de salida, seleccionar cuál sección y flota se analizarán, y establecer la distribución porcentual de los distintos tipos de vehículos integrantes de la flota.

Es interesante destacar que en el HDM-4 es factible, desde los módulos de análisis, modificar o corregir valores de parámetros ingresados en módulos anteriores, sin necesidad de volver a entrar en dichos módulos.

La Fig. 80 muestra la pantalla principal del módulo de Análisis de Proyectos.

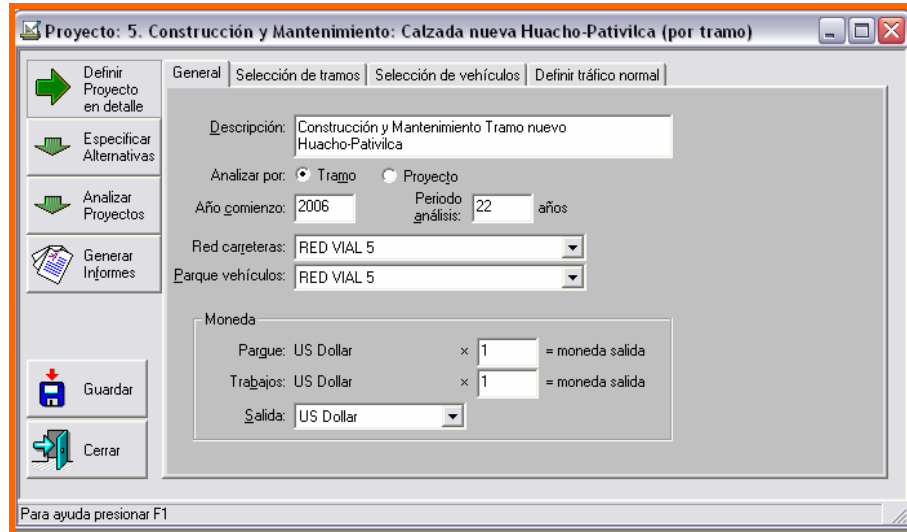


Fig. 80: Pantalla Principal de Ingreso de Datos de Análisis de Proyectos

Luego se definen los estándares a aplicar, y finalmente se establece cuál será la alternativa base, la tasa de descuento a ocupar, y se decide si se van a incorporar en el análisis la consideración de costos de consumo de energía, contaminación y de accidentes. Se ejecuta el análisis y se puede pasar a la fase de reportes. En esta fase se pueden obtener reportes básicamente tabulados, hasta la presente versión 1.3, exportables a cualquier tipo de planilla de cálculo. Sin embargo, el programa no tiene incorporadas salidas gráficas que permitan una visualización directa de los resultados (como sí ocurre con el HDM-III Manager), debiendo elaborarse los gráficos en forma externa, una vez que los resultados fueron exportados a planillas de cálculo.

A través de los reportes presentados, es posible analizar tanto la evolución prevista del deterioro para las alternativas evaluadas y los

consumos físicos en operación de vehículos, como los costos globales de construcción, conservación y operación, actualizados según la tasa de descuento prefijada. Los indicadores económicos entregados por el programa (VAN, TIR, etc.), permiten comparar entre las alternativas y determinar aquella que sea más rentable, o lo que es equivalente, de mínimo costo actualizado. De acuerdo al presupuesto disponible, el analista podrá decidir qué alternativa seleccionar para cumplir con las necesidades de la red en estudio.

6.3.6 Módulo de Análisis de Programas

Cuando en una red se tienen múltiples secciones que requieren diversas actividades de conservación o rehabilitación, es necesario establecer criterios para asignar prioridades a la ejecución de las obras, de manera de atender más prontamente aquellas secciones cuya intervención resulte más conveniente. El HDM-4 fija como criterio básico para la asignación de prioridades al índice beneficio/costo expresado como incremento de VAN de beneficios dividido en incremento de costos de inversión, al hacer la comparación entre alternativas. Es decir, que se otorgará prioridad a aquellas alternativas cuyo aumento de beneficios por unidad de moneda invertida sea mayor. Este criterio es equivalente al de Gradiente Efectivo (EG) descrito en el capítulo anterior.

El módulo de Análisis de Programas permite evaluar múltiples secciones simultáneamente, y formular en una primera etapa un plan sin

restricciones ordenando las alternativas según el criterio de mayor beneficio respecto al costo de inversión. Posteriormente, y en base a los períodos y restricciones presupuestarias que defina el analista, el HDM-4 permite realizar una optimización del programa inicialmente sin restricciones, formulando una planificación ordenada por años y por mayor rentabilidad, dentro de las limitaciones impuestas para cada período presupuestario. La Fig. 81 muestra el panel de ingreso de datos para la elaboración de un análisis de programas, para una red de carreteras.

Fig. 81: Datos Generales para el Análisis de Programas

6.3.7 Módulo de Análisis de Estrategias

En ocasiones, lo que se necesita es evaluar los eventuales resultados de la aplicación de una política generalizada de mejoramiento del estado de la red, o bien realizar el análisis del efecto sobre la red de diferentes niveles de asignación de fondos, o incluso efectuar la determinación de

qué condiciones de aplicación de determinadas estrategias pueden ser las más convenientes en ciertas circunstancias (pre-optimización de estándares de conservación).

En dichos casos, no es necesario contar con un grado de detalle muy elevado sobre las características de las secciones de la red y el tránsito que circula sobre las mismas, ya que los resultados que se quieren lograr son globales e indicativos, destinados a fundamentar lineamientos de acción, y deben poder ser fácilmente comprendidos en los niveles de decisión política.

La figura 82 muestra un análisis de estrategia para evaluar la mejor opción de actividad de conservación en tramos con geometría y pendiente alta, los tramos calibrados con estas características presentan un aumento de ahuellamiento y corrimientos. Lo que se plantea es analizar cual es la alternativa que mejor comportamiento presente, además de verificar sus indicadores de parámetros anuales, se puede analizar optimizando IRI y analizar la rentabilidad de estas mediante el VAN. Entonces, para un tramo en especial podemos hacer una comparación entre la evolución del Ahuellamiento y en VAN; y la evaluación del Ahuellamiento y el IRI optimizado.

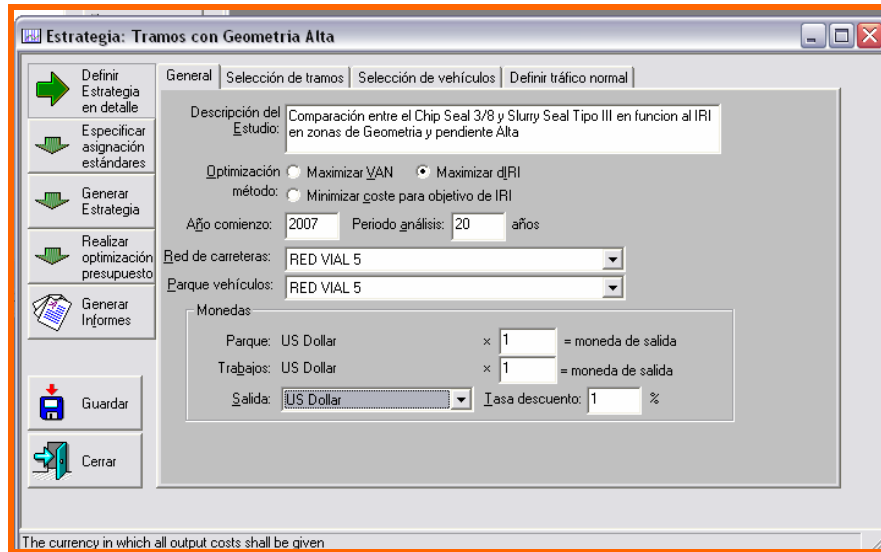


Fig. 82: Se presenta un análisis de estrategia para la comparación de actividades en tramos con geometría y pendiente alta

En ese sentido, el HDM-4 cuenta con un módulo de estrategias que permite efectuar con mayor facilidad este tipo de estudios, de características similares al módulo de análisis de programas, y que puede generar estrategias optimizadas desde el punto de vista no sólo de la rentabilidad, sino también de la condición que pueda lograrse en la red, expresado en términos de mejora de la rugosidad IRI media. Un ejemplo del tipo de análisis que pueden efectuarse se muestra en la Fig. 82, donde se aprecia el grado de mejoras en la condición global de un determinado grupo de carreteras, en función del nivel de inversión efectuado.

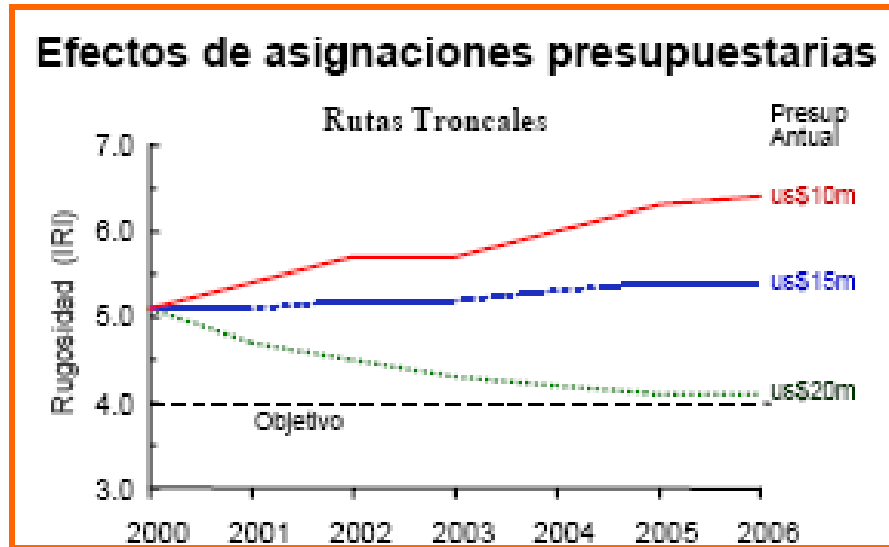


Fig. 83: Evolución de la rugosidad IRI promedio en rutas troncales, en función del monto de inversión³⁵

6.4 MODELO DE DETERIORO

El modelo de Deterioro es quizá uno de las principales necesidades del Sistema de Gestión de Pavimentos, al cual se le atribuye ser el vínculo de relación entre el Sistema de Gestión y el HDM-4.

Los pavimentos se deterioran a través del tiempo bajo los efectos combinados del tránsito y factores climáticos. Las cargas vehiculares, transmitidas a través de los ejes, inducen esfuerzos en las capas estructurales del pavimento que son función de la rigidez y espesor de dichas capas; la repetición de las cargas causa fatiga en los materiales e inicia el agrietamiento en la superficie y la deformación del paquete estructural. Los factores climáticos debilitan la película asfáltica superficial, volviéndola más susceptible de agrietarse y desintegrarse.

³⁵ Gestión de Pavimentos: U.N.S.J. – Marcelo Bustos

En el HDM-4 los modelos de deterioro están estructurados empíricamente, y modeladas en forma secuencial hacia la Rugosidad. Deterioros individuales como la Textura y la Fricción han sido modelados por separado.

Una vez iniciado, el agrietamiento se extiende en superficie, intensidad y severidad (ancho de fisuras), hasta el punto que aparece el desprendimiento y luego los baches. Las grietas abiertas en la superficie y el deficiente mantenimiento de los sistemas de drenaje permiten que excesiva cantidad de agua penetre en la estructura del pavimento, con lo que se reduce la resistencia a los esfuerzos de corte de los materiales no ligados (base y sub base) y se incrementa el deterioro provocado por el tránsito, acelerando así el proceso de desintegración.

La deformación acumulada en el pavimento se manifiesta mediante el ahuellamiento bajo las zonas de rodado de los vehículos y, como concepto más general, a través de la distorsión del perfil de la carretera, que denominamos rugosidad. Por lo tanto, la rugosidad de los pavimentos es el resultado de un encadenamiento y combinación interactiva de varios mecanismos de deterioro.

6.4.1 Modelos de deterioro del Pavimento

Los deterioros son modelados en el orden siguiente:

- Fisuración

- Desprendimiento del Árido
- Baches
- Roturas de Borde
- Ahuellamiento
- Rugosidad
- Profundidad de la Textura
- Coeficiente de Rozamiento

Existe una serie de interdependencias en la modelización de la evolución del deterioro.

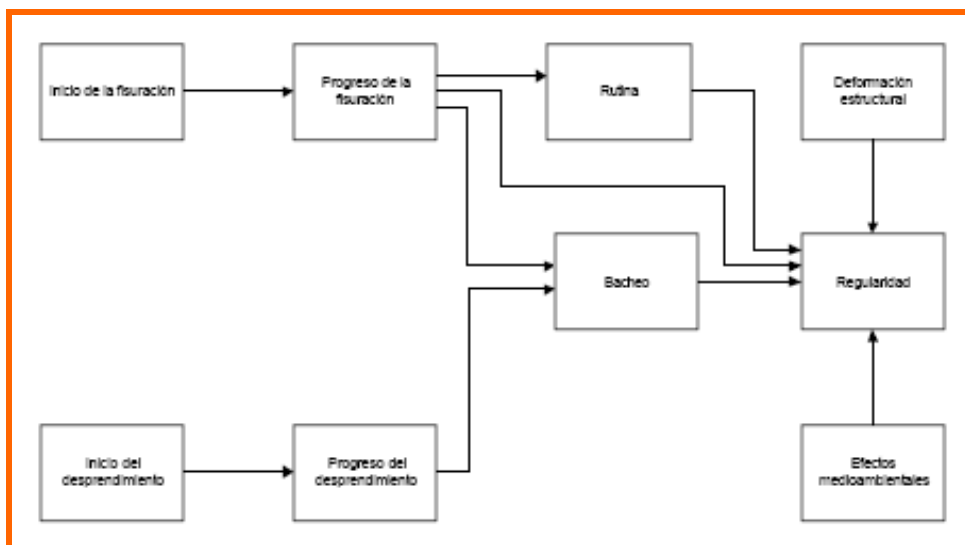


Fig. 84: Interacciones de los Deterioros dentro del Modelo RDWE del HDM-4³⁶

Estos deterioros pueden ser clasificados en tres categorías: Deterioro de la carpeta, deformación y textura de la capa de rodadura.

³⁶ Manual de Usuario del HDM-4, Volumen 5: PIARC

Deterioro de la carpeta

Esta categoría comprende:

- Fisuración
- Desprendimiento del árido
- Bacheo
- Rotura del borde

Los primeros tres modelos se caracterizan por dos fases que tienen inicio y progreso. La fase de inicio es el período anterior al comienzo del deterioro de la carpeta de un modelo definido. La fase de progreso se entiende como el período durante el cual el área comienza a sufrir un deterioro severo. La rotura del borde, en su modelización, solamente incluye una progresión continua.

Deformación

Esta categoría comprende:

- Rodera
- Regularidad

Los modelos de deformación son continuos, y se representan solo por ecuaciones progresivas. Como son parte dependiente del deterioro del perfilado, se calculan a partir del cambio del deterioro del perfilado en el año analizado.

Textura de la capa de rodadura

Esta categoría comprende:

- Profundidad de la textura
- Coeficiente de rozamiento

Estos modelos son continuos y, al igual que los modelos de deformación, se modelizan solamente a través de su progreso.

➤ Estos parámetros resumen su definición dentro de la tabla siguiente:

Medida	Definición
Área del deterioro	Suma de las áreas rectangulares adyacentes que manifiestan deterioro (a las líneas de fisuración se le asignan un ancho de 0,5 m), expresada como un porcentaje del área de la calzada
Fisuración total	Fisuración estructural a lo largo y a lo ancho
Fisuración estrecha	Líneas con fisuración de 1-3 mm de ancho o interconectadas (equivalente a AASHTO Clase 2)
Fisuración ancha	Líneas con fisuración de 3 mm o más de ancho con desconchado o interconectadas (equivalente a AASHTO Clase 4)
Fisuración indexada	Suma de AASHTO Clases 2 a 4 de fisuración medida por clase, ver sección 5.3
Fisuración termal transversal	Fisuras no conectadas a través del firme
Desprendimiento del árido	Pérdida del material del perfilado
Bacheo	Hoyos abiertos en el perfilado con 150 mm de diámetro mínimo y al menos 25 mm de profundidad
Rotura del borde	Pérdida de material bituminoso del perfilado (y posibles materiales de la base) del borde del firme
Rodera	Permanente o irrecuperable deformación asociada al tráfico a través de las capas del firme en las cuales, si se canalizan en rodada, aumentan con el tiempo convirtiéndose en roderas.
Profundidad de la rodera	Profundidad máxima por debajo de los 2 m que cruza transversalmente una rodada
Regularidad	Desviaciones del perfilado a partir de una superficie totalmente plana con dimensiones características que afectan a la dinámica de los vehículos, la calidad de la rodada, la dinámica del peso y del drenaje (ASTM E-867-82A) – típicamente en la escala de 0.1 a 100 m de arqueamiento y entre 1 y 100 mm de amplitud
IRI	Índice internacional de regularidad, medida que expresa la regularidad como un promedio sin medida de declive rectificado del perfil longitudinal definido en <i>Sayers et al. (1986)</i>
Profundidad media de la textura	Profundidad promedio del perfilado expresado como el cociente de un volumen de material estandarizado, (arena, prueba de mancha de arena, esferas de cristal) entre el área en la que el material se expande en manchas circulares sobre la superficie estudiada (<i>PIARC, 1997</i>)
Coefficiente de rozamiento	Resistencia al deslizamiento expresada por el coeficiente de rozamiento (CTR) medido usando el Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)

Tabla 15: Definición de las Medidas de Deterioro³⁷

6.4.2 Parámetros principales de la Modelización

Las variables principales, que se utilizan en el análisis de un año a otro, se pueden agrupar y se detallan más abajo. Las características de la carretera, al comienzo del año analizado se inicializan, bien a partir de

³⁷ Manual de Usuario del HDM-4, Volumen 4: PIARC

sus datos de entrada, si es el primer año del análisis o el primer año después de la construcción o, de otro modo, a partir de los resultados de los trabajos de conservación y mejora realizados el año anterior.

Características Estructurales del Pavimento

Incluye medidas de la resistencia del pavimento, del espesor de la capa, de los tipos de materiales, de la calidad de la construcción y de la rigidez de la explanada.

Condición de la Carretera

Se requieren los datos de la condición de la carretera y del drenaje lateral al comienzo de año analizado o del primer año después de la construcción.

La condición del pavimento al final del año, es decir, antes de los trabajos, se pronostica de la siguiente manera:

$$\text{CONDICION}_b = \text{CONDICION}_a - \Delta\text{CONDICION}$$

$$\text{CONDICION}_{av} = 0.5 * (\text{CONDICION}_a + \text{CONDICION}_b)$$

Donde:

CONDICION_a: condición al comienzo del año

CONDICION_b: condición al final del año

ΔCONDICION: cambios en la condición durante el año

CONDICION_{av}: promedio de la condición para el año

Historial del Pavimento

Son los datos requeridos que hacen referencia a la edad del pavimento y que están relacionados a las conservaciones anteriores y a los trabajos de rehabilitación y construcción realizados.

Existen cuatro variables que definen la edad del pavimento y que se utilizan en los modelos: EDAD1, EDAD2, EDAD3 y EDAD4, las cuales se definen de la siguiente manera:

- 1 **EDAD1** es la edad del tratamiento preventivo. Se define como el tiempo, en número de años, desde el último tratamiento preventivo, resellado, refuerzo (o rehabilitación), reconstrucción del pavimento o nueva construcción.
- 2 **EDAD2** es la edad del perfilado. Se define como el tiempo, en número de años, desde el último resellado, refuerzo, reconstrucción del pavimento o nueva construcción.
- 3 **EDAD3** es la edad de la rehabilitación. Se define como el tiempo, en número de años, desde el último refuerzo, reconstrucción del pavimento o nueva construcción.
- 4 **EDAD4** es la edad de la construcción básica. Se define como el tiempo, en número de años, desde la última reconstrucción que incluyó la construcción de una nueva capa de la base o nueva construcción.

Geometría de la Carretera y Medioambiente

Esto incluye la anchura de la calzada y de las bermas, el alineamiento vertical y la precipitación media mensual.

Tráfico

Los datos requeridos del tráfico son el flujo de todos los ejes de los vehículos (YAX) y el de los ejes equivalentes (YE4), ambos expresados en una base anual de millones por carril. Estos datos se calculan, para cada año analizado, a partir de las características del tráfico y de los vehículos definidas por el usuario. El promedio anual de velocidades del tráfico así como el promedio de velocidades de los vehículos pesados son requisito del modelo de deterioro.

6.4.3 Procedimiento del cálculo

La lógica general de cómputo de la modelización del deterioro de cada tramo de la carretera, en cada año analizado, se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1.- Inicio de entrada de datos y condiciones al comienzo del año

- 2.- Cálculo de los parámetros de resistencia del pavimento

- 3 Cálculo de la cantidad de cambios de cada modelo de deterioro durante el año analizado, en el siguiente orden:

- a. Fisuración
- b. Desprendimiento del árido
- c. Áreas con baches
- d. Rotura del borde

4.- Verificación de que el total de la calzada, con o sin deterioro, sea igual al 100% a partir de los límites definidos para cada forma de deterioro y determinación de la cantidad de cada uno al final del año y del valor promedio de cada año.

5.- Cálculo del cambio en cada forma de deterioro durante el año y determinación de la cantidad de cada uno al final del año y del valor promedio de cada año.

6.- Cálculo del cambio en cada forma de deterioro de textura superficial durante el año y determinación de la cantidad de cada uno al final del año y del valor promedio de cada año.

7.- Almacenamiento de los resultados para su uso en subsecuentes módulos (RUE, WE, SEE,) y en el siguiente año analizado, así como para propósitos de obtener informes.

6.5 DESCRIPCION DE LA EVOLUCION DE LOS DETERIOROS

Para propósitos de modelización, los tipos de deterioro, mencionados anteriormente, necesitan ser convertidos en sus equivalentes áreas de la capa y se asume que serán mutuamente exclusivos. Es por eso que, la suma del área de la capa de rodadura con rotura del borde, con baches, con fisuración, con desprendimiento del árido y sin desperfectos debe ser igual al 100%.

Se acepta que un área de la carretera puede estar fisurada y con su árido desprendido. Por lo tanto, la jerarquía empleada en HDM-4 clasifica la fisuración por encima del desprendimiento, ya que la fisuración se considera un deterioro más severo que el desprendimiento. Una vez que las cantidades sustanciales de áreas con desperfectos hayan sido modelizadas, el área con desprendimiento será por lo tanto reclasificada como área de fisuración. De esto se obtiene un área con un desprendimiento decreciente si bien, esta área reclasificada, podría ser identificada como fisurada o con desprendimiento.

En la búsqueda de una lógica que satisfaga las restricciones al 100% del total del área de la capa se han hecho las siguientes simples suposiciones:

- La fisuración se desarrolla primero en el área sin desperfectos y luego que ésta está saturada, en el área desprendida, si existe. Aún más, un área que ha sido fisurada puede desarrollar baches pero no puede sufrir desprendimiento.

- El desprendimiento se puede originar, solamente, en el área sin desperfectos. Después que un área ha sufrido desprendimiento se puede también fisurar, en cuyo caso se reclasificará de desprendida a fisurada. (Nota: esto no significa que las áreas con desprendimiento vayan a desaparecer físicamente).
- Los baches se pueden desarrollar, únicamente, en áreas fisuradas, con desprendimiento o sin desperfectos (como se refleja en las fórmulas de cálculo de cambios en el número de baches), e independientemente que sea reparada, un área de baches no se puede convertir en fisurada, desprendida o sin deterioro.
- Se impone un límite máximo del 10% al área de baches. Esto es debido a que por encima de este nivel, la capa del pavimento se definiría como en malas condiciones y la función de regularidad sería invalidada.
- La rotura del borde se puede desarrollar, solamente, en áreas fisuradas, con desprendimiento y sin desperfectos y aunque sean reparadas, un área con rotura del borde no se puede volver un área con baches, con fisuración, con desprendimiento o sin desperfectos.
- Un límite superior del 18% se impone al área de rotura del borde. Este valor se basa en la premisa de que la rotura del borde no se

extenderá más allá de 0,5 metros a partir del borde de un pavimento de 5,5 metros de ancho.

6.5.1 Fisuramiento

La fisuración es uno de los más importantes deterioros de los pavimentos bituminosos. El desgaste y el paso del tiempo son los principales factores que contribuyen a la fisuración de las capas del pavimento bituminoso. La propagación de la fisuración se acelera a través del resquebrajamiento resultante del paso del tiempo y de la adicción de agua, lo que puede debilitar, significativamente, las capas subyacentes del pavimento.

El Fisuramiento se considera bajo dos formas:

Fisuras Estructurales (Total de fisuras y fisuras anchas)

Fisuras Transversal Térmica

Se consideran tres fases para cada clase de fisuramiento:

Tiempo de iniciación

Evolución posterior

Condición de equilibrio

Fisuras Estructurales

Se dice que el inicio de la fisuración estructural comienza cuando el 0.5% del Área de la carpeta de rodadura está fisurada. El tiempo de inicio de las Fisuras esta en función de la calidad de la construcción (CDS), el tipo

de pavimento, espesores de capas constituyentes, viejas y nuevas, el Número Estructural, los ESAL, el agrietamiento previo en caso de los refuerzos y el retardo de la fisuración por mantenimiento.

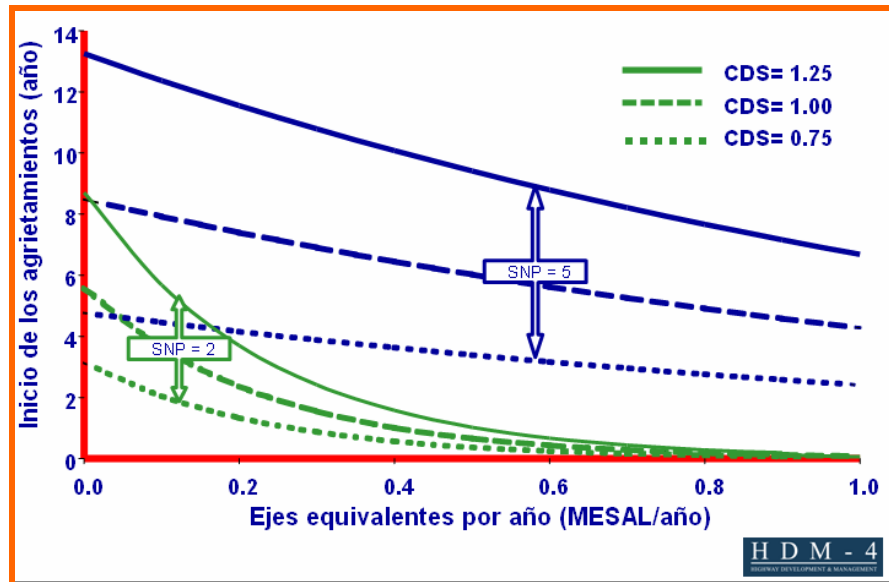


Fig. 85: Iniciación de las Fisuras Estructurales

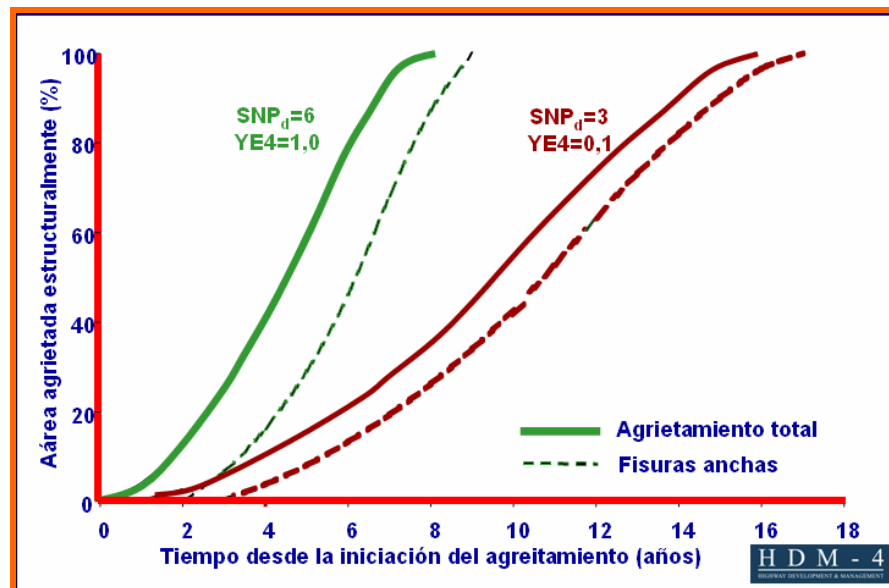


Fig. 86: Progresión de las Fisuras Estructurales

Fisuración Termal transversal

El Fisuramiento transversal térmico se origina por condiciones climáticas extremas, es modelado como cantidad de fisuras severas por kilómetro. Depende del espesor de capa superficial, tipo de clima, tipo de pavimento y calidad de construcción(CDS). Solo aparecen en los climas extremos: cálido y árido, y frío con congelamiento.

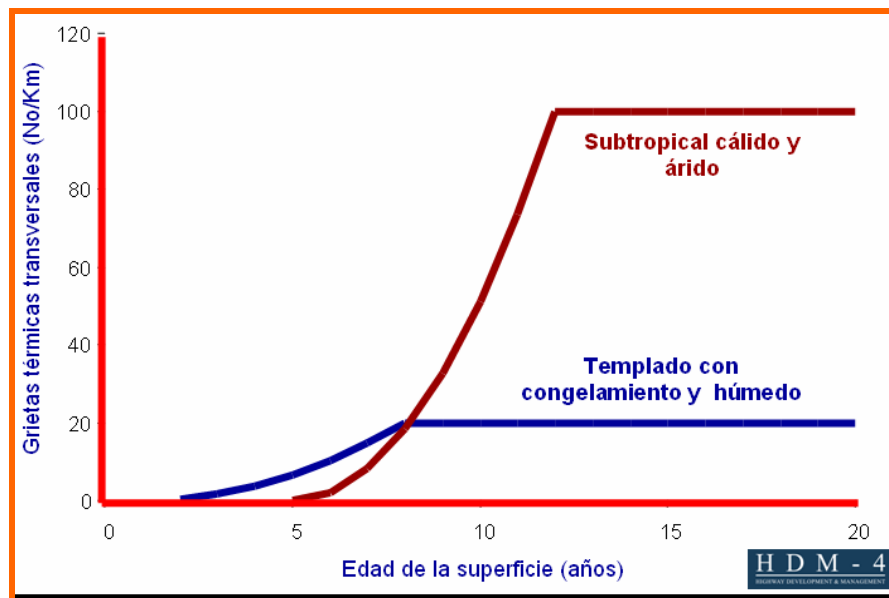


Fig. 87: Inicio y progresión de fisuras transversales, con un límite máximo empírico

6.5.2 Desprendimiento

Es la pérdida progresiva de material de la capa causado por efectos del clima y/o erosión del tráfico. El desprendimiento del árido varía considerablemente según las diferentes regiones y países en los que ocurra debido a sus métodos de construcción, especificaciones, disponibilidad de materiales y prácticas locales. El desprendimiento es un deterioro común en las construcciones pobres y en capas bituminosas

finas, tales como tratamientos superficiales, pero no son frecuentes en construcciones de alta calidad o mezclas bituminosas calientes.

El indicador de defectos de la construcción para perfilados bituminosos CDS, se usa como una variable en los modelos de desprendimiento.

Se establece que se ha producido desprendimiento en un tramo específico de la carretera cuando el 0.5% del área de carpeta de rodadura se clasifica como desprendida.

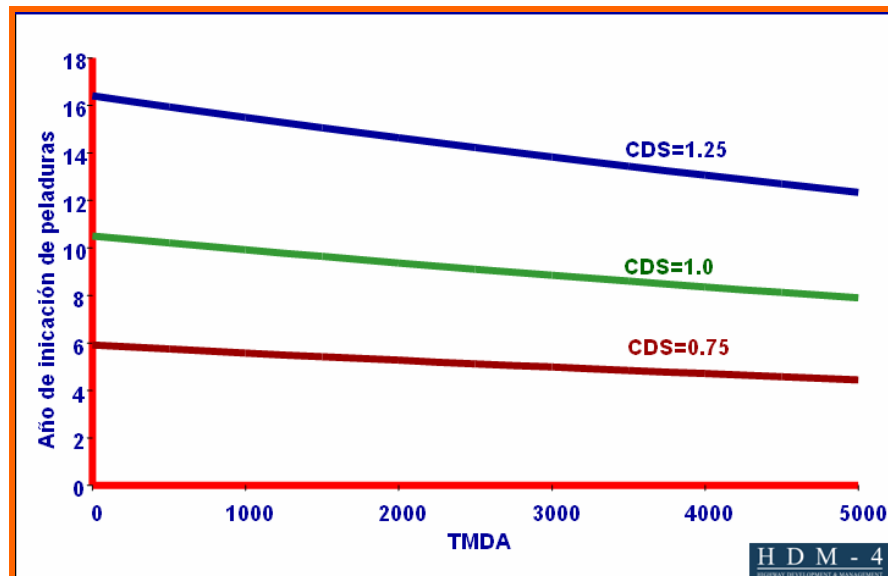


Fig. 88: Inicio del Desprendimiento en función del tránsito y la calidad de construcción

La progresión del desprendimiento (curva tipo S), depende de las mismas variables, salvo el tipo de pavimento.

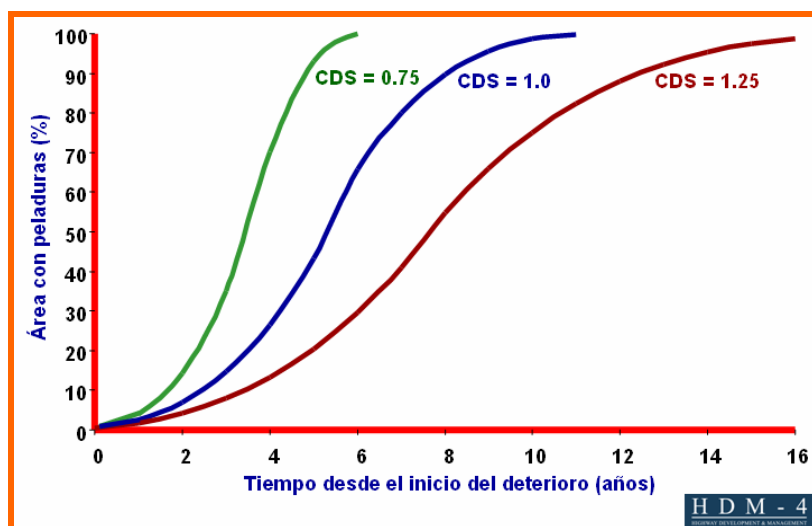


Fig. 89: Progresión del Desprendimiento

6.5.3 Baches

Las áreas con baches, generalmente, se desarrollan en una capa de rodadura que previamente haya sufrido desprendimiento del árido, se haya fisurado, o ambos. La presencia de agua acelera la formación de baches, lo que produce un debilitamiento de la estructura del pavimento y una disminución de la resistencia de la capa y de los materiales de la base hasta su posible desintegración.

Los modelos de las áreas con baches utilizan el indicador de defectos de la construcción de la base CDB, como una variable. En los modelos, las áreas con baches se expresan en términos del número de baches con un área de 0,1 m². La capacidad de volumen de cada uno de estos baches se asume que es de 10 litros (es decir, 100 mm de profundidad).

El tiempo de inicio, a partir del inicio de grietas anchas o peladuras, es función del Espesor total de capas superficiales ligadas, Número de total de ejes de vehículos motorizados, Calidad de construcción de la base CDB, Precipitación media mensual, Tipo de pavimento y de base

El inicio de las áreas con baches, debido a la fisuración, surge solamente una vez que el área total de la fisuración estructural ancha sobrepasa el 20%. El desprendimiento que da origen a los baches surge cuando el área desprendida excede del 30%.

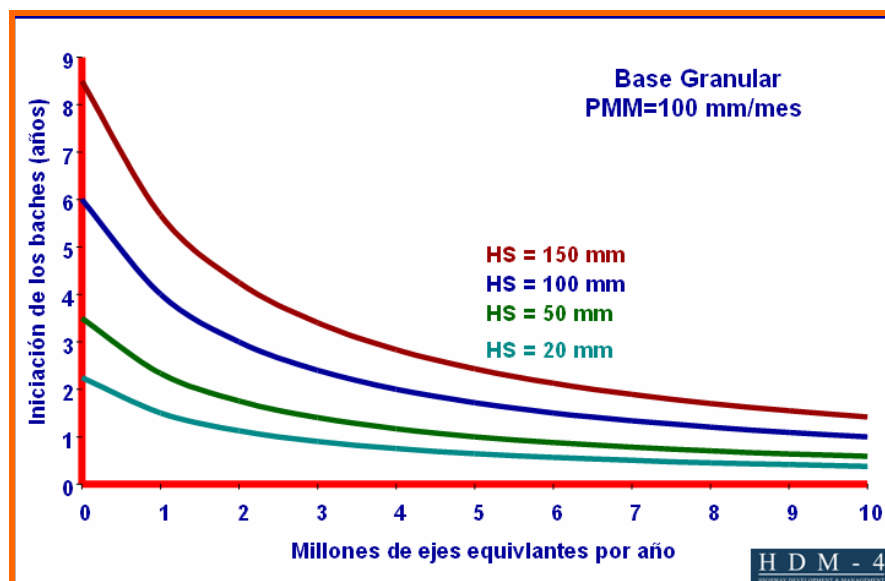


Fig. 90: Inicio de los Baches

El progreso se origina a partir de los baches producidos por fisuración, desprendimiento o por el aumento de los existentes. Se afecta por el lapso de tiempo entre la aparición y el bacheo de los mismos.

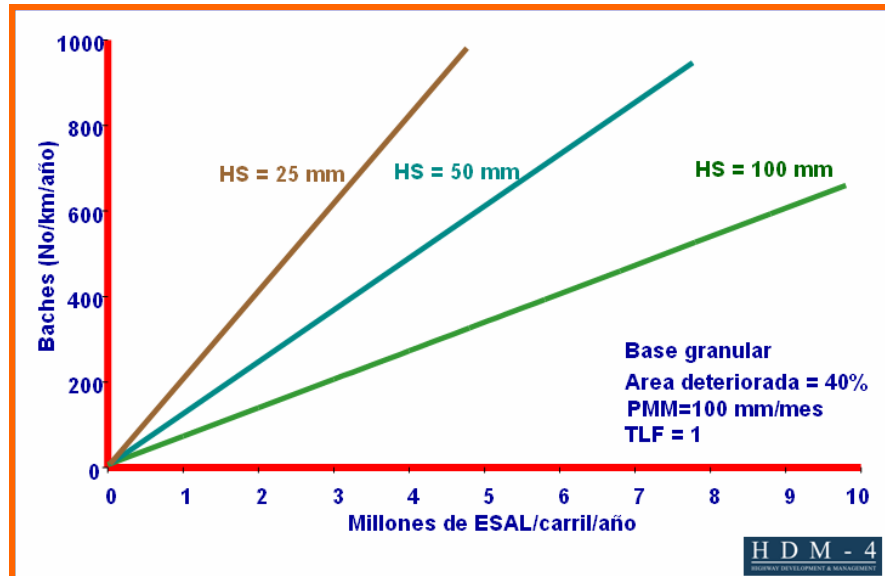


Fig. 91: Evolución de los baches

La progresión de baches está formada por tres componentes, como en el HDM III:

- Nuevos baches originados por grietas anchas
- Nuevos baches originados por peladuras
- Baches ensanchados desde baches existentes

Las mismas variables del modelo de inicio inciden sobre la progresión, mas un factor de cuanto tiempo pasa entre que aparecen y se tapan los baches.

6.5.4 Rotura del Borde

Se puede definir como la pérdida de la capa de rodadura y de los materiales de la base al borde del pavimento, causado por golpes y desgaste. Generalmente ocurre en carreteras estrechas con bermas sin

sellar donde las ruedas de los vehículos pasan por encima o cerca de los bordes del pavimento.

La medida de la rotura del borde, que el usuario provee como entrada de datos en el modelo y sus correspondientes datos de salida, se definen en metros cuadrados por kilómetro y no en metros cúbicos por kilómetro. El valor en metros cuadrados se multiplica entonces internamente por 100 mm (la misma profundidad de los baches) para obtener el volumen de rotura del borde en metros cúbicos con propósito de la modelización.

El modelo de rotura del borde se pronostica que ocurrirá en carreteras con una anchura de calzada superior al máximo definido por el usuario como CW_{max} . El valor predefinido de CW_{max} es de 7,2 metros y con un límite máximo de CW_{max} ajustado a 7,5 metros (es decir, que no se pronostica rotura de bordes en las carreteras con un ancho de calzada superior a los 7,5 metros).

Las variables más importantes del modelo son:

- Tipo de pavimento y de base
- Ancho de calzada
- Diferencia de cotas entre el carril y la berma.
- Tránsito en IMD, y que proporción usa la berma debido a la anchura de la carretera
- Velocidad media del tránsito
- Precipitación media mensual

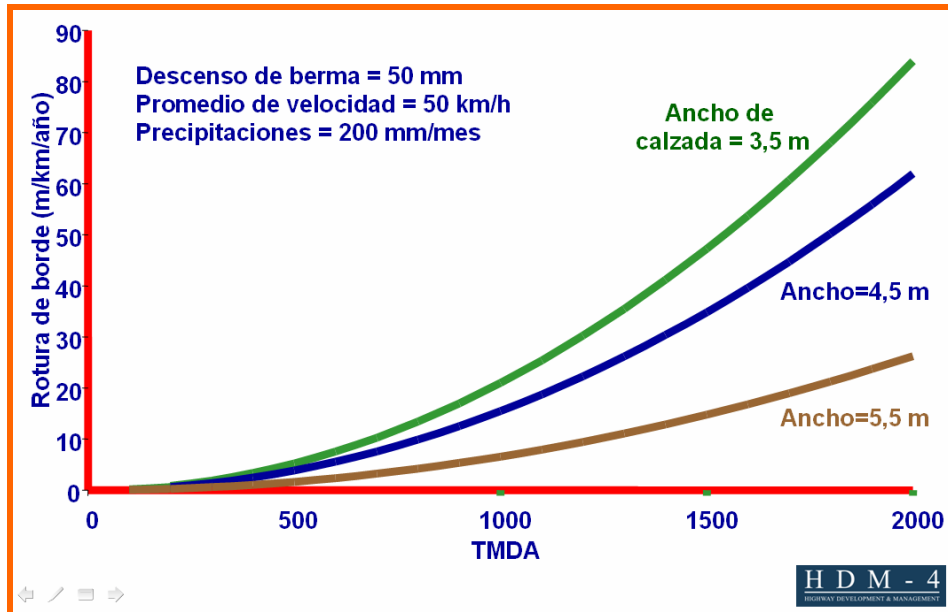


Fig. 92: Evolución de la Rotura de borde en función del IMD y el ancho de la calzada

6.5.5 Ahuellamiento

El ahuellamiento se define como la deformación permanente o irrecuperable asociada con el tráfico en las capas del pavimento que si se canalizan en huellas, se acumulan con el tiempo convirtiéndose en roderas.

La modelización del ahuellamiento se realiza después de la evaluación de todos los deterioros de la capa, es decir, fisuración, desprendimiento, áreas de baches y rotura del borde, y al final del año que esté siendo analizado.

El modelo del ahuellamiento se basa en cuatro componentes:

Densificación Inicial

La densificación inicial depende del Número Estructural, del tránsito pesado (ESAL) y de la compactación relativa de capas de base, sub base y capas subyacentes.

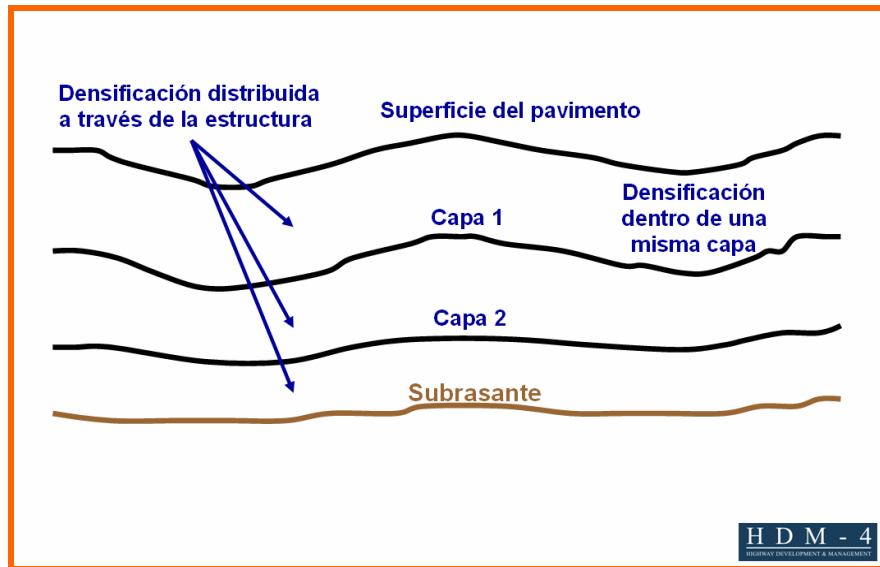


Fig. 93: Densificación de capas

La densificación inicial solamente aplica a las reconstrucciones o construcciones nuevas que incluyen la construcción de una nueva capa de la base.

Deformación Estructural

Depende de las mismas variables, pero una vez que aparecen grietas también depende de éstas y de las precipitaciones.

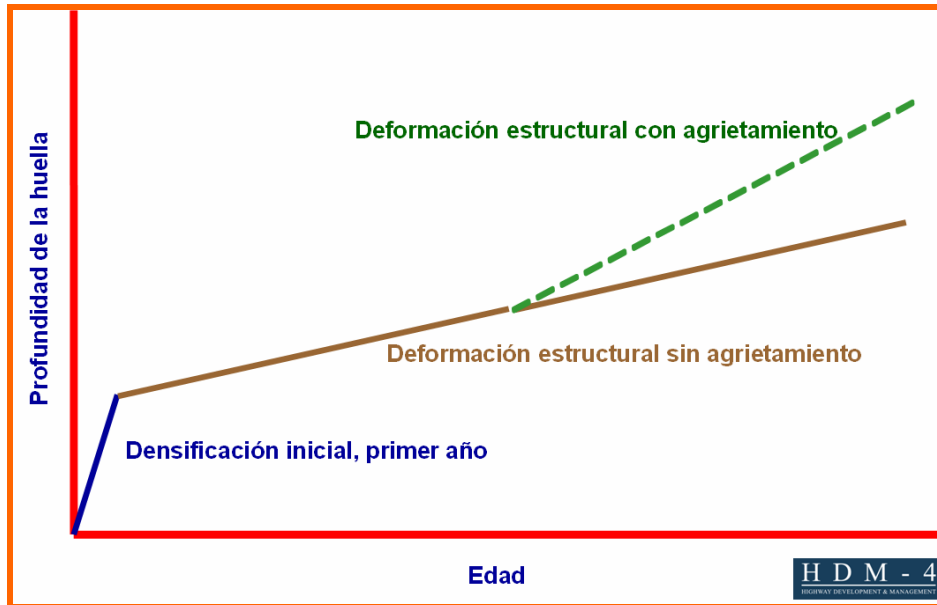


Fig. 94: Evolución de la profundidad

Deformación Plástica

Ocurre solo en capas superficiales; depende del espesor de éstas, de las cargas y de la velocidad de vehículos pesados. Se incluye la variable de calidad CDS, que indica si el perfil es propenso a una deformación plástica.

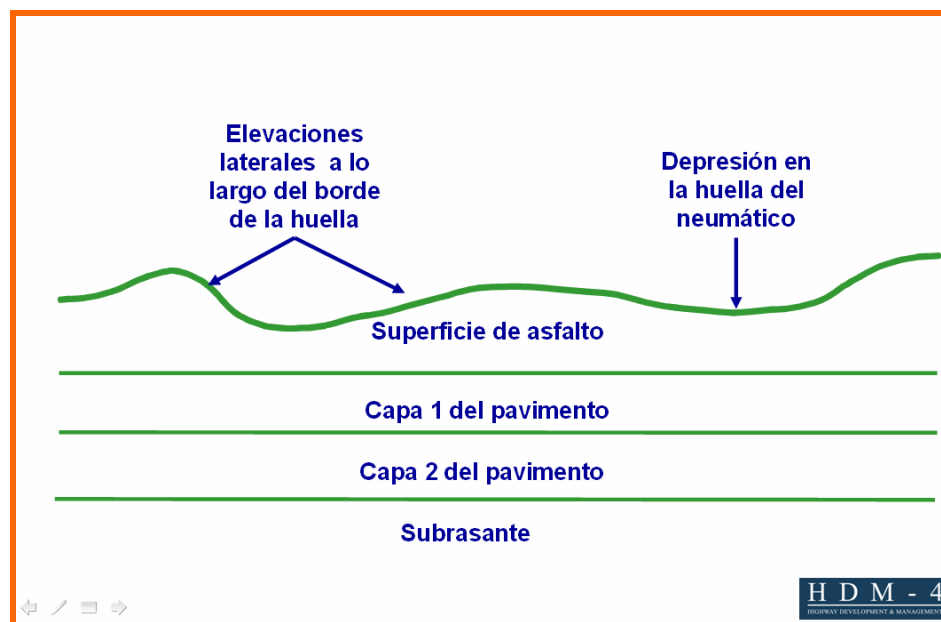


Fig. 95: Deformación Plástica

Desgaste de la Capa

El modelo de desgaste de la capa se aplica en ambientes donde los vehículos utilizan neumáticos con clavos durante los periodos helados.

6.5.6 Rugosidad

El modelo de rugosidad está en función de varios componentes (deformación estructural, condición superficial, edad-medioambiente). La rugosidad proporcional total es la suma de todos esos componentes. Los valores del deterioro de la capa usados para pronosticar la rugosidad son aquellos que se han ajustado para que el total del área de la capa deteriorada más el área sin deterioros sea igual a 100%.

El componente estructural de la rugosidad está relacionado con la deformación de los materiales del pavimento bajo presiones impuestas por el peso del tráfico.

El componente de condición superficial de la rugosidad está relacionado directamente con la fisuración, los ahuellamientos y las áreas con baches.

El componente de medioambiente de la rugosidad se origina por factores que incluyen fluctuaciones en la temperatura y en la humedad, así como por movimientos del terreno(depresiones).

El IRI total viene de la suma de todas estas componentes.

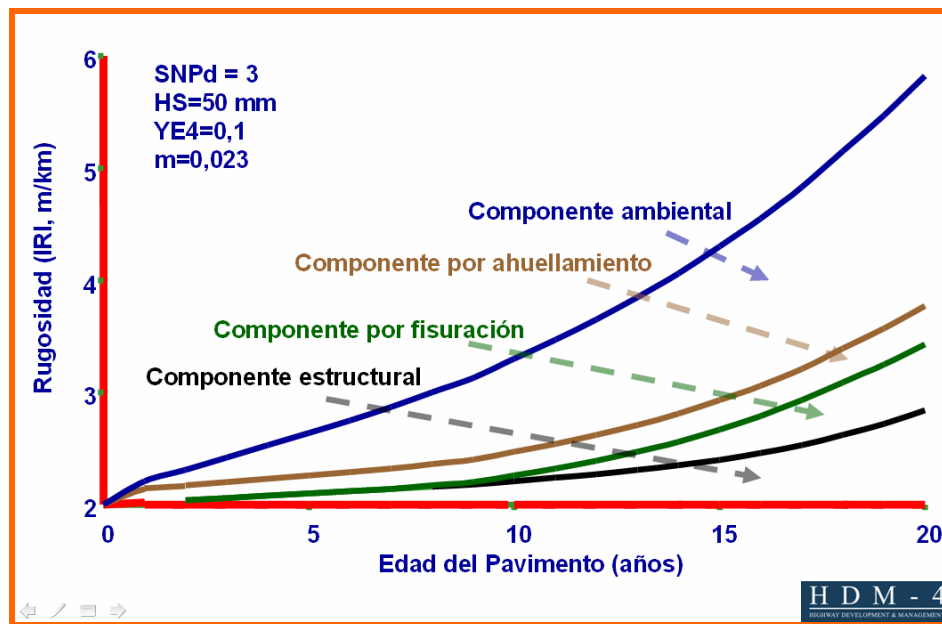


Fig. 96: Ejemplo de modelamiento de componentes de Rugosidad para un pavimento de Número Estructural = 3, Espesor de 5 cm. y 100 000 ejes equivalentes por carril.

6.5.7 Profundidad de la textura

La profundidad de la textura está relacionada con la macrotextura del pavimento. Los cambios en la macrotextura debidos al desgaste y a la compactación de la acción del tráfico tienen unas importantes consecuencias económicas y de seguridad ya que la resistencia al deslizamiento es una función de la textura.

6.5.8 Coefficiente de Rozamiento Transversal

Está fuertemente influenciado por la Microtextura y es una medida del grado de pulido de la capa del pavimento o del agregado y la capa.

El usuario deberá definir un valor de SFC_{50} con la intención de realizar la modelización del coeficiente de rozamiento transversal. Este factor es obtenido mediante el equipo denominado SCRIM. A la actualidad en el Perú, los datos de fricción son levantados con el péndulo inglés, que son datos a 60 km/h. Será necesario entonces, proponer una ecuación de conversión de unidades.

6.6 FACTORES DE CALIBRACION DE LOS DETERIOROS

Los modelos de deterioro contienen factores que facilitan la calibración local. Estos factores tienen valores predefinidos de 1,0 y se resumen en la tabla 16.

Modelo de deterioro	Factor de calibración
Relación del SNP con la estación seca/húmeda	K_E
Factor de deterioro del drenaje	K_{dtr}
Factor de la vida útil del drenaje	K_{dms}
Fisuración estructural total - inicio	K_{cis}
Fisuración estructural ancha - inicio	K_{ciw}
Fisuración estructural total - progreso	K_{cpr}
Fisuración estructural ancha - progreso	K_{cprw}
Fisuración termal transversal - inicio	K_{crt}
Fisuración termal transversal - progreso	K_{cprt}
Rodera - densificación inicial	K_{rid}
Rodera - deterioro estructural	K_{ret}
Rodera - deformación plástica	K_{rpd}
Rodera - desgaste de la capa	K_{rwr}
Desprendimiento del árido - inicio	K_{di}
Desprendimiento del árido - progreso	K_{dpr}
Baches - inicio	K_{pi}
Baches - progreso	K_{pp}
Rotura del borde	K_{rb}
Regularidad - coeficiente medioambiental	K_{gr}
Regularidad - SNPK	K_{expk}
Regularidad - progreso	K_{gp}
Profundidad de la textura - progreso	K_{td}
Coefficiente de rozamiento transversal	K_{rt}
Coefficiente de rozamiento transversal - efectos sobre la velocidad.	K_{rtv}

Tabla 16: Factores de calibración utilizados en los modelos de deterioro

CAPITULO VII

METODOLOGIA, CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS PARA LA RED VIAL Nro. 5 ANCON – HUACHO – PATIVILCA

En el presente capítulo se desarrollará el procedimiento para la recolección de Datos, filtración y los criterios a utilizarse para la obtención de los tramos a analizarse.

7.1 METODOLOGIA Y CRITERIOS PARA LA EJECUCION DEL INVENTARIO CALIFICADO

Debido a las exigencias en el contrato de Concesión, es imposible evitar un buen planeamiento que cumpla con tres exigencias básicas:

- ✓ Seguridad.
- ✓ Calidad de información.
- ✓ Alto rendimiento en los tiempos de las brigadas para la ejecución

del Inventario.

Seguridad: Es elemental elaborar una política de seguridad en la cual se tenga en cuenta la inclusión de conos de seguridad, banderilleros en el caso de pruebas estáticas y logotipos para la identificación de la

empresa.

Calidad de Información: Debido a que un Sistema de Gestión a Nivel de Proyecto tiene una sensibilidad considerable, es necesario contar con formatos de recolección flexibles, fáciles de llenar y que faciliten su digitalización.

Es necesario contar con personal calificado, como ejemplo se puede mencionar que al calibrar el porcentaje de fisuras estructurales en un tramo homogéneo, ésta pueda provocar una desviación considerable si se clasifican de manera equivocada al confundir una piel de cocodrilo con fisuras en bloque.

Uno de los objetivos del Área de Gestión de Pavimentos es el estandarizar los formatos de recolección de manera tal que pueda ser utilizado tanto para la recolección de datos con fines del Sistema de Gestión de Pavimentos como para la elaboración de los proyectos del Mantenimiento Periódico.

Alto Rendimiento en la ejecución de los trabajos: uno de los objetivos de concesionar una vía es la de mejorar los tiempos de recorrido, las mediciones en campo implican la reducción e inclusive la detención del flujo vehicular, por lo que se necesita recolectar la información en el menor tiempo posible; esto, sin menguar la calidad de los datos de recolección. Para esto, la entidad se preparan estrategias para la

recolección de data en campo, como la de incluir equipos de alto rendimiento.

Resumiendo, estos tres conceptos definen el agrupamiento de las brigadas, cada una de ellas saldrán con una función determinada y siguiendo sus políticas de seguridad y su procedimiento para levantamiento de información. El siguiente cuadro esquematiza su agrupamiento en función de niveles; es necesario precisar que la metodología de la actividad está estandarizada a excepción de las celdas que presentan dos niveles, estos se sustentan en el tipo de equipo o metodología a utilizar.

Política \ Actividad	SEGURIDAD	CALIDAD	RENDIMIENTO
Referenciación	media	alta	alta
Clasificación	media	alta	alta
Dimensionamiento	media	media	media
Drenaje	media	media	media
Rugosidad	media	alta	alta
Textura	alta	alta	baja
Deflectometría	alta	alta	baja - media
Fallas	alta	alta	baja
Estructura de Pavimento	alta	alta	baja - alta
Tráfico	baja	alta	media

Diagrama para el agrupamiento de actividades a realizar en el Inventario Calificado

La agrupación proveniente de la evaluación anterior, nos presenta las siguientes brigadas:

- Brigada para *referenciación* y clasificación

- Brigada para el *dimensionamiento* y suficiencia de drenaje
- Brigada para evaluación de *Rugosidad*.
- Brigada para evaluación de *microtextura* con péndulo inglés.
- Brigada para la evaluación Superficial de *Fallas* del Pavimento.
- Brigada para ensayos de *Deflectometría*
- *Estructura de Pavimento*.
- *Tráfico*.

Nota.- La frase o palabra resaltada en *cursiva* corresponde a la denominación abreviada de la brigada.

A continuación trataremos las actividades de cada brigada.

7.1.1 Brigada para referenciación y clasificación

La actividad a desarrollar será la de obtener la longitud en metros de las distancias entre los postes kilométricos con la metodología explicada en el párrafo siguiente, y la clasificación de calzadas y fajas de tránsito.

Los Postes kilométricos son fundamentales para el desarrollo de los trabajos de campo porque todos éstos aportan una referencia física para la ubicación en función a la progresiva, por lo tanto es importante conocer su significado.

Los postes kilométricos son puntos en el camino que sirven para referenciar la información, estos últimos definidos por el cambio de

calzada. En la siguiente figura se ilustran los diferentes casos de puntos de referencias y frecuencias de estos a establecer:

Es importante destacar que para el inventario Calificado y con el pleno conocimiento del comportamiento geométrico promedio de las carreteras de nuestro país, es necesario realizar una referenciación más precisa de cada uno de los elementos de las carreteras con el objeto de establecer la longitud entre cada 1 Km, considerando como metodología siempre el de relacionar el cadenamiento con el sentido creciente de la carretera y, llevar la progresiva teniendo como referencia la rueda delantera derecha del vehículo sobre el delineador horizontal exterior del carril creciente. Se reconocerán las distancias entre postes de la nueva monumentación al lado derecho de la calzada cuando esta sea de ida y vuelta, en el caso de las dobles calzadas, la obtención de las longitudes se ejecutará en ambas calzadas independientemente. Además, realizarán marcaciones al encontrar un cambio de calzada.

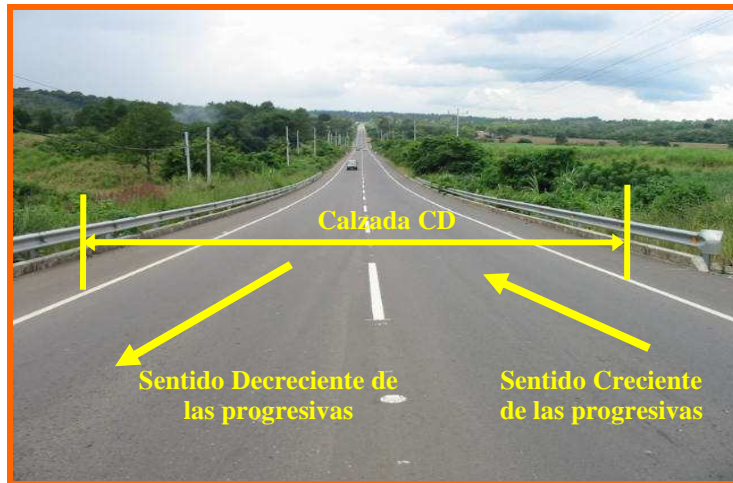
Puntos de referencias	Ilustración		Frecuencia
Puntos Kilométricos			Cada 1Km
Cambio de número de Calzadas, de Una a Dos o Viceversa			Cada vez que se presente el evento

Esta información deberá ser preliminar a toda otra brigada, la información deberá compartirse entre el personal asignado, con el fin de que todos sigan la misma metodología.

Además se debe aclarar que se adaptará una metodología de clasificación de calzadas y carriles de la siguiente manera:

CALZADAS.- Las calzadas constituyen todo el ancho de una vía entre los bordes del pavimento. Existen tres tipos de calzadas:

- **CD (Creciente – Decreciente):** Corresponde al caso de una calzada simple que considera ambos sentidos de tráfico, con un carril de circulación por sentido, que puede o no tener berma, como la que se presenta en la Figura siguiente:



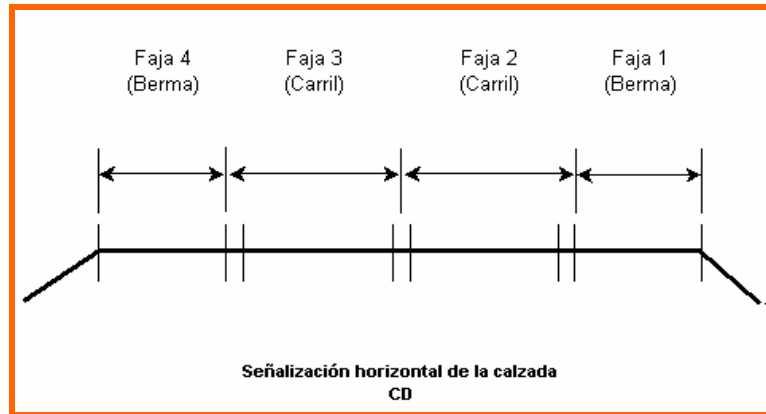
- **UC (Únicamente Creciente):** Corresponde al caso de una calzada donde el tráfico se desplaza en sentido creciente en todos los carriles. Caso en que la dirección del desplazamiento es en sentido de los postes kilométricos crecientes.
-
- **UD (Únicamente Decreciente):** Corresponde al caso de una calzada donde el tráfico se desplaza en sentido decreciente en todos los carriles. Caso en que la dirección del desplazamiento es en sentido de los postes kilométricos decrecientes. En la margen izquierda de la figura siguiente se presenta una calzada UD y es en este tipo de calzada, donde encontraremos mayores desfases en los intervalos de los postes kilométricos de la nueva monumentación. A la derecha de la mencionada figura se esquematiza las fajas que componen la calzada UC.



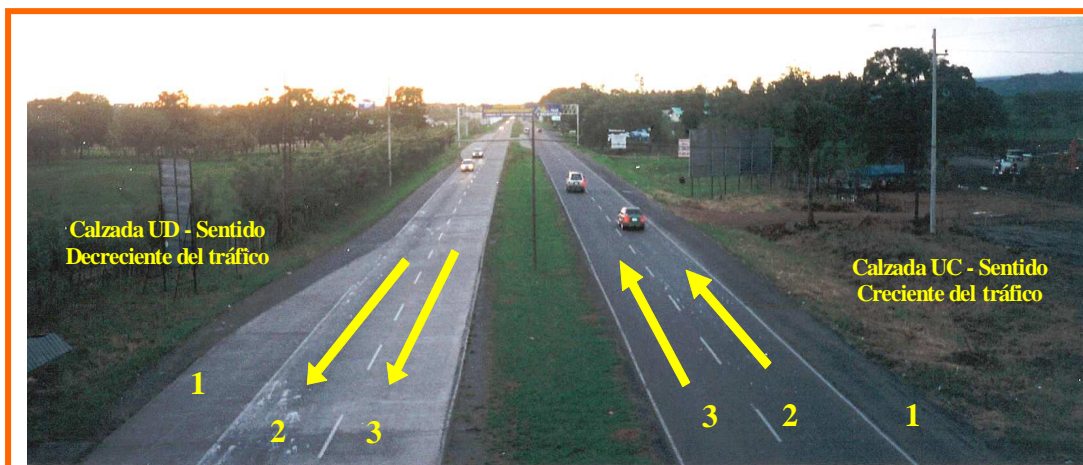
CARRILES.- Serán clasificados con la denominación de “Fajas”. Se considera faja a cada una de las franjas que comprende una carretera considerando las bermas y carriles. El número de fajas depende del tipo de carretera ya sea una autopista, multicarriles o duales y de dos carriles.

La justificación de denominar fajas a los carriles, es que además de considerar a estos como franjas, están incluidas también las bermas.

- **Fajas en el caso de una carretera de una calzada con dos carriles (CD):** En el caso de una calzada CD se enumerarán las fajas de derecha a izquierda en el sentido creciente de las progresivas.



- **Fajas en el caso de una carretera de dos calzadas con dos o mas carriles (UC o UD):** Para el caso de vías UC y UD, las fajas serán enumeradas del exterior a las fajas interiores, tal como se muestra en la siguiente figura:



Equipo para la medición de distancias:

Odómetros o DMI (Distance Mesure Instrument)

Se instalan en los vehículos para medir las distancias y definir las longitudes entre cada poste kilométrico de la nueva monumentación. Estos odómetros estarán



conectados al vehículo para obtener la referenciación exacta de cada evento en la carretera.

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo
- 01 chofer

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina
- Logotipo preventivo en la parte trasera del vehiculo

Entrega de Información

La brigada será la encargada de filtrar su información, así como la de entregarla en el formato asignado a continuación:

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4	PRG INI	PRG FIN	LONG (m)	CALZADA	OBSERVACION
5					
6	101+000	100+000	991.00	UD	4 tramos 200, 1 tramo 991
7	100+000	99+000	900.00	UD	4 tramos 200, 1 tramo 991
8	99+000	98+000	1000.00	UD	5 tramos de 200
9	98000	97000	1001.00	UD	4 tramos 200, 1 tramo 201
0	97+000	96+000	997.00	UD	4 tramos 200, 1 tramo 197
1	96+000	95+446	554.00	CD	Cambio calzada, 2 tramos 200 y 1 de 154
2					

7.1.2 Brigada para el dimensionamiento y suficiencia de drenaje

El *dimensionamiento* corresponde en registrar las informaciones relativas a las fajas en una sección. El formato de recolección ordena de manera clara y concreta la información:

PRG INI	CALZADA	Nro. FAJA	TIPO	SENTIDO	ANCHO (m)
100+000	UC	1	Transito	Creciente	3,6
	UC	2	Transito	Creciente	3,65
	UC	3	Berma	-	1,50
100+500	UC	1	Transito	Creciente	3,65
	UC	2	Transito	Creciente	3,65
	UC	3	Berma	-	1,80

En cuanto a *drenaje*, el deterioro en pavimentos flexibles, rígidos y compuestos es a menudo causado o acelerado por la presencia de la humedad en la estructura de pavimento. Cuando se evalúa la condición de pavimentos existentes, los ingenieros deben investigar el papel de las mejoras de drenaje y corregir disminución del rendimiento de pavimento.

Se deberá tomar en cuenta la condición funcional y estructural de los drenajes, la ubicación de estas y la progresiva de inicio en caso ser drenaje longitudinal. El inventario alimenta de manera sencilla y consistente con el siguiente formato:

5												
6	PRG INI	CALZADA	CLASE	TIPO	VANOS	SECCION	ALTO (m)	ANCHO (m)	LONG (m)	COND ES	COND FUN	
7												
8	100+000	UC	Alcantarilla	1	1	Circular	1.20	1.20	11.00	Excelente	Regular	
9												
10	105+100	UC	Cuneta	1	-	Trapezoidal	0.40	0.60	197.00	Excelente	Buena	
11												
12		UC	Alcantarilla	Concreto		Marco				Excelente	Buena	
13		UD	Cuneta	Acero		Circular				Preocupante	Regular	
14		CD		Otros		Arco				Mala	Mala	
15				Concreto		Ovalado						
16				Tierra		Triangular						
17						Trapezoidal						
18						Rectangular						
19												
20												

La brigada para el dimensionamiento y suficiencia de drenaje llevará estos formatos impresos en hoja bond A4, en el cual llevará en la cabecera el logotipo de la agencia, nombre del operario y fecha.

Todos los datos recolectados en campo son digitalizados, filtrados y almacenados en una base de datos.

Equipo para la medición de distancias

- Odómetro digital o DMI
- Odómetro de rueda o Manual
- Wincha de 30 metros

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo
- 01 ayudante
- 02 banderilleros

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina
- Logotipo preventivo en la parte trasera del vehículo

- 02 conos de seguridad

Entrega de Información

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3	DIMENSIONAMIENTO							
4								
5								
6	PRG INI	CALZADA	Nro. FAJA	TIPO	SENTIDO	ANCHO (m)		
7								
8	100+000	UC	1	Transito	Creciente	3.6		
9		UC	2	Transito	Creciente	3.65		
10	100+500	UC	1	Transito	Creciente	3.65		
11		UC	2	Transito	Creciente	3.65		
12		UC	3	Berma	-	1.80		
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								

a brigada será la encargada de filtrar su información, así como la de entregarla en el formato asignado a continuación:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3	DRENAJE										
4											
5											
6	PRG INI	CALZADA	CLASE	TIPO	VANOS	SECCION	ALTO (m)	ANCHO (m)	LONG (m)	COND ES	COND FUN
7											
8	100+000	UC	Alcantarilla	1	1	Circular	1.20	1.20	11.00	Excelente	Regular
9	105+100	UC	Cuneta	1	-	Trapezoidal	0.40	0.60	1001.00	Excelente	Buena
10	144+000	UC	Alcantarilla	1	1	Circular	1.20	1.20	13.00	Excelente	Regular
11	157+000	UC	Cuneta	1	-	Trapezoidal	0.45	0.60	300.00	Excelente	Buena
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											

7.1.3 Brigada para evaluación de Rugosidad

El encargado de esta evaluación deberá estar capacitado en el manejo del Roughometer II, equipo asignado para esta evaluación de parámetros; previa salida a campo se deberá instalar el equipo al vehículo para su puesta en funcionamiento.



Fig. 97: Encoder y Display del Roughometer II

El procedimiento será la siguiente:

- Recibir e interpretar la información obtenida en campo por la brigada de referenciación, con la cual se elaborará un plan de estrategia de levantamiento de información, con el cual se esquematiza una programación en obra.
- Luego de su instalación para su puesta en funcionamiento, es necesario proceder a calibrar el sensor de rugosidad, así como calibrar la distancia.

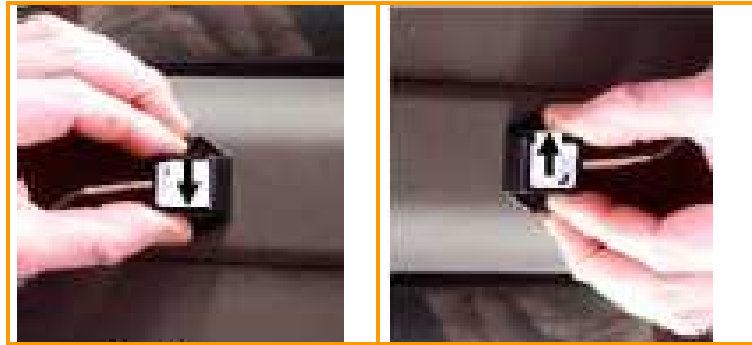
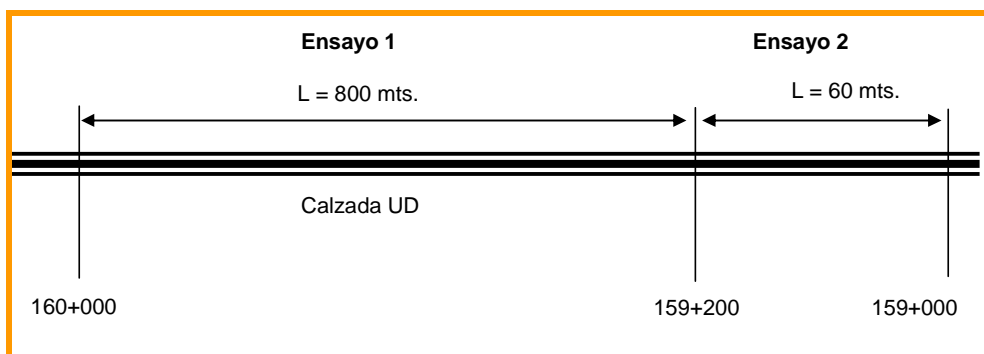


Fig. 98: Calibración del sensor de Rugosidad

- El equipo devuelve los datos en valores IRI, si embargo se considera necesario una correlación para comparar los datos. La correlación se deberá hacer con un IRI topográfico.
- El Roughometer II es un equipo que solo recolecta información de rugosidad en función al avance del vehículo, es por esto que se deberá anotarse los tramos a los que corresponde cada ensayo. La figura inferior demuestra la calzada UD, entre los postes kilométricos 160+000 al 159+000, la longitud real obtenida con nuestro procedimiento de referenciación es de 860 metros, para recolectar en este tipo de secciones, se considera como un ensayo los primeros 800 metros, el saldo se obtiene en un segundo ensayo.



- Los ensayos se realizan por faja de tránsito, siempre en el sentido de la calzada.

Equipo para la medición de distancias

- Odómetro digital o DMI
- Roughometer II inc. Encoder Rotational

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo
- 01 chofer

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina
- Logotipo preventivo en la parte trasera del vehiculo
- 02 conos de seguridad

Entrega de Información

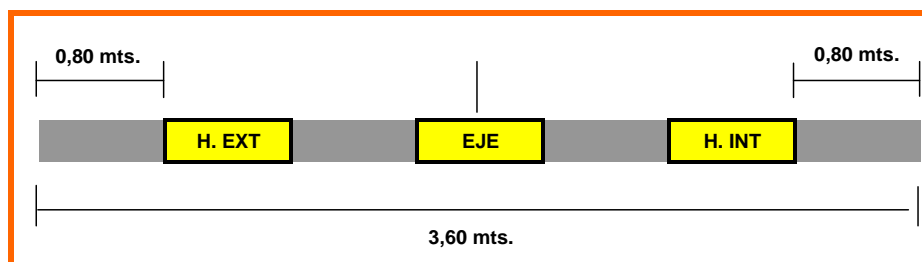
La brigada será la encargada de filtrar su información, así como la de entregarla en el formato asignado a continuación:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	RUGOSIDAD		IRI						
3									
4	PRG INI	PRG FIN	SECCION	LONG (m)	CALZADA	IRI IZO	IRI DER	Perc 95	OBSERVACION
5									
6	100+000	101+000	0	200.00	UC	2.71	2.73	2.73	izq faja 1, derecha faja 2
7			200	200.00	UC	2.73	2.73	2.73	izq faja 1, derecha faja 2
8			400	200.00	UC	2.73	2.74	2.74	izq faja 1, derecha faja 2
9			600	200.00	UC	3.00	2.99	2.99	izq faja 1, derecha faja 2
10			800	200.00	UC	2.87	2.90	2.89	izq faja 1, derecha faja 2
11	101+000	102+000	0	200.00	UC	2.10	2.10	2.10	izq faja 1, derecha faja 2
12			200	200.00	UC	2.11	2.07	2.10	izq faja 1, derecha faja 2
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									

7.1.4 Brigada para la evaluación de microtextura con péndulo inglés

El encargado de esta evaluación deberá estar capacitado en el manejo del péndulo de fricción TRRL Modelo S885 WESSEX SKID TESTER, equipo asignado para esta evaluación de parámetros; previa salida a campo se deberá verificar la validez del certificado de calibración.

Este equipo, permite determinar la medida del coeficiente del deslizamiento en la calzada; se ha estimado realizar 6 ensayos en cada sección, distribuidas en 3 ensayos para cada faja de tránsito de la siguiente manera:



Las huellas se consideran sitios representativos del paso de la rueda del vehículo. Los intervalos entre secciones serán de 500 metros, lo que equivale a decir que su longitud de influencia es también de 500 metros.



Es recomendable marcar los apoyos del soporte del péndulo, de tal manera que las evaluaciones posteriores se realicen exactamente en el

mismo lugar; para que las diferentes lecturas que se obtengan en posteriores evaluaciones, nos den la evolución del deterioro del mismo punto de ensayo.

EL formato de recolección de campo es el que se presenta a continuación:

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (CDR) S885 WESSEX SKID TESTER																			
OBRA: ANCON - HUACHO										EJECUTADO: R. LEON C.									
TRAMO: KM 44+000 - KM 58+000										FECHA: 08/05/2006									
CALZADA: SUR - NORTE																			
PROGRESIVA KM	SENTIDO		CARRIL						RESULTADOS DE ENSAYOS					CRD Promedio	Temperatura Ambiente °C	Temperatura Superficie °C	CRD Corregida (%)	CRD Prom x Xección	
	N-S	S-N	Bord.	Cnt.	Hue.	Bord.	Cnt.	Hue.	1	2	3	4	5						
44+000		X	X							69	69	68	67	68	0,68	22,5	22,0	0,68	0,49
				X						55	55	56	54	55	0,55	22,3	22,1	0,55	
					X					48	47	47	47	46	0,47	22,3	22,2	0,47	
						X				40	40	40	40	40	0,40	24,2	23,4	0,40	
							X			43	43	42	42	41	0,42	23,7	22,9	0,42	
								X		45	45	44	44	44	0,44	22,5	22,6	0,44	
44+500		X	X							60	62	63	62	62	0,62	23,7	38,9	0,60	0,52
				X						59	60	60	60	60	0,60	24,3	37,4	0,58	
					X					49	49	48	48	48	0,48	24,9	38,0	0,47	
						X				50	50	49	50	50	0,50	26,9	38,3	0,48	
							X			55	56	55	54	54	0,55	27,9	36,9	0,53	
								X		48	48	47	47	48	0,48	28,1	36,1	0,46	
45+000		X	X							57	57	58	57	58	0,57	29,4	38,7	0,56	0,50
				X						58	57	57	57	57	0,57	31,5	36,4	0,56	

Equipo para la medición de distancias

- Péndulo de fricción TRRL Modelo S885 WESSEX SKID TESTER
- Pintura de tráfico
- Wincha metálica de 5 mts.
- Brocha, tizas

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo
- 01 chofer
- 01 asistente
- 02 banderilleros

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina
- Logotipo preventivo en la parte trasera del vehiculo
- 14 conos de seguridad

Entrega de Información

La brigada será la encargada de filtrar su información, así como la de entregarla en el formato asignado a continuación:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Fricción			CRD				
3								
4	PRG INI	PRG FIN	SECCION	LONG (m)	CALZADA	CDR prom	Influencia (m)	CRD Sección
5								
6	100+000	101+000	0	200,00	UC	0,49	500	0,49
7			200	200,00	UC			0,49
8			400	200,00	UC	0,50	500	0,50
9			600	200,00	UC			0,43
10			800	200,00	UC			0,43
11	101+000	102+000	0	200,00	UC	0,43	500	0,43
12			200	200,00	UC			0,43
13			400	200,00	UC	0,47	500	0,47
14			600	200,00	UC			0,47
15			800	200,00	UC			-
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								


Para asignar el valor de CRD a cada sección de 200 metros se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

Primero: tomará el valor del ensayo en campo que este mas cercano al centro de la sección.

Segundo: en caso existan valores de campo equidistantes al centro de la sección, se le asignará el valor menor.

7.1.5 Brigada para la evaluación superficial de fallas del pavimento

La brigada para la evaluación superficial de fallas del pavimento llevará estos formatos impresos en hoja bond A4, en el cual llevará en la cabecera el logotipo de la agencia, nombre del operario y fecha.

	EVALUACION DE FISURAS Y GRIETAS FORMATO DE CAMPO	G y M J J C BESCO	Daño Fisura e < 3 mm Grieta e > 3 mm Ahuellamiento Peladuras Corrimiento Depresiones	Clasificación Piel de Cocodrilo = 1E Fisura longitudinal = 2E Fisura transversal = 3S Fisuras en Bloque = 4S Fisuras e < 3mm Grietas							
Obra: Rehabilitación 2007	Tramo:	Fecha:									
Operador:	Calzada:										
PRG INI	PRG FIN	P INI	P FIN	ANCHO EVALUADO (m)	LONG EVALUADA (m)	DAÑO	CLASIFICACION	LONG FISURA (m)	ANCHO DE INFLUENCIA (m)	PROFUNDIDAD (mm)	OBSERVACION

El modelo de formato de recolección de campo se sustenta con el propósito de estandarizar el inventario de fallas entre el Área de Gestión de Pavimentos y el Área de Mantenimiento Periódico; a su vez la de determinar la longitud de fisura por muestreo.

Con motivo de obtener el grado de incidencia, se tomó la decisión de definir un pre seccionamiento, el cual consta de dividir los kilómetros en 5 secciones, cada sección generalmente de 200 metros a excepción de la sección 800 – 1000 de las calzadas UD cuya longitud es variable.

El formato recolecta la información de la siguiente manera:

- *Datos de Cabecera*: se ingresan los datos generales como operador, nombre del sector de evaluación, tipo de calzada y fecha.
- *PRG INI / PRG FIN*: corresponde a la identificación de las secciones, estos indicadores, facilitan el agrupamiento de las patologías de tal manera que se compare los parámetros de condición real del tramo con los límites admisibles en los parámetros indicadores de la condición del pavimento.
- *P INI / P FIN*: corresponde a la progresiva de inicio y fin de la falla clasificada dentro de la sección evaluada, la referenciación servirá de apoyo a los términos de referencia en la ejecución de los trabajos de mantenimiento.
- *ANCHO EVALUADO / LONG EVALUADA*: tiene validez para el metrado de fisuras y grietas; una vez se tenga identificado el inicio y final de las patologías indicadas, se seleccionará un área representativa de muestreo, en el que con ayuda del odómetro manual, se medirá la longitud de las fisuras y grietas existentes.
- *DAÑO*: se registra el tipo de daño que se está inventariando, consta de:

- Fisura $e < 3 \text{ mm}$



- Grieta $e > 3 \text{ mm}$



- Ahuellamiento



- Peladuras



- Corrimiento



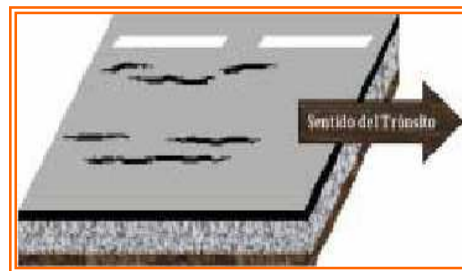
- Depresiones
- Huecos

• *CLASIFICACION: columna que corresponde a la clasificación de las fisuras y grietas; consta de:*

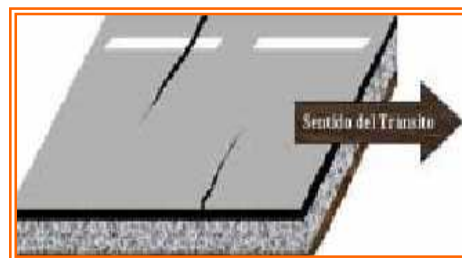
- Piel de Cocodrilo 1E



- Fisura Longitudinal 2E



- Fisura Transversal 3S



- Fisuras en Bloque 4E



La letras E y S clasifican a las fallas en Estructural y Superficial.

- *LONG. FISURA*: viene a ser la longitud acumulada de fisura de la misma clasificación encontrada en el área de muestreo.
- *ANCHO DE INFLUENCIA*: se asigna un ancho de influencia de 0.50 m para todo tipo de fisura o grieta.
- *PROFUNDIDAD*: solo se llena en caso de encontrar ahuellamiento y depresiones, con ayuda de un regla de aluminio de 1.20 m. las mediciones se registran en milímetros.

Equipo para la medición de distancias

- Odómetro digital o DMI
- Odómetro manual

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo
- 01 chofer
- 01 asistente
- 02 banderilleros

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina
- Logotipo preventivo en la parte trasera del vehículo
- 06 conos de seguridad

Entrega de Información

El encargado del manejo del Sistema de Gestión, así como el técnico de campo, serán los responsables de la digitalización de los datos de recolección al formato de Inventario, el primero es el que conoce el

manejo de la hoja de cálculo y el técnico es el que puede describir las observaciones de campo.

7.1.6 Brigada para ensayos de deflectometría

Para el inicio de los trabajos de deflectometría, estos necesariamente partirán una vez sea habilitada la información levantada por preliminares, lo necesario será:

- Cambios de calzada
- Longitud de kilómetros
- Clasificación de fajas

Esta brigada, levantará información con la viga Benkelman. Para los tramos que comprenden de Ancón a Huacho se tienen datos de Deflectómetro de impacto, para lo cual se utiliza otro formato de recolección, su interpretación abarca mayores parámetros por lo que se obtiene mayor y mejor información del estado de la subrasante y del pavimento.

El técnico de campo, bajo supervisión del ingeniero encargado, deberá estar capacitado para el manejo e interpretación de los datos. El llenado del formato de recolección de campo estará a cargo de un ayudante.

Ensayo con Viga Benkelman: El procedimiento aplicado para esta evaluación corresponde a la norma de MTC E-1002 (2000), los intervalos de ensayo son de 20 metros lineales alternos en ambos carriles.

El formato de recolección de campo será el siguiente:

MEDICIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO DEFLEXIONES BENKELMAN											
Obra: REHABILITACIÓN CONCESION RED VIAL 5 - TRAMO ANCON-HUACHO-PATIVILCA											
Concesionaria :											
Supervisión :											
Operador :											
Supervisor :											
Tramo :											
Sector : km 580,000				km 580,000				Fecha : 11/12/2004			
Longitud : 0,00 km											
Presión neumático :		80 psi		Carga en eje posterior :		8200 kg		Carga por Rueda posterior :		2100 kg	
Relación VB :		2:1		Nº Rep EE 8.2 tn:		15 millones		VEHpesado:		1500	
UBICACIÓN		LECTURA DEL DIAL		Superficie de Rodadura		Temperatura		Deflexión Corregida		Radio de Curvatura	
T = Terraplen	PROGRESIVA	L0	L25	Espesor (cm)	Temperatura	Ambiente °C	D0	D25			
C = Corte	Km	1/100mm	1/100mm		°C		1/100mm	1/100mm	(m)		
T	580,000	32	16	10,0	16,0	13,0	33	17	188		

Los datos son entregados en forma digital, luego el encargado del Sistema de Gestión, almacenará la información en bruto para luego ser procesada en caso se requiera. El almacenamiento de la información levantada con Viga Benkelman tiene un carácter especial debido a que el formato de recolección de campo ya está estandarizado desde el inicio del funcionamiento de la Concesión. Posteriormente se hará el procesamiento de la información. Y se entregará tal como se presenta a continuación:

PRG INI	PRG FIN	LONG TRAMO (m)	CALZADA	FAJA	Do (95)	Rc (5)	FAJA	Do (95)	Rc (5)	Do prom	Rc prom
97+600	97+800	200	UC	2	11.76	796.88	3	13.80	859.00	12.78	827.94
97+800	98+000	200	UC	2	19.64	397.73	3	19.64	397.73	19.64	397.73
98+000	98+200	200	UC	2	18.72	293.75	3	18.72	293.75	18.72	293.75
98+200	98+400	200	UC	2	22.80	205.27	3	22.80	205.27	22.80	205.27
98+400	98+600	200	UC	2	19.79	263.13	3	19.79	263.13	19.79	263.13

Página 1

Equipo para la medición

- Viga Benkelman de Doble Brazo
- Camión con Peso Calibrado y Certificado

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo
- 01 chofer
- 02 asistentes
- 02 banderilleros

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina
- 06 conos de seguridad

Entrega de Información

El encargado del manejo del Sistema de Gestión, así como el técnico de campo, serán los responsables de la digitalización de los datos de recolección al formato de Inventario, el primero es el que conoce el manejo de la hoja de cálculo y el técnico es el que puede describir las observaciones de campo.

Ensayo con Deflectómetro de impacto: los intervalos de ensayo son de 100 metros alterno, obteniendo el cuadro siguiente:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
CARRETERA	CALZADA	FAJA	N° DE LECTURA	PROGRESIVA	CARGA	ESFUERZO	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	TEMP AIRE	TEMP PAVIM	FECHA	HORA MEDICION	
001N	UC	2	3	93+000	51.59999847	730	119	101	57	39	30	24	20	21	28	20/09/2004	11:54:00 AM	
001N	UD	2	3	93+000	52.02000046	736	269	224	105	64	45	33	27	18	24	22/09/2004	9:28:00 AM	
001N	UC	3	3	93+100	51.81000137	733	129	110	76	54	42	31	24	21	30	21/09/2004	1:55:00 PM	
001N	UD	3	3	93+100	50.81999969	719	377	305	155	86	57	39	34	21	28	20/09/2004	1:01:00 PM	
001N	UC	2	3	93+200	50.88999939	720	101	83	48	32	24	19	15	21	28	20/09/2004	11:55:00 AM	
001N	UD	2	3	93+200	50.61000061	716	246	188	92	58	42	32	25	18	24	22/09/2004	9:28:00 AM	
001N	UC	3	3	93+300	51.04000092	722	177	144	75	48	35	29	22	21	30	21/09/2004	1:56:00 PM	
001N	UD	3	3	93+300	51.66999817	731	208	170	86	51	36	27	22	21	28	20/09/2004	1:00:00 PM	
001N	UC	2	3	93+400	50.54000092	715	97	84	54	42	32	27	22	21	28	20/09/2004	11:56:00 AM	
001N	UD	2	3	93+400	51.18000031	724	168	139	75	49	35	27	22	18	24	22/09/2004	9:25:00 AM	
001N	UC	3	3	93+500	51.52999878	729	100	85	57	41	30	24	19	21	30	21/09/2004	1:57:00 PM	
001N	UD	3	3	93+500	51.04000092	722	178	145	78	52	36	28	22	21	28	20/09/2004	12:59:00 PM	
001N	UD	2	3	93+600	51.81000137	733	228	165	80	49	34	26	20	18	24	22/09/2004	9:24:00 AM	
001N	UC	2	3	93+600	51.18000031	724	157	125	73	49	37	29	23	21	28	20/09/2004	11:57:00 AM	
001N	UC	3	3	93+700	50.88999939	720	197	169	101	70	51	38	31	21	30	21/09/2004	1:58:00 PM	
001N	UD	3	3	93+700	49.68999863	703	256	216	122	80	55	41	32	21	28	20/09/2004	12:58:00 PM	
001N	UC	2	3	93+800	50.81999969	719	203	177	111	80	59	44	34	21	28	20/09/2004	11:58:00 AM	
001N	UD	2	3	93+800	51.52999878	729	269	243	155	109	77	57	44	18	24	22/09/2004	9:24:00 AM	
001N	UC	3	3	93+900	50.54000092	715	246	205	113	74	52	40	30	21	28	20/09/2004	12:57:00 PM	
001N	UC	3	3	93+900	51.18000031	724	133	115	74	51	39	30	24	21	30	21/09/2004	1:58:00 PM	
001N	UD	2	3	94+000	51.59999847	730	361	302	142	86	57	42	33	18	24	22/09/2004	9:23:00 AM	
001N	UC	2	3	94+000	50.81999969	719	269	218	114	73	53	41	34	21	28	20/09/2004	11:59:00 AM	
001N	UC	3	3	94+100	51.59999847	730	132	121	83	63	49	39	32	21	30	21/09/2004	1:59:00 PM	
001N	UD	3	3	94+100	51.52999878	729	146	124	75	52	41	33	27	21	28	20/09/2004	12:57:00 PM	
001N	UC	2	3	94+200	51.38999939	727	170	150	95	67	48	36	30	21	28	20/09/2004	11:59:00 AM	
001N	UD	2	3	94+200	52.02000046	736	199	193	114	74	54	41	33	18	24	22/09/2004	9:22:00 AM	
001N	UC	3	3	94+300	51.11000061	723	182	161	99	70	53	41	32	21	30	21/09/2004	2:00:00 PM	
001N	UD	3	3	94+300	50.88999939	720	200	162	89	62	46	36	30	21	28	20/09/2004	12:56:00 PM	
001N	UC	2	3	94+400	51.04000092	722	145	126	78	54	41	34	28	21	28	20/09/2004	12:00:00 PM	
001N	UD	2	3	94+400	51.74000168	732	191	168	99	65	46	34	29	18	24	22/09/2004	9:21:00 AM	
001N	UD	3	3	94+500	50.81999969	719	186	157	89	63	48	40	30	21	28	20/09/2004	12:55:00 PM	
001N	UC	3	3	94+500	50.40000153	713	218	192	126	88	64	45	34	21	30	21/09/2004	2:01:00 PM	

Posteriormente se hará el procesamiento de la información. Y se entregará tal como se presenta a continuación:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	DEFLEXIONES CON FWD								
4	PRG INI	PRG FIN	LONG TRAMO (m)	CALZADA	Do (95)	Ac (95)	EWE2 (95)	SN ef	Ref (cm)
5	97+600	97+800	200	UC	11.76	796.88	2.00	2.00	4.00
6	97+800	98+000	200	UC	19.64	397.73	2.30	3.00	3.00
7	98+000	98+200	200	UC	18.72	293.75	5.00	3.45	25.00
8	98+200	98+400	200	UC	22.80	205.27	6.00	5.00	14.40
9	98+400	98+600	200	UC	19.79	263.13	3.70	5.30	11.75

Equipo para la medición

- Deflectómetro de Impacto

Conformación de Brigadas:

- 01 técnico de campo

- 01 chofer

Instrumentos de Seguridad

- 01 circulina

Entrega de Información

El encargado del manejo del Sistema de Gestión, así como el técnico de campo, serán los responsables del ordenamiento de los datos de recolección al formato de Inventario, el primero es el que conoce el manejo de la hoja de cálculo y el técnico es el que puede describir las observaciones de campo.

7.2 ELECCION DE PARAMETROS PARA LA HOMOGENIZACION DE TRAMOS

A nivel de proyecto, se requiere conocer cuales son los parámetros característicos incidentes que representan en sí, el fundamento de realizar una actividad de conservación. No basta con aplicar una superposición de valores de condición funcional, superficial y estructural de manera global (por ejemplo aplicar el método PCI), sino también el de tomar en consideración los parámetros con los que controlan la calidad de la pista en concesión, tales como los límites admisibles incluidos en el contrato de concesión.

Las áreas fisuradas, los ahuellamientos, los huecos así como el desprendimiento, están incluidos como parámetros admisibles dentro del contrato y necesitan un análisis de evolución independiente para cada uno. Sería imposible tratar de incluir un parámetro global como el PCI o

método PAVER para facilitar el seccionamiento. Entonces, serán parámetros independientes los que caracterizarán y diferenciarán a cada tramo homogéneo que conforme la red.

El IRI y el Coeficiente de resistencia al deslizamiento, son parámetros que influyen mucho y por lo tanto, llevan la bandera de ser los parámetros primarios en el seccionamiento.

La capacidad estructural, así como el tipo de pavimento, a la vez de definir tramos homogéneos en función a su resistencia, servirán también para definir las estrategias de Rehabilitación de la vía.

7.2.1 Evaluación de Comportamiento

Durante el 2006, se tomó la decisión de asignar zonas para monitoreo de tramos críticos, el primer objetivo de estos fue el de analizar empíricamente las diversas combinaciones entre actividades previas (sellado de fisuras, bacheos) y actividades de conservación; pero al revisar los informes en campo y al reconocer sus condiciones de pendiente, geometría y altitud; encontrábamos que las secciones con similares condiciones geométricas a las anteriormente mencionadas, guardaban las mismas patologías, no en similar magnitud, pero su presencia en incluso su evolución era notoriamente similar.

Obra: Medición de Parámetros de Serviciabilidad Vial 2006												
TRAMO: Serpentin Pasamayo												
EVALUACION: 400 ML												
Km INICIO	Km FINAL	Calzada	RUGOSIDAD		FRICCIÓN CRD (Promedio)			AHUELLAMIENTO (Prom. mm)		FISURAS (%)	PELADURAS (%)	BACHES (%)
			IRI	PSI	H.EXT	EJE	H.INT	BORDE	EJE			
7+600	8+000	izquierdo	2,32	3,28	0,45	0,49	0,45	3,22	2,89	3,30	-	-
13+000	13+400	derecho	2,47	3,19	0,40	0,44	0,49	2,22	2,22	-	-	-
18+000	18+400	izquierdo	2,36	3,26	0,45	0,58	0,48	3,17	4,78	-	-	-
21+000	21+400	derecho	2,68	3,07	0,44	0,52	0,43	3,06	2,83	18,51	6,07	-
Parametros			< a 3.5	> a 2.8	> a 0.40			< a 12 mm		< a 15 %	< a 10 %	0,00%

Tabla 17: La tabla expone los parámetros contractuales exigibles, el tramo del 18+000 al 18+400 recibió tratamiento de superficie, el cual a la fecha se pulió en las huellas. El coeficiente de fricción, debido a la geometría y el tipo de tránsito, uno de los parámetros más difíciles de mantener.

La concesión actualmente divide su red en 6 sectores: Serpentin, Variante, Chancay – Huacho, Huacho – Primavera, Primavera – Dv. Ambar, y Dv. Ambar – Pativilca. Los tres primeros se caracterizan por tener una estructura de pavimento antigua, asimismo Huacho- Primavera y Dv. Ambar – Pativilca son en pleno proceso de construcción. El sector Primavera - Dv. Ambar es un sector mejorado el 2005.

Esta primera sectorización indicada en el párrafo anterior, proviene de una sectorización a nivel de Red, en otras palabras se tomó en consideración información sobre estructura de pavimento, tránsito y antigüedad.

A continuación la descripción del comportamiento de los sectores anteriormente mencionados.

7.2.1.1 Serpentín

El Serpentín de Pasamayo, con una extensión de 22,659 metros, formó parte de la Panamericana Norte antes de construirse la Variante de Pasamayo. La altura promedio es de 97 msnm, debido a su poca pendiente, el tránsito pesado tiene la preferencia para transitar sobre el.

La exigente geometría con la que fue diseñada implica una evolución considerable en la pérdida de fricción; estos, sumado al problema de inestabilidad de taludes, implica tener que restaurar la carpeta de rodadura en un intervalo de dos años como máximo para las zonas críticas.

Por la experiencia acumulada de la gestión de pavimentos aplicada durante estos años de concesión, se tomó como conclusión restaurar las características de superficie con mezclas de Slurry Seal de tipo III; lo que faltaría definir es hasta cuando esta aplicación podrá ser funcional.

7.2.1.2 Variante

Constituido por una carretera de doble calzada y dos carriles, habilitado en 1992, fue construido para reemplazar al tramo Serpentín, sin embargo, las pendientes pronunciadas causaron molestias en los conductores de transporte pesado que viendo que su consumo de combustible se vio incrementado, optaron por la fuerza reclamar su pase por la vía Serpentín. En la actualidad, este sector esta habilitado para tránsito liviano, aunque circunstancialmente, es utilizada por el transporte

pesado desviado cuando transporte con “carga ancha” circula por la vía Serpentín.

En la Variante ocurren problemas puntuales, debido a que existe inestabilidad de talud; en zonas puntuales aparecen fisuramientos con densidad considerable, asimismo los asentamientos incitan a corregir la rasante con capa nivelante. Estos factores inciden en el incremento del IRI, el que solo es mejorado aplicándose un recapeo.

Como conclusión, estabilizar el problema de la Variante implica un estudio geotécnico, lo más lógico; pero con un seccionamiento y un modelamiento de la evolución del deterioro, podemos definir cuáles zonas y por cuánto tiempo son las que podemos mantener mediante técnicas de restauración de superficie.

7.2.1.3 Chancay - Huacho

Viene a ser la continuación del sector Variante, se extiende desde el Km. 75+000 al Km. 148+000. Por lo mismo de tener una extensión considerable, ha recibido diferentes tratamientos, desde un simple Fog Seal, hasta pruebas de reciclado en frío.

Este sector en la actualidad, recibe problemas desde deficiencia estructural, envejecimiento de la carpeta asfáltica, y acercamiento de la Rugosidad al límite permisible en el contrato. Las zonas con mayor densidad de fisuración en sus huellas y aumento de rugosidad,

comprenden mayormente los Km. 108+000 al 115+000 en ambas calzadas. Otras zonas detectadas sufren una pendiente abrupta, las que generan que el tránsito pesado circulen a bajas velocidades y el ciclo de esfuerzo en el pavimento sea mayor.

Como resumen geométrico, el sector Chancay – Huacho inicia de Sur a Norte con un trazo recto y llano, 30 kilómetros mas adelante su trazo se modifica a Curvada y ondulada; para finalmente terminar los últimos 40 kilómetros en un trazo recto y poco ondulado.

7.2.1.4 Primavera – Dv. Ambar

Sector que recibió un mejoramiento el año 2005. Recibió mejoras en su trazo así como la reconstrucción total de su pavimento, dándole un espesor de carpeta asfáltica de 10 cm.

Su altura es de 37 msnm, con un clima típico de norte chico, los antecedentes antes de su reconstrucción indicaban serias fallas, falta de capacidad estructural, deficiencia de drenaje, fatiga de la carpeta asfáltica, alta densidad de fisuras, tanto fisuras en bloque como piel de cocodrilo. La densidad de fisuramiento llegaba a los 80 a 90% de la superficie.

El año 2006, se detectó (por mas que es una carpeta nueva) la perdida del coeficiente de fricción de manera considerable, debido a una combinación de exudación del bitúmen con un acelerado pulimento en

los agregados.

A futuro formará parte de una autopista, siendo esta la calzada del tránsito de vehículos que circulan de Norte a Sur, por lo que se deberá tomar en cuenta para el modelamiento de este sector separar el IMD por calzadas. Como consecuencia la evolución de los deterioros se verá reducida; aunque, para cuando este lista la calzada contigua, la calzada 2005 ya necesitará mantenimientos más continuos.

La actual manera de diferenciar comportamientos, es a través de su calidad de rodado, su tipo de estructura y la pérdida del coeficiente de fricción.

7.2.1.5 Huacho – Primavera y Dv. Ámbar – Pativilca

Sectores que deberán ser puestos a funcionamiento a partir del 2008, contiene similares características a las presentadas en el sector Primavera – Dv. Ámbar.

Estos sectores tendrán como “know how”, la experiencia de la pérdida de fricción prematura debido a un aceleramiento en el pulimento de los agregados que forman la mezcla asfáltica; con lo que se supone deberán estar sus primeros años con solo mantenimientos de rutina y recibir estándares de conservación a partir de los primeros síntomas de fisuramiento y pérdida de fricción.

7.2.2 Incidencia de los parámetros en función al tránsito pesado

Es muy importante resaltar que produce más daño el paso de un vehículo pesado que 100 vehículos livianos, porque este eje pesado, pone a mayor prueba la capacidad estructural del pavimento, así como la aceleración de las deformaciones permanentes.

En campo, notamos que los vehículos pesados transitan mayormente por el carril derecho, y que, al llegan a una pendiente estos reducen considerablemente su velocidad de circulación. Si comparamos las secciones con estas características de circulación con parámetros controlados por contrato, notamos notoria relación entre la aparición de ahuellamientos y densidades considerables de fisuras, con las pendientes positivas, donde el torque de las ruedas provocan fallas y evoluciones aceleradas.



Fig. 99: Ahuellamiento en una pendiente con 7.00%

La Fig. 99 nos muestra como durante el inicio de la pendiente la

densidad de fisuras es mínima, a partir de la transición hasta la cumbre, la densidad de fisuras es considerable; para finalmente al llegar a pasar la cumbre la densidad de fisuras va reduciéndose, a manera que la velocidad de los vehículos pesados incrementan su velocidad de circulación. Similar comportamiento encontramos en muchas zonas de la Concesión, donde es muy difícil poder restaurar la superficie por más de dos años con solo tratamientos de superficie.

El tránsito pesado afecta también en el coeficiente de fricción; el pulimento es acelerado en zonas donde hay torsión de las ruedas para girar en curvas abruptas y poder mantenerse dentro del carril de circulación.

Entonces se puede concluir que, existen dos factores no beneficiosos producto del tránsito pesado: el tránsito lento de vehículos pesados y la torsión de las ruedas debido a la exigente geometría de algunas zonas.

7.2.3 Parámetros para la Homogenización de Tramos

Gracias a esta información acumulada, la metodología de seccionamiento a utilizar para la presente tesis ha dado un paso importante, porque no solo se tomará en cuenta lo recomendado usualmente para una tramificación (Rugosidad, Fallas, Capacidad Estructural) sino que se ha descubierto que el trazo de la carretera guarda mucha relación con la aparición y evolución de los parámetros que exige el contrato de Concesión.

Como ejemplo, si queremos encontrar zonas donde existe la probabilidad muy cercana de un ahuellamiento y una densidad alta de fisuras, no hay necesidad de comparar ambas, sino relacionar esta combinación de fallas con su condición de geometría; será entonces, una característica muy importante para tomar en cuenta al momento de proceder a tramificar los sectores.

Por mencionar otro ejemplo, no solo comparamos la capacidad estructural, sino que también se ha analizado para la gran parte de las zonas, el estado de fatiga del pavimento mediante el Área de cuenco de Deflexiones obtenido con el FWD (Falling Weight Deflectometer), esta característica es importante porque es un dato clave para la toma de decisión en el caso de un recapeo o un reciclado de pavimento.

Entonces, el procedimiento usado fue el de acumular información característica tal como fallas superficiales, rugosidad, fricción, capacidad estructural, fatiga del pavimento, geometría, pendiente y tipo de superficie; estas son ordenadas de la siguiente manera:

- *Calidad de Rodado*: rugosidad en IRI
- *Resistencia al Deslizamiento*: mediante el CRD del péndulo inglés.
- *Geometría y pendiente*: altitud, curvatura horizontal y pendiente.

- *Capacidad Estructural*: deflexión máxima, Módulo de la subrasante, número estructural y área del cuenco de deflexiones.
- *Estructura del pavimento*: CBR, año y tipo de superficie.
- *Fallas*: desprendimiento, ahuellamiento y fisuras y grietas (con su respectiva clasificación) contabilizada en metros lineales de fisuras y con un ancho efectivo de 0.50 metros.

Debo mencionar que no fue considerado inventariar baches y/o huecos ya que estos son reparados ni bien sean ubicados por el operador encargado del mantenimiento rutinario.

7.3 ORDENAMIENTO, FILTRACION Y VALIDACION DE DATOS

7.3.1 Ordenamiento de datos por medio del formato de inventario calificado

Los formatos de inventario calificado surgen como herramientas de almacenamiento de información tomando como requisito una referenciación estandarizada de cada dato conformante de la información; para nuestro caso, los datos técnicos que ingresan al sistema deberán estar referenciados por sector, calzada, sección unitaria y cadenamiento, de manera que sea de fácil identificación y poder relacionarlos con otros datos con similar referencia.

La bondad de utilizar el sistema de referenciación aplicado a los formatos de inventario calificado, es que fácilmente podemos ubicar un dato solicitado usando su progresiva, y este a la vez nos arroja la sección unitaria de la que forma parte.

FALLAS										
PRG INI	SECC ini	SECC fin	LONG SECCION (m)	CALZADA	P INI	P FIN	LONG (m)	FAJA	DAÑO	CLASIFICACION
0+000	0	200	200	UC	0+000	0+200	200	2	Fisura	1E
			200						Ahuellamiento	
			200						Fisura	
200	400	400	200	UC	0+200	0+400	200	2	Fisura	1E
			200						Fisura	
			200						Fisura	
400	600	600	200	UC	0+420	0+520	100	3	Corrimiento	4E
			200						Fisura	
600	800	800	200	UC	0+600	0+800	200	2	Fisura	4E
			200						Fisura	
			200						Fisura	
800	1000	1000	200	UC	0+800	1+000	200	2	Fisura	4E
			200						Fisura	
			200						Fisura	
1+000	0	200	200	UC	0+800	1+000	200	3	Fisura	4E
			200						CD	

Fig. 100: ejemplo de almacenamiento de información

Tomemos la Fig. 100 como ejemplo: el corrimiento señalado por la flecha está referenciado a diferentes niveles de ubicación, a partir del carril de su ubicación, las progresivas en las que se encuentra, la calzada y su sección unitaria, con toda esta información es mucho más fácil ubicarnos en función al nivel de seccionamiento.

El párrafo indicado por la flecha se puede leer de la siguiente manera: *corrimiento* ubicado en el Sector Serpentin, calzada UC, Km 0+000 y sección 400 – 600, de 100 metros de longitud ubicada en la faja 3, entre las progresivas 0+420 al 0+520. Por lo tanto es fácil decir que se tiene identificado un corrimiento en el primer kilómetro del Sector Serpentin, e inclusive ser más explícitos a medida que se requiera. He aquí la bondad de trabajar con un sistema de referenciación a niveles.

7.3.2 Filtración y Validación de Datos

Son dos actividades que como nombre parecen ser comunes, sin embargo cada una de ellas tiene un distinto procedimiento y un medio de trabajo diferente.

La *filtración* es netamente de gabinete, se basa en herramientas como las hojas de cálculo, específicamente el Excel. La filtración es uno de los puntos por los que se utiliza tantos niveles de referenciación, ya que los niveles de más detalle (explícitos) tienen que estar dentro del intervalo de los niveles de menor detalle.

Tomemos la misma Fig. 100 como ejemplo, por una mala transcripción en la computadora se escribió que el corrimiento se ubicaba entre las progresivas 0+320 al 0+520, al momento de filtrar podemos ubicar la fallas y mejorar su ubicación, sabemos que la falla se encuentra ubicada en la sección unitaria 400 - 600, por lo tanto se debe deducir que la progresiva 0+320 esta fuera del rango y lo corregimos convirtiendo este valor a 0+420; es mucho mas difícil confundirse ingresando una progresiva y una sección unitaria errónea, que un solo dato como la progresiva inicial.

La *validación* es un trabajo de campo, es una visita de reconocimiento a la zona donde ha sido llevada la evaluación técnica para la recolección de datos, aquí se llevan impreso los datos en el formato de inventario

calificado y con ayuda de un equipo para medición de distancias DMI, validamos la data viendo la progresiva de la carretera y comparando lo visto en campo con los datos recolectados.

No considero necesitar una estadística para cuantificar la variación entre los visto en campo y lo recolectado, tampoco con dar demasiada precisión en la exactitud de su referenciación, basta que este cercano a la zona que se indica como progresiva de inicio y fin de falla.

7.4 OBTENCIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS

Primeramente se va haciendo un seccionamiento con la información almacenada en cada una de las hojas del formato de inventario calificado, de modo que una hoja final se da como resumen de todas estas hojas, en la cual se analiza y se va relacionando la trascendencia y la similitud de cada característica. Esta parte es a criterio del ejecutor, y entra a tallar el conocer a fondo el comportamiento de la carretera.

La obtención de tramos homogéneos así como un complemento a la explicación de ordenamiento de los datos para cada hoja del formato de inventario calificado se describe a continuación:

Calidad de Rodado:

1	RUGOSIDAD		IRI		PERFILOMETRO LASER MTC					
2	PRG INI	SECC ini	SECC fin	LONG (m)	CALZADA	IRI IZQ	IRI DER	Perc 95	OBSERVACION	
6	0+000	0	200	200.00	UC	4.46	4.52	4.52		
7		200	400	200.00	UC	2.79	3.82	3.77		
8		400	600	200.00	UC	2.39	2.54	2.53		
9		600	800	200.00	UC	2.50	2.68	2.67		
10		800	1000	200.00	UC	3.77	3.94	3.93		
11	1+000	0	200	200.00	UC	4.96	5.04	5.03		
12		200	400	200.00	CD	3.75	3.59	3.74		
13		400	600	200.00	CD	2.73	2.58	2.72		
14		600	800	200.00	CD	2.56	2.81	2.80		
15		800	1000	200.00	CD	2.94	3.10	3.09		
16	2+000	0	200	200.00	CD	2.79	3.00	2.99		
17		200	400	200.00	CD	2.10	2.60	2.58		
18		400	600	200.00	CD	2.16	2.42	2.40		
19		600	800	200.00	CD	2.19	2.39	2.38		
20		800	1000	200.00	CD	3.63	3.04	3.60		
21	3+000	0	200	200.00	CD	2.40	2.94	2.91		
22		200	400	200.00	CD	2.53	2.88	2.86		
23		400	600	200.00	CD	5.39	5.34	5.39		
24		600	800	200.00	CD	5.49	5.50	5.50		
25		800	1000	200.00	CD	4.24	4.57	4.56		
26	4+000	0	200	200.00	CD	2.17	2.84	2.81		
27		200	400	200.00	CD	2.75	3.00	2.99		
28		400	600	200.00	CD	3.93	3.95	3.95		
29		600	800	200.00	CD	3.09	3.70	3.67		
30		800	1000	200.00	CD	5.65	6.03	6.01		
31	5+000	0	200	200.00	CD	2.81	3.45	3.42		
32		200	400	200.00	CD	2.50	3.35	3.31		
33		400	600	200.00	CD	2.96	3.02	3.02		
34		600	800	200.00	CD	2.58	2.44	2.57		
35		800	1000	200.00	CD	2.54	2.60	2.60		
36	6+000	0	200	200.00	CD	2.67	2.71	2.71		
37		200	400	200.00	CD	2.59	2.45	2.59		
38		400	600	200.00	CD	2.20	2.55	2.53		
39		600	800	200.00	CD	2.45	2.12	2.43		
40		800	1000	200.00	CD	2.56	2.76	2.75		
41	7+000	0	200	200.00	CD	2.90	3.19	3.17		
42		200	400	200.00	CD	2.77	2.86	2.85		
43		400	600	200.00	CD	2.64	2.25	2.62		

Fig. 101: Hoja de la Calidad de Rodado: en ella se muestra su seccionamiento por condición en colores (lado derecho)

La Fig. 101 muestra el ordenamiento de la información; siempre es necesario la referenciación en la recolección de datos. Estos, fueron recolectados con un Perfilómetro láser, que arrojó valores de rugosidad a cada 50 metros; para que estos entren a nuestros formatos, se agrupó los valores por lado en los intervalos de 200 metros, y se obtuvo su percentil 50. Para obtener el valor de la sección, se extrajo el percentil 95 de los valores de sus lados. Elegí el percentil 95 por que creí necesario tomar un valor alto para que al momento de tramificar, sea más fácil agruparse tomando en cuenta el tipo de intervención que necesite; además, porque estos valores altos se pueden relacionar con

depresiones y/o corrimientos, los cuales deberán intervenir durante los mantenimientos periódicos a realizarse en los próximos años.

Resistencia al Deslizamiento:

1	Fricción		CRD				nov-06	
2	PRG ini	SECC ini	SECC fin	LONG (m)	CALZADA	CDR prom	Influencia (m)	CRD Sección
29		600	800	200.00	CD			0.51
30		800	1000	200.00	CD	0.44	500	0.44
31	5+000	0	200	200.00	CD			0.44
32		200	400	200.00	CD			0.50
33		400	600	200.00	CD	0.50	500	0.50
34		600	800	200.00	CD			0.46
35		800	1000	200.00	CD	0.46	500	0.46
36	6+000	0	200	200.00	CD			0.46
37		200	400	200.00	CD			0.46
38		400	600	200.00	CD	0.46	500	0.46
39		600	800	200.00	CD			0.46
40		800	1000	200.00	CD	0.59	500	0.59
41	7+000	0	200	200.00	CD			0.59
42		200	400	200.00	CD			0.58
43		400	600	200.00	CD	0.58	500	0.58
44		600	800	200.00	CD			0.58
45		800	1000	200.00	CD	0.58	500	0.58
46	8+000	0	200	200.00	CD			0.57
47		200	400	200.00	CD			0.57
48		400	600	200.00	CD	0.57	500	0.57
49		600	800	200.00	CD			0.64
50		800	1000	200.00	CD	0.64	500	0.64
51	9+000	0	200	200.00	CD			0.64
52		200	400	200.00	CD			0.55
53		400	600	200.00	CD	0.55	500	0.55
54		600	800	200.00	CD			0.64
55		800	1000	200.00	CD	0.64	500	0.64
56	10+000	0	200	200.00	CD			0.64
57		200	400	200.00	CD			0.54
58		400	600	200.00	CD	0.54	500	0.54
59		600	800	200.00	CD			0.54
60		800	1000	200.00	CD	0.54	500	0.54
61	11+000	0	200	200.00	CD			0.54
62		200	400	200.00	CD			0.47
63		400	600	200.00	CD	0.47	500	0.47
64		600	800	200.00	CD			0.51
65		800	1000	200.00	CD	0.51	500	0.51
66	12+000	0	200	200.00	CD			0.51
67		200	400	200.00	CD			0.59

Fig. 102: Hoja de Resistencia al deslizamiento: como los datos son tomados cada 500 metros, es necesario comparar las secciones con su geometría y pendiente para poder asignar su influencia a cada sección celular de 200 metros. Nótese su Seccionamiento por homogeneidad de características.

La Fig. 102 muestra la hoja de inventario del parámetro de resistencia al deslizamiento, las 5 primeras columnas son similares a todos los formatos de inventario calificado debido a que el sistema de referenciación ya está estandarizado.

Seguidamente a esto aparece la columna de recolección de CRD prom, el cual representa el promedio de la medida de fricción de ambos carriles de la sección de calzada evaluada (Fig. 103). Cada sección evaluada

esta distanciada en intervalos de 500 metros, esto por restricciones presupuestales.

Para asignar un valor representativo de fricción a cada sección unitaria de 200 metros, es necesario relacionarlo con el formato de geometría y pendiente, ya que es con este formato con el guarda más relación, una vez se haya definido el valor de fricción para cada sección unitaria, seccionamos por homogeneidad en función a su condición de seguridad.

Para modelar la evolución de deterioro, recomiendo agrupar los valores cercanos o pasantes del umbral, ya que de esta manera se asegura una intervención en el momento apropiado; ya que el modelo predice el deterioro por año, y en campo puede pasar el umbral de un mes a otro.

Obra: Medición de Parámetros de Serviciabilidad Vial 2006 TRAMO II : Km 161+500-184+500 EVALUACION: 500 ML Fecha: Noviembre- 06							
RESUMEN PARCIAL							
Progresiva (Km)	Carril	FRICCIÓN (CRD) (Promedio)			Observaciones	PERCENTIL 30 CARRIL	PERCENTIL 50 CALZADA
		H.EXT	EJE	H.INT			
161+500	1	0.50	0.53	0.45		0.50	0.49
	2	0.44	0.55	0.47			
162+000	1	0.45	0.49	0.44		0.45	0.43
	2	0.42	0.54	0.42			
162+500	1	0.44	0.49	0.45	ancho calzada 7,3 m	0.45	0.45
	2	0.40	0.48	0.45			
163+000	1	0.44	0.49	0.44		0.44	0.42
	2	0.38	0.42	0.40			
163+500	1	0.40	0.54	0.44		0.44	0.45
	2	0.39	0.49	0.45			
164+000	1	0.50	0.58	0.44		0.50	0.50
	2	0.44	0.51	0.50			
164+500	1	0.49	0.50	0.43		0.49	0.46
	2	0.42	0.44	0.43			
165+000	1	0.42	0.48	0.42		0.42	0.40
	2	0.39	0.40	0.38			
165+500	1	0.43	0.44	0.39		0.43	0.45
	2	0.47	0.47	0.47			
166+000	1	0.47	0.50	0.48		0.48	0.49

Fig. 103: Data procesada a partir del Formato de Recolección de Coeficiente de Fricción, nótese los percentiles con los que se maneja los valores representativos de los carriles y la sección.

Geometría y pendiente:

GEOMETRIA Y PENDIENTE								
PRG INI	SECC ini	SECC fin	LONG (m)	CALZAD A	PENDIENTE	ALTITUD	C.Horiz	
0+000	0	200	200.00	UC	+	59	D	
	200	400	200.00	UC	+	61	DI	
	400	600	200.00	UC	+	64	I	
	600	800	200.00	UC	-	58	D	
	800	1000	200.00	UC		50		
1+000	0	200	200.00	UC	+	49	D	
	200	400	200.00	CD	+	53	I	
	400	600	200.00	CD	+	56	I	
	600	800	200.00	CD		55		
	800	1000	200.00	CD		54		
2+000	0	200	200.00	CD		53		
	200	400	200.00	CD		51		
	400	600	200.00	CD		50		
	600	800	200.00	CD		48		
	800	1000	200.00	CD		46		
3+000	0	200	200.00	CD	-	45		
	200	400	200.00	CD		44		
	400	600	200.00	CD		45		
	600	800	200.00	CD		45		
	800	1000	200.00	CD		44		
4+000	0	200	200.00	CD		43		
	200	400	200.00	CD		42	I	
	400	600	200.00	CD	+	46		
	600	800	200.00	CD	+	44		
	800	1000	200.00	CD	+	49		
5+000	0	200	200.00	CD	+	52	I	
	200	400	200.00	CD	+	59	I	
	400	600	200.00	CD	+	62	D	
	600	800	200.00	CD		64		
	800	1000	200.00	CD		67		
6+000	0	200	200.00	CD	+	71		
	200	400	200.00	CD	+	74		
	400	600	200.00	CD	+	75		
	600	800	200.00	CD	+	78		

Fig. 104: Hoja de geometría y pendiente: debido a que el HDM-4 no necesita datos cuantificados para simular la evolución de los deterioros, su recolección es en forma cualitativa.

La Fig. 104 muestra la hoja de inventario de geometría y pendiente, debido a que el software del HDM-4 no requiere datos explícitos para modelar la evolución del deterioro del pavimento, no es necesario cuantificar sus valores; lo que si se cuantifica, es el valor promedio de la altura con respecto al nivel del mar.

El completar esta hoja es una referencia importante para la tramificación, porque como se menciona anteriormente, guarda relación con la aparición de patologías; el signo “+” en la columna “pendiente” representa mayor probabilidad de encontrar ahuellamientos y fisuras del tipo estructural.

Por otro lado, encontrar las letras “D” e “I” representan curvas hacia la derecha e izquierda respectivamente, y encontrarlas cercanas se relacionan con el efecto de torsión, lo que provoca mayor aumento en la pérdida de fricción.

Capacidad Estructural:

2	DEFLEXIONES CON FVD										jun-04
3						mm	Mpa				
4	PRG INI	SECC ini	SECC fin	LONG	CALZADA	Do (95)	Esg (5)	SN (5)	Area (5)		
26	4-000	0	200	200.00	CD	320	275	5.4	594		
27		200	400	200.00	CD	245	276	6.1	590		
28		400	600	200.00	CD	254	191	6.1	594		
29		600	800	200.00	CD	298	246	5.0	562		
30		800	1000	200.00	CD	295	288	5.7	586		
31	5-000	0	200	200.00	CD	522	210	5.8	593		
32		200	400	200.00	CD	406	280	4.4	539		
33		400	600	200.00	CD	503	227	6.2	578		
34		600	800	200.00	CD	501	101	6.6	665		
35		800	1000	200.00	CD	364	111	6.8	671		
36	6-000	0	200	200.00	CD	441	95	6.7	650		
37		200	400	200.00	CD	484	95	6.6	646		
38		400	600	200.00	CD	476	102	4.7	598		
39		600	800	200.00	CD	653	100	3.8	561		
40		800	1000	200.00	CD	647	68	5.2	618		
41	7-000	0	200	200.00	CD	443	86	5.9	629		
42		200	400	200.00	CD	389	86	5.9	628		
43		400	600	200.00	CD	641	91	5.0	605		
44		600	800	200.00	CD	429	144	5.4	598		
45		800	1000	200.00	CD	375	131	5.5	601		
46	8-000	0	200	200.00	CD	442	108	5.4	589		
47		200	400	200.00	CD	428	107	5.4	597		
48		400	600	200.00	CD	520	99	5.4	599		
49		600	800	200.00	CD	519	114	4.6	599		
50		800	1000	200.00	CD	518	105	4.6	600		
51	9-000	0	200	200.00	CD	556	94	4.5	578		
52		200	400	200.00	CD	585	77	4.7	605		
53		400	600	200.00	CD	518	81	4.9	611		
54		600	800	200.00	CD	485	73	5.4	618		
55		800	1000	200.00	CD	645	100	4.9	615		
56	10-000	0	200	200.00	CD	651	76	4.3	586		
57		200	400	200.00	CD	581	71	4.3	585		
58		400	600	200.00	CD	562	80	4.4	602		
59		600	800	200.00	CD	650	86	4.4	601		
60		800	1000	200.00	CD	657	86	5	580		
61	11-000	0	200	200.00	CD	603	118	5	563		
62		200	400	200.00	CD	576	117	4	536		
63		400	600	200.00	CD	648	110	3	553		
64		600	800	200.00	CD	646	99	3	552		

Fig. 105: Hoja de Capacidad Estructural: mediante el Excel se grafica la información, y paralelamente se compara para realizar el seccionamiento

En la Fig. 105 se observa el almacenamiento de la información a través de la hoja de inventario de la condición estructural. Como siempre la estandarización le dedica las 5 primeras columnas al sistema de referenciación, las columnas siguientes son dedicadas a los datos almacenados que pasan por procesos previos antes de ser

inventariados. Debo indicar que esta hoja esta estructurada para recibir información que ha sido levantada con deflectómetro de impacto (FWD).

La columna “Do” almacena lo referente a la deflexión maxima, que guarda relación con la respuesta del pavimento y la subrasante a una carga establecida; para almacenarla esta debe estar normalizada a 700 kPa, que es el dato que solicita el HDM-4 para asignarle su Número Estructural.

Las 2 columnas siguientes, corresponden a datos de Módulo de Subrasante y Número Estructural efectivo; los cuales son obtenidos al someter la información obtenida con el FWD al proceso de retroanálisis o backcalculation mediante el método YONAPAVE, descrito en el capítulo de Evaluación Técnica. El Módulo de la Subrasante proporciona información sobre la condición resiliente del mismo; es importante conocer su condición, por que en caso se requiera analizar es más fácil conocer la profundidad de la intervención. El Número Estructural es un factor que representa la capacidad de un pavimento para soportar las solicitaciones del tráfico, tiene unidades de longitud y se expresa en mm. Por lo tanto nos puede ayudar a relacionar las secciones unitarias que requieren o no un refuerzo estructural.

La última columna corresponde al Área de cuenco de deflexiones, el cual es obtenido a partir de una ecuación que relaciona las 4 primeras deflexiones cercanas a la aplicación de la carga, con el estado de fatiga

del pavimento; entonces, se puede relacionar las secciones unitarias que tienen una resiliencia similar en el módulo dinámico, y ver por ejemplo, si en factible aplicar un simple recapeo o un reciclado dependiendo del estado del pavimento.

Todas estas columnas son relacionadas y comparadas mediante un gráfico Progresiva vs. características, esa es la mejor manera de obtener una tramificación de esta hoja. La tramificación es denotada a colores en el lado derecho de la Fig. 105.

Estructura del pavimento:

PRG INI	SECC ini	SECC fin	LONG (m)	CALZADA	CBR	TIPO DE SUPERFICIE	AÑO	ESPESOR C.A. (cm)
0+000	0	200	200.00	UC	37	SS TIII	2007	
	200	400	200.00	UC	38	SS TIII	2007	
	400	600	200.00	UC	24	SS TIII	2007	
	600	800	200.00	UC	24	SS TIII	2007	
	800	1000	200.00	UC	14	SS TIII	2007	
1+000	0	200	200.00	UC	17	SS TIII	2007	
	200	400	200.00	CD	30			
	400	600	200.00	CD	30			
	600	800	200.00	CD	25			
	800	1000	200.00	CD	17			
2+000	0	200	200.00	CD	31			
	200	400	200.00	CD	25			
	400	600	200.00	CD	18			
	600	800	200.00	CD	17			
	800	1000	200.00	CD	19			
3+000	0	200	200.00	CD	18			
	200	400	200.00	CD	26			
	400	600	200.00	CD	26			
	600	800	200.00	CD	23			
	800	1000	200.00	CD	20			
4+000	0	200	200.00	CD	27			
	200	400	200.00	CD	27			
	400	600	200.00	CD	18			
	600	800	200.00	CD	24			
	800	1000	200.00	CD	28	SS TIII	2007	
5+000	0	200	200.00	CD	20	SS TIII	2007	
	200	400	200.00	CD	27	SS TIII	2007	
	400	600	200.00	CD	22	SS TIII	2007	
	600	800	200.00	CD	10	SS TIII	2007	
	800	1000	200.00	CD	11	SS TIII	2007	
6+000	0	200	200.00	CD	9	SS TIII	2007	
	200	400	200.00	CD	9	SS TIII	2007	
	400	600	200.00	CD	10	SS TIII	2007	
	600	800	200.00	CD	10	SS TIII	2007	

Fig. 106: Hoja de Estructura del pavimento: se almacenan datos concernientes al tipo de superficie, conformación de capas, espesores de carpetas y detalles de la subrasante.

La hoja de Estructura del Pavimento contiene información histórica, en el

que se almacena el tipo de superficie de rodado y el año de colocación de la misma; adicionalmente se inserta una columna con datos de CBR, el cual guarda cierta relación de si estamos analizando un corte o relleno. La tramificación de esta hoja se denota a colores en el lado derecho.

Fallas:

solo abollamiento, corrimiento y depresiones												
PRG INI	SECC ini	SECC fin	LONG SECCION (m)	CALZADA	DAÑO	CLASIFICACION	LONG TOTAL FISURA (m)	% FISURA ESTRUCTURAL EN TRAMO	% FISURAS TERMICAS EN TRAMO	PROFUNDIDAD (mm)	AREA DANADA HOMOGENEA	
5	0+000	0	200	200	UC	Fisura	395.00	100		40		
7			200			Abollamiento	395.00	100				
8		200	400	200	UC	Fisura	395.00	100				
10			200			Fisura	395.00	100				
11		400	600	200	UC	Corrimiento						
12		600	800	200	UC	Fisura	395.00	100			23.31	
13			200			Fisura	395.00	100				
14		800	1000	200	UC	Fisura	395.00	100				
15			200			Fisura	395.00	100				
16	1+000	0	200	200	UC							
17		200	400	200	CD							
18		400	600	200	CD							
19		600	800	200	CD							
20		800	1000	200	CD							
21	2+000	0	200	200	CD							
22		200	400	200	CD							
23		400	600	200	CD							
24		600	800	200	CD							
25		800	1000	200	CD							
26	3+000	0	200	200	CD							
27		200	400	200	CD							
28		400	600	200	CD							
29		600	800	200	CD							
30			200			Fisura	420.00	100				
31		800	1000	200	CD	Fisura	420.00	100				
32			200			Fisura	420.00	100				
33	4+000	0	200	200	CD	Fisura	420.00	100				
34			200			Fisura	420.00	100				
35		200	400	200	CD	Fisura	420.00	100				
36			200			Fisura	420.00	100				
37		400	600	200	CD							
38		600	800	200	CD							
39		800	1000	200	CD							
40	5+000	0	200	200	CD	Fisura	808.00	100			15.92	
41			200			Fisura	808.00	100				
42		200	400	200	CD	Fisura	433.73	100				
43			200			Fisura	433.73	100				
44			200			Abollamiento				4		
45		400	600	200	CD	Fisura	628.92	100				
46			200			Fisura	628.92	100				
47		600	800	200	CD	Fisura	628.92	100				
48			200			Fisura	628.92	100				
49			200			Abollamiento				10		
50		800	1000	200	CD	Corrimiento						
51	6+000	0	200	200	CD							
52		200	400	200	CD							
53		400	600	200	CD	Fisura	718.87	100			19.26	

Fig. 107: Hoja de Fallas; en esta se resume toda la información de patologías superficiales.

La Fig. 107 muestra la hoja de fallas, aquí se recibe y procesa, toda la información relacionada con la condición del estado superficial observado levantado en las evaluaciones técnicas. La información de campo viene referenciada y es digitada en unas columnas que estandarizan el dimensionamiento de su área evaluada, longitud de fisuras encontradas y las relacionan y convierten a porcentaje y longitud de fisuras de la sección unitaria analizada.

Aquí se almacena información referente a fisuras, ahuellamiento, peladuras o desprendimiento y huecos. Adicionalmente se almacena información sobre depresiones y corrimientos, que son vitales al momento de elaborar el plan de mantenimiento periódico de la vía.

Esta hoja se tramifica tomando como único parámetro el porcentaje de área fisurada, porque el ahuellamiento ya ha sido tomado en cuenta al momento de realizar la tramificación en la hoja de Geometría y Pendiente. Los huecos y peladuras son ingresados como datos adicionales en los tramos homogéneos de la Red.

La última columna de la Fig. 107 referente a fallas, muestra al porcentaje del área dañada de la Sección Homogénea.

Resumen:

Debo indicar que los datos recolectados no pueden ser procesados si es que no se realiza actividades que reconozcan su calidad y veracidad, posteriormente a esto se puede proceder lo explicado anteriormente.

En esta hoja se comparan las tramificaciones previas provenientes de las hojas de inventario calificado; a criterio se comienza a agrupar las secciones unitarias que tienen relación inter característica.

RESUMEN PARA SECCIONAMIENTO											SECCIONES HOMOGÉNEAS
PRG INI	SECC INI	SECC FIN	LONG (m)	CALZADA	FWD	IRI	Friccion	GEOMETRIA	FALLAS	ESTRUCTURA	
0+000	0	200	200.00	UC	216	4.52					
	200	400	200.00	UC	224	3.77					
	400	600	200.00	UC	257	2.53					
	600	800	200.00	UC	331	2.67					S01
	800	1000	200.00	UC	335	3.93					
1+000	0	200	200.00	UC	276	5.03					
	200	400	200.00	CD	235	3.74					
	400	600	200.00	CD	365	2.72					
	600	800	200.00	CD	286	2.80					
	800	1000	200.00	CD	436	3.09					
2+000	0	200	200.00	CD	258	2.99					S02
	200	400	200.00	CD	258	2.58					
	400	600	200.00	CD	274	2.40					
	600	800	200.00	CD	251	2.38					
	800	1000	200.00	CD	287	3.60					
3+000	0	200	200.00	CD	401	2.31					
	200	400	200.00	CD	393	2.86	0.51				
	400	600	200.00	CD	319	5.39	0.51				
	600	800	200.00	CD	263	5.50	0.51				
	800	1000	200.00	CD	263	4.56	0.51				
4+000	0	200	200.00	CD	320	2.81	0.51				
	200	400	200.00	CD	245	2.99	0.51				
	400	600	200.00	CD	254	3.95	0.51				S03
	600	800	200.00	CD	296	3.67	0.51				
	800	1000	200.00	CD	295	6.01	0.44				
5+000	0	200	200.00	CD	522	3.42	0.44				
	200	400	200.00	CD	406	3.31	0.50				
	400	600	200.00	CD	503	3.02	0.50				
	600	800	200.00	CD	501	2.57	0.46				
	800	1000	200.00	CD	364	2.60	0.46				
6+000	0	200	200.00	CD	441	2.71	0.46				S04
	200	400	200.00	CD	484	2.59	0.46				
	400	600	200.00	CD	476	2.53	0.46				
	600	800	200.00	CD	653	2.43	0.46				
	800	1000	200.00	CD	447	2.75	0.59				
7+000	0	200	200.00	CD	443	3.17	0.59				
	200	400	200.00	CD	389	2.85	0.58				
	400	600	200.00	CD	641	2.62	0.58				S05
	600	800	200.00	CD	429	2.48	0.58				
	800	1000	200.00	CD	375	2.66	0.58				

Fig. 108: Hoja Resumen para obtención de Tramos Homogéneos.

La Fig. 108 es un ejemplo de la hoja Resumen para la obtención de tramos homogéneos del Sector Serpentin, las 5 primeras columnas asignadas al sistema de referenciación, posteriormente los datos de capacidad estructural, calidad de rodado, resistencia al deslizamiento, geometría y pendiente, fallas y estructura del pavimento. Los colores utilizados para la tramificación por hoja han sido elegidos aleatoriamente, salvo la hoja de fallas al que se le asigna colores en función al nivel de severidad.

Los puntos claves para la tramificación del Sector Serpentin fueron tomar mucha consideración a los valores de fricción y geometría debido a la alta torsión y la necesidad de ser intervenidos y; las fallas superficiales, porque debido a su alta densidad se está considerando reciclar los tramos que se ven afectados. Considerando esto ultimo, es necesario

reconocer y agrupar estas zonas para que al momento de ingresar los datos de estado superficial al HDM-4, el porcentaje de área fisurada no sea reducida por incluir al tramo secciones unitarias con mínimo daño por fisuras.

Esta tramificación culmina con una visita a campo, donde se define si es que puede haber alguna modificación.

El Sistema de Gestión de Pavimentos en su fase de conformación de tramos aplicada a la Concesión, dio como resultado la conformación de 148 tramos homogéneos, bajo los cuales se inicia el análisis técnico económico para la administración del pavimento de la Red Vial Nro. 5 para los próximos 21 años o mientras el Concesionario sea responsable de la operación.

Los Tramos se muestran a continuación:

PLOTEAR LOS TRAMOS HOMOGENEOS

7.5 EXPORTACION DE DATOS AL HDM-4

7.5.1 Análisis de la Problemática Presentada

A diferencia de otros sistemas de gestión de pavimentos que se manejan en el medio, este se caracteriza por no tener apoyo computarizado que se especialice en apoyar en el manejo y procesamiento de la información, así como en su exportación de datos a la base del HDM-4; es decir que a diferencia de otros sistemas de gestión existentes en el medio (por mencionar Route2000 de Perú, VIZIR de Costa Rica, SGP-DNER de Brasil), todo ingreso de conformación de datos al HDM-4 es completamente manual, lo que hace mas tedioso la elaboración de Red de carreteras del programa. Es por eso que la exigencia del nivel de decisión al momento de obtener las secciones homogéneas es enorme, ya que volver a componer nuevas secciones equivaldría a realizar de nuevo la operación; y considerando que en el proceso de tramificación se obtuvo 148 tramos homogéneos solo en los sectores en actual funcionamiento.

Asimismo, las actividades de conservación tienen umbrales de intervención que van más allá de condicionar la rugosidad, sino que se maneja también en mantener dentro del estándar la densidad de fisuras y mantener por encima de lo permisible el coeficiente de resistencia al deslizamiento.

7.5.2 Ingreso de Datos al Programa

Una vez obtenidos los tramos homogéneos, se procedió a procesar los datos característicos con los que serán modelados en el HDM-4. Para el caso de los datos de estado y deflexión, se procedió de la siguiente manera:

En la Calidad de Rodado, los valores de IRI de percentil 95 de cada sección unitaria que conforma la sección homogénea evaluada, fueron agrupados y se le aplicó un percentil 50 para la obtención del valor. De esta forma, el valor de IRI es representativo para la sección homogénea analizada.

Perc 95	OBSERVACION	IRI Carac
4.52		
3.77		
2.53		=PERCENTIL(H6:H11;0.5)
2.67		
3.93		
5.03		
3.74		

cia (m)	CRD Sección	CRD Carac
	0.51	
	0.51	
	0.51	
	0.51	
00	0.51	=PERCENTIL(H22:H33;0.1)
	0.51	
00	0.51	
	0.44	
	0.44	
00	0.50	
	0.50	
	0.46	

En la resistencia al deslizamiento, los valores de CRD de cada sección unitaria que conforma la sección homogénea evaluada, fueron agrupados y se les asignó un percentil 10 para

la obtención del valor, se toma este umbral de manera que se pueda asegurar una intervención a tiempo.

Para la capacidad estructural, los valores de deflexión máxima "Do" normalizados a

mm	Mpa	mm	mm
Do (95)	Esg (5)	SN (5)	Area (5)
216	379	4.9	534
224	390	4.9	524
257	250	13.1	723
331	241	13.2	724
335	145	5.2	581
276	180	5.2	580
235	306	5.6	564

700 kPa de cada sección unitaria que conforma la sección homogénea

evaluada, fueron agrupados y se obtuvo el valor a partir de un percentil 95, de esta forma se esta tomando en cuenta los valores mas críticos de la capacidad estructural.

$$\% \text{Area} = \left[\frac{\text{Long. fisuras} \times 0.50}{\text{Area total de seccion}} \right]$$
 Para las fallas superficiales, los valores de área fisurada son obtenidos a partir del cociente de la longitud total de fisuras por un ancho efectivo de 0.50 metros sobre el área total de la sección homogénea, esto porcentualmente expresado.

Con respecto a la estructura del pavimento, el tipo de superficie será la que tenga mayor extensión dentro de la sección homogénea evaluada.

7.5.2.1 Ingreso de Datos a Redes de Carreteras

Para ingresar al programa HDM-4 se debe dar doble clic al acceso directo mostrado en la pantalla, este mostrará el cuadro del lado derecho, es recomendable elegir la opción “ir espacio de trabajo HDM-4” que envía directamente a una base de datos existente.



Esta opción nos envía al Espacio de Trabajo que utiliza una Base de Datos existente, en esta pantalla se pueden observar y manejar los módulos que manejan la información para las modelaciones.

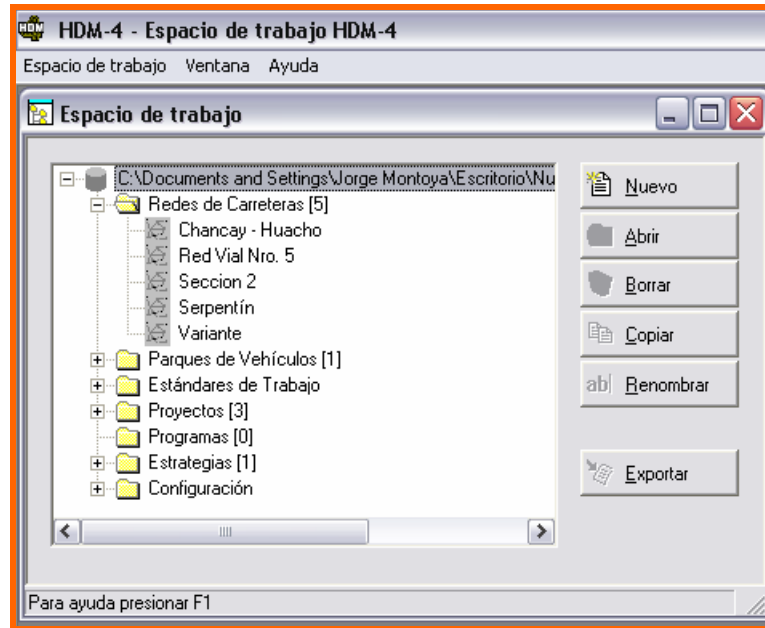


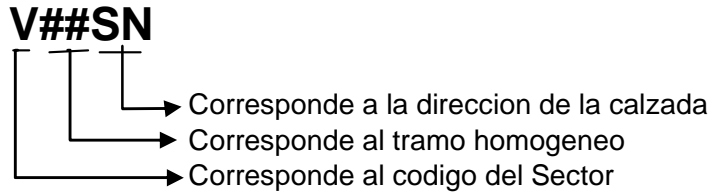
Fig. 109: Pantalla Principal del HDM-4

Finalizado los últimos procesos anteriormente descritos, se empieza por ingresar los datos de Red de Carreteras, la que estará dividida por sectores: Serpentín, Variante, Chancay – Huacho y Primavera - Dv.Ambar.

Cada una de estas será ingresada como una Red independiente; el motivo es sencillo, simple manejo de los tramos y fácil acceso a las mismas. A continuación la codificación ID asignada a cada sector:

- Serpentín **S##**
- Variante UC **V##SN**
- Variante UD **V##NS**
- Chancay – Huacho UC **CH##SN**
- Chancay – Huacho UD **CH##NS**
- Primavera – Dv. Ambar **PA##**

La explicación a continuación:



En el código de calzada se le asignará SN (Norte – Sur) a la calzada UC y NS a la calzada NS (Sur – Norte) para facilitar la adaptación de la codificación del Sistema a la antigua nomenclatura utilizada por el operador de la Concesión.

Lo anterior encabeza los datos generales solicitados para cada tramo dentro de la ventana de definición.

Tramo: 0+000 - 1+200

Definición | Geometría | Firme | Estado

Nombre del tramo: 0+000 - 1+200

ID del tramo: S01

Nombre ruta: Serpentin

ID de ruta: 001C

Tipo de vel/cap: Carretera de Dos Carriles

Modelo de tráfico: Flujo interurbano

Zona climática: Norte chico

Clase carretera: Primaria

Tipo c.rodadura: Bituminosa

Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 1.2 km

Ancho de calzada: 5.63 m

Ancho de arcén: 0 m

Número de carriles: 2

Trafico

Motorizado: 2246 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2007

Sentido: Sentido ascendente

Detalles... | Aceptar | Cancelar

Nombre del tramo

Fig. 110: Ventana de ingreso de datos de Definición, Red de Carreteras

La Fig. 110 muestra la manera de cómo se van ingresando los datos para los tramos, este corresponde al primer tramo del Sector Serpentin; esta ventana de definición puede ser llenada con identificadores a criterio del usuario. Es por eso que asigno como nombre del tramo a las

progresivas de inicio y fin, el ID de tramo que ya fue explicado anteriormente.

El tipo de rodadura y el tipo de firme solicitan la clasificación del pavimento, así como su configuración de sus capas conformantes, como este tramo no había recibido ningún tratamiento de superficie desde su construcción, se le asigna la configuración indicada.

A la derecha ingresan los datos de dimensionamiento, la longitud del tramo en kilómetros, el ancho de calzada que en este caso es un promedio debido a que en una longitud de 125 metros tiene un carril adicional, que a mi criterio, el ser de tan pequeña longitud no altera el tipo de capacidad. Se ingresan también datos de IMD y año estadístico, además del sentido del tráfico.

Respecto a tipo de velocidad y capacidad, modelo de tráfico y clase de carretera, son utilizados con la configuración por defecto a excepción de la zona climática, la que fue clasificada en dos tipos: norte chico y zona yunga. No se debe olvidar que en los modelos de deterioro, el clima afecta considerablemente su evolución.

Una vez acabado el ingreso de datos en la definición, se procede a llenar los datos en la ventana de geometría (Fig. 111), donde los valores de pendiente y curvatura horizontal, son asignados por defecto, ya que no tiene trascendencia en el análisis del deterioro.

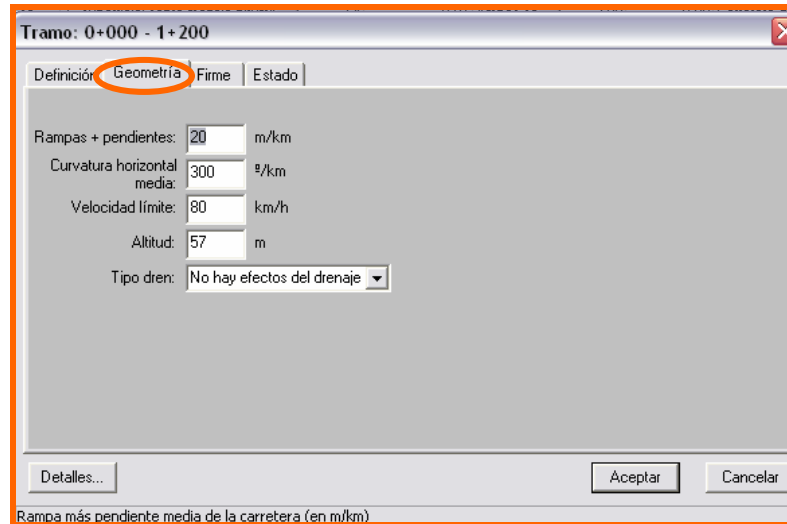


Fig. 111: Ventana de Geometría

La ventana del firme (Fig. 112) es la caracterización de la estructura del pavimento, en ella se ingresa datos sobre el tipo de superficie de rodadura y su espesor, año de intervenciones y resistencia estructural a partir del número estructural; en este sector se obtuvo el SNP (número estructural calculado) a partir de la deflexión FWD representativa del tramo. Debe tenerse cuidado al momento de comparar la suficiencia estructural dada por el SNP del HDM-4 con el SN del tramo dentro del archivo SIC, en caso no sea del todo satisfactorio, se puede ingresar el Número Estructural de percentil 95 mas el CBR de percentil 95 del tramo.

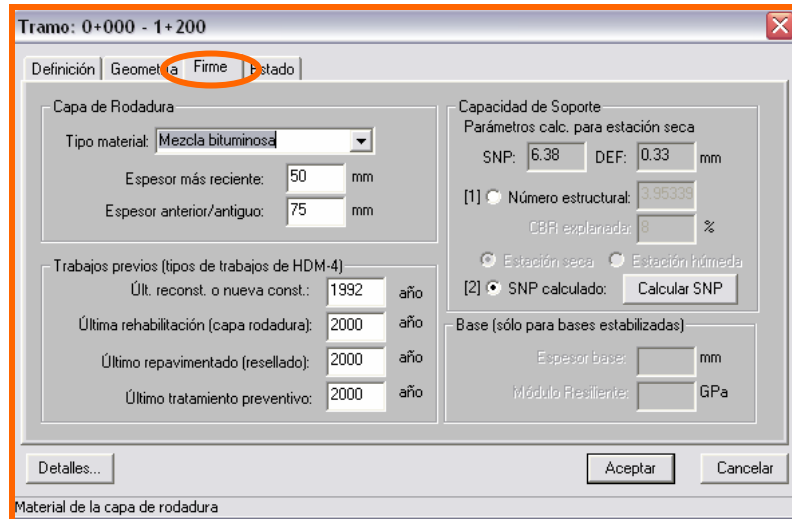


Fig. 112: Ventana de caracterización del firme

La ventana del estado del Tramo muestra la condición de la superficie del pavimento en función a parámetros, los que en nuestro caso se obtienen a partir de la evaluación técnica inventariada en los SIC. La Fig. 113 muestra el estado del tramo S01 en el año 2006, un IRI que sobrepasa el admisible, un área fisurada de 23.37% y ahuellamientos de 40 mm. A simple vista podemos deducir que el tramo necesita una próxima intervención con correcciones de forma.

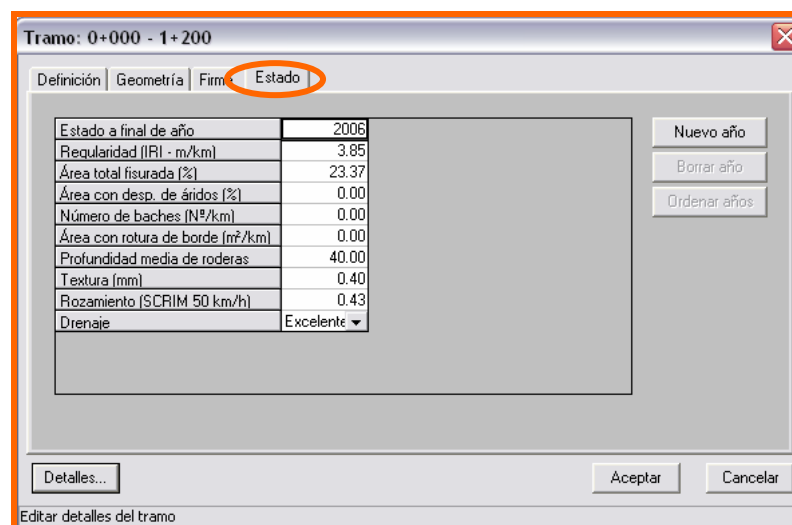
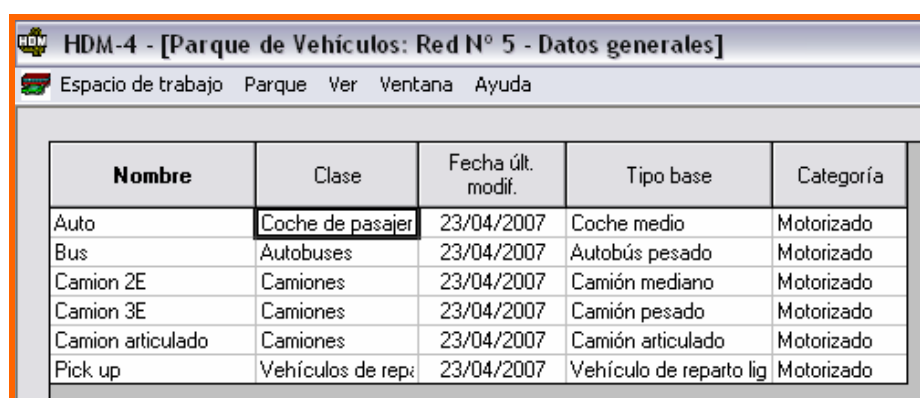


Fig. 113: Ventana del Estado del Firme

7.5.2.2 Ingreso de Datos a Parque de Vehículos

Para la concesión, el parque de vehículos fue dividido en 6 tipos: Autos, Pick up, Bus, Camión 2E, Camión 3E y Camión Articulado³⁸, y las características de los vehículos son los que se especifican dentro del “Informe de Parámetros requeridos y opcionales para uso de HDM” de la dirección de inversiones del MTC, con la excepción de que los costos unitarios económicos han sido actualizados.



The screenshot shows a software window titled "HDM-4 - [Parque de Vehículos: Red N° 5 - Datos generales]". Below the title bar is a menu bar with options: "Espacio de trabajo", "Parque", "Ver", "Ventana", and "Ayuda". The main content area contains a table with the following data:

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
Auto	Coche de pasajero	23/04/2007	Coche medio	Motorizado
Bus	Autobuses	23/04/2007	Autobús pesado	Motorizado
Camion 2E	Camiones	23/04/2007	Camión mediano	Motorizado
Camion 3E	Camiones	23/04/2007	Camión pesado	Motorizado
Camion articulado	Camiones	23/04/2007	Camión articulado	Motorizado
Pick up	Vehículos de repa	23/04/2007	Vehículo de reparto lig	Motorizado

Fig. 114: Parque de Vehículos

7.5.2.3 Ingreso de Datos para Estándares de Trabajo

Los estándares de trabajo se dividen en estándares de conservación y estándares de mejora. Todos estos, aplicados para el manejo del HDM-4 se conforman de la siguiente relación: Bacheo, Sellado de Fisuras, Fog Seal, Chip Seal 3/8”, Slurry Seal Tipo II, Slurry Seal tipo III, Cape Seal, Recapeo de 4cm, y Reciclado de Pavimento con Betún Espumado; este último esta dentro de los estándares de mejora.

³⁸ Estudio de Tráfico para la Red Vial 5: Louis Berger Inc.

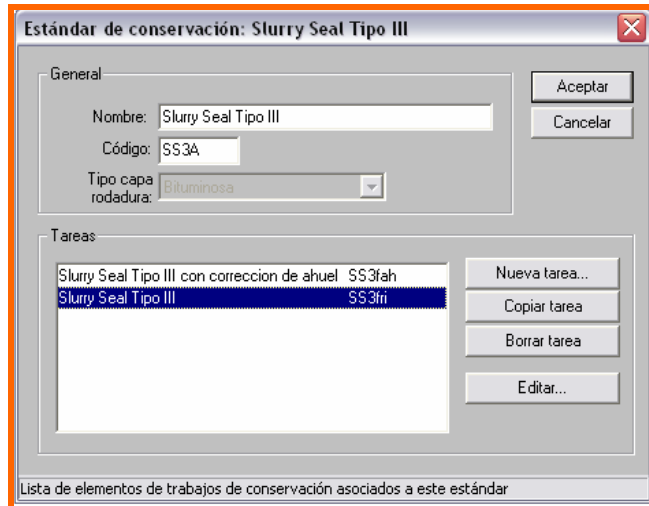
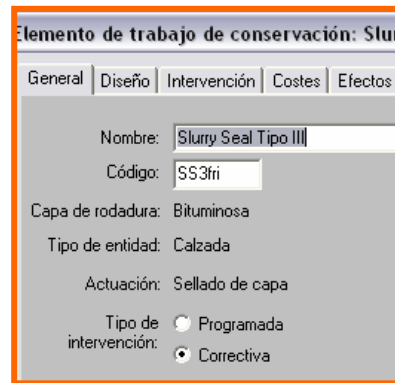


Fig. 115: Estándar de conservación, las tareas son los trabajos de conservación elaboradas en función al criterio de intervención

Cada técnica es elaborada como un estándar, dentro de ella se preparan elementos de trabajo en función al criterio de intervención. La Fig. 115 muestra como el estándar de conservación Slurry tipo III tiene una lista de trabajos de conservación, las que son agrupadas por tener el mismo diseño, pero enmarcadas como tareas debido a que sus criterios de intervención son diferentes. La primera tarea tiene como criterios de intervención el corregir el ahuellamiento cuando este pase el umbral de intervención; y la segunda tarea, el activarse cuando la fricción sobrepase el umbral establecido.

La tarea es llenada de la siguiente manera:

Primeramente llenar los datos generales, codificar el tipo de tarea e indicar el tipo de intervención, si se tiene predefinido un calendario de actuaciones será programada, en caso contrario, será correctiva y por lo tanto, se deberá asignar

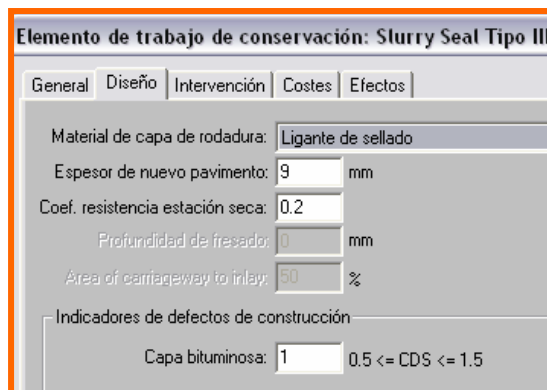


Elemento de trabajo de conservación: Slurry Seal Tipo III

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: Slurry Seal Tipo III
Código: SS3fri
Capa de rodadura: Bituminosa
Tipo de entidad: Calzada
Actuación: Sellado de capa
Tipo de intervención: Programada Correctiva

critérios y umbrales de intervención con los que se indica cuando la tarea debe intervenir.



Elemento de trabajo de conservación: Slurry Seal Tipo III

General | Diseño | Intervención | Costes | Efectos

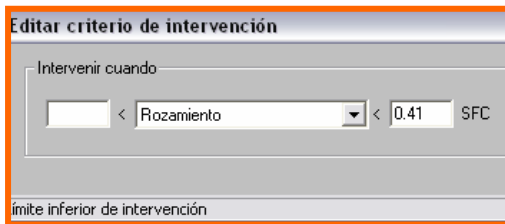
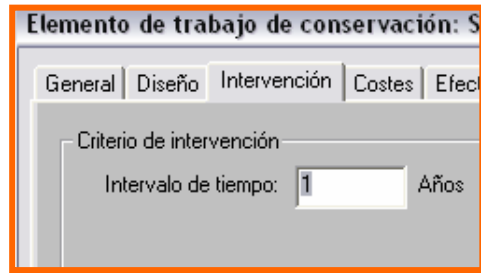
Material de capa de rodadura: Ligante de sellado
Espesor de nuevo pavimento: 9 mm
Coef. resistencia estación seca: 0.2
Profundidad de fresado: 0 mm
Area of carriageway to inlay: 50 %
Indicadores de defectos de construcción
Capa bituminosa: 1 0.5 <= CDS <= 1.5

En la ventana de diseño se especifica las características de la estructura del trabajo de conservación; en el material de capa de rodadura se especifica que tipo de tratamiento de

superficie se va a aplicar en caso se ejecute, su espesor en mm, en el caso de ser un tratamiento de superficie el coeficiente de resistencia deberá ser 0.2 y 0.4 en caso de ser un refuerzo con mezcla asfáltica. El CDS en nuestro caso siempre está en el rango de 1, ya que nuestro propio sistema de control de calidad regula los procedimientos y la calidad de los materiales.

La ventana de criterios de intervención, necesita ser configurada tanto para intervención programa como correctiva.

Cuando es programada, se debe indicar los intervalos de tiempo en los que se debe ejecutar la intervención e inicia a partir del primer año de análisis.

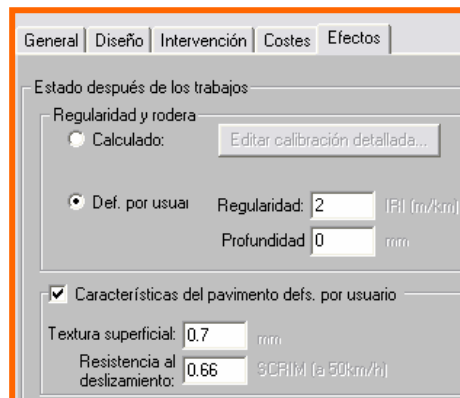


Cuando es correctiva, se deberá elegir el criterio en función a que parámetro se necesita indicar la intervención, además de asignarle

un umbral de intervención, por el cual el programa reconoce cuando se necesita ejecutar la intervención.

En la ventana de costes, se indican los costos económicos y financieros por unidad de trabajo. Asimismo, se deberá indicar los costos de los trabajos previos. El costo económico es el 79% del costo financiero siendo este último el necesario para realizar la evaluación económica. Para el caso de un Slurry Seal tipo III, el costo financiero asciende a S/. 2.45 y el costo económico S/. 1.94.

La ventana de efectos de trabajo es en donde se configura el estado y las características de la superficie de rodadura después de haberse



intervenido. El Slurry tipo III nos da un valor de fricción inicial de 0.66< para el caso de la Rugosidad, puede dejarse por defecto o aplicar una calibración. Puede también definirse por el usuario, pero no es recomendable ya que es un valor estándar que puede complicar las intervenciones al correr el programa.

7.5.2.4 Ingreso de Datos a Configuración

Configuración está compuesta por Modelos de Tráfico, Tipo de Velocidad Capacidad y Zona Climática; los dos primeros pueden utilizarse por defecto. Caso contrario con la Zona climática, la cual debe adecuarse a las condiciones reales; porque como fué explicado anteriormente, influyen mucho en los modelos de evolución de deterioro.

La zona climática fue dividida en dos: el Norte Chico y la Zona Yunga, la variación en las dos consta prioritariamente de la temperatura media y el rango, así como la precipitación. Las Fig. 116 y 117 muestran las dos zonas climáticas.

Clima		
Nombre:	Norte chico	
Clasificación por humedad:	Árido	
Índice de humedad:	-40	
Duración estación seca:	0.75	(como parte de un año)
Precipitación media mensual:	0.7	mm
Clasificación temperatura:	Subtropical - cálido	
Temperatura media:	19	°C
Rango temperaturas medias:	10	°C
Días T>32°C:	70	días
Índice de helada:	0	°C-día
Porcentaje de tiempo que se conduce		
Carreteras cubiertas nieve:	0	0<=PCTDS<=100
Carreteras cubiertas agua:	10	0<=PCTDW<=100

Fig. 116: Condiciones Ambientales del Clima Norte Chico

Clima		
Nombre:	Zona Yunga	
Clasificación por humedad:	Semiárido	
Índice de humedad:	-40	
Duración estación seca:	0.75	(como parte de un año)
Precipitación media mensual:	50	mm
Clasificación temperatura:	Subtropical - frío	
Temperatura media:	17	°C
Rango temperaturas medias:	20	°C
Días T>32°C:	60	días
Índice de helada:	0	°C-día
Porcentaje de tiempo que se conduce		
Carreteras cubiertas nieve:	0	0<=PCTDS<=100
Carreteras cubiertas agua:	25	0<=PCTDW<=100

Fig. 117: Condiciones Ambientales del Clima Zona Yunga

CAPITULO VIII

METODOLOGIA, CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS PARA EL MANEJO DE LA HERRAMIENTA HDM-4 DENTRO DE LA GESTION DE PAVIMENTOS PARA LA RED VIAL Nro. 5 ANCON – HUACHO - PATIVILCA

Durante los tres primeros años de concesión, se han venido realizando mediciones de parámetros anuales para sostener técnicamente que el estándar de la carretera se mantiene dentro de los límites permisibles; sin embargo, estos datos no satisfacen completamente la necesidad de ser datos confiables que sean representativos para cada Tramo Homogéneo obtenido. Es por eso que solo se toman datos referenciales de baja representatividad de los Informes de Medición de Parámetros y del Informes de Monitoreo los que ayuden a dar el primer paso en la similitud del comportamiento real de los tramos con los que serán modelados mediante la herramienta HDM-4.

En el presente capítulo se resume el procedimiento a seguir para realizar el primer análisis técnico económico, y llevar la fase de retroalimentación para la optimización de la veracidad de los resultados; es necesario que

se entienda que esta metodología puede modificarse en función de mejoras en equipos de medición o en nuevas alternativas de solución, pero será recomendable hacerlo cuando se tenga información suficiente como para llevar el análisis a Nivel de Proyecto.

Como comentamos en capítulos anteriores, realizar un Análisis de Proyecto implica mucha inversión en el tema de investigación y seguimiento al comportamiento de la carretera y la respuesta de las actividades de intervención con respecto al deterioro, por lo que en tema personal se recomienda continuar con los métodos implementados de evaluación técnica durante mínimo unos 5 años desde iniciada la faceta de Obtención de Tramos.

8.1 BASE DE DATOS

Una vez completado el ingreso de datos para formar la base de datos para el modelo de la red vial de la Concesión, es necesario indicar que los estándares de trabajo son los únicos datos que pueden ser modificarse o adicionarse para optimizar las actividades a través de los años. Entonces la base de datos quedará planteada de la siguiente manera:

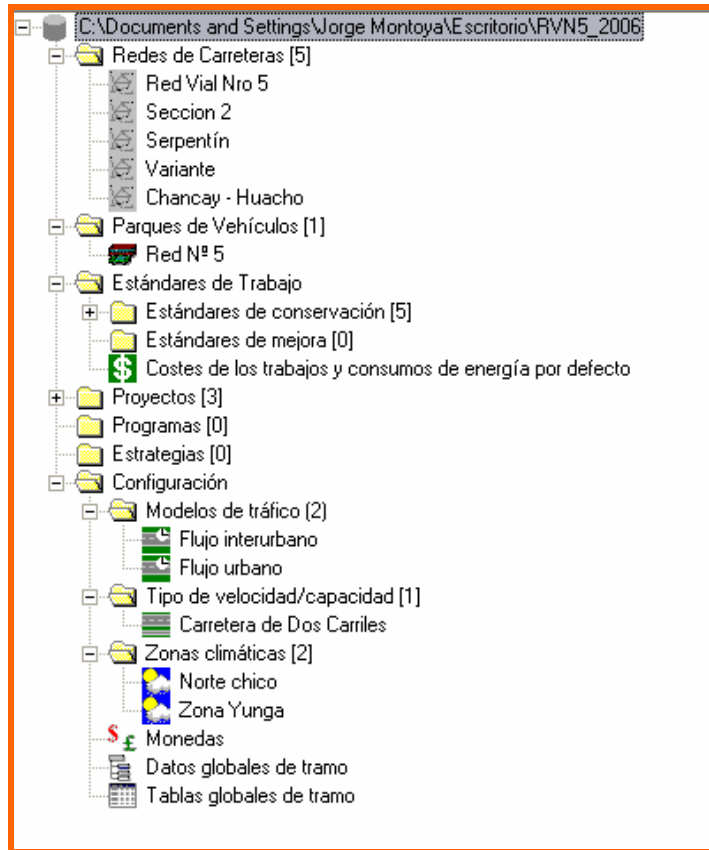


Fig. 118: Pantalla Principal de la Base de Datos de la Red Vial Nro. 5 en el HDM-4

En la Fig. 118 se nota como la Red de Carreteras está organizada por Sectores y una Red General de Tramos Homogéneos, la que será usada para generar análisis globales como el de Estrategia o Programa, para organizar los gastos anuales.

Para decir que la Base de Datos está completa, es necesario que esté definido lo siguiente:

- Una Red de Carreteras (los tramos agrupados en forma general ó agrupados en por sectores y en forma general)

- El Parque de Vehículos, el cual tendrá definido cada vehículo característico utilizado en el estudio de tráfico de donde se tiene el conteo de vehículos.
- Estándares de Conservación en forma general, para poder generar los análisis iniciales.
- Los Modelos de tráfico, los que vienen por defecto o que pueden ser copiados de los modelos impuestos por el MTC.
- Tipo de Velocidad – Capacidad, el que viene por defecto en el Programa.
- Zonas Climáticas, las que deben ser definidas con mucho cuidado, a que el Factor Clima es determinante al momento de analizar la evolución del deterioro.
- Monedas, queda definido el Dólar como moneda para la cuantificación de las actividades o costos.

8.2 CALIBRACION DE TRAMOS

Para optimizar el plan de mantenimiento de la Red Vial, es necesario además de ingresar los datos solicitados para la conformación de cada tramo en la Red de Carreteras, adecuar el modelo al comportamiento real del tramo, es entonces que se requiere de muchos estudios para lo denominado “Calibración de Tramos”. Para calibrar los modelos de deterioro de los tramos, es necesario ajustar ciertos coeficientes que inducen a incrementar o reducir la severidad del parámetro modelado, de esta manera se puede tener más precisión de cuando los parámetros

están llegando a los límites admisibles y así poder realizar alguna intervención para asegurar la calidad y la seguridad al Usuario.

Para la calibración de los parámetros es necesario conocer el estado de al menos dos años (no debe haber intervención alguna) para los deterioros de Rugosidad, Textura y Resistencia al Deslizamiento y la evaluación de tres años sin intervención, para las fisuras, ahuellamientos, desprendimientos, Rotura de Borde y Baches.

Es necesario indicar que se puede realizar de dos maneras:

- La primera, es correr un análisis de Proyecto con solo mantenimiento rutinario, modelándolo desde con el año del dato de estado mas antiguo; de esta manera conoceremos la diferencia entre el estado real y el modelado. Con esta información uno va directamente a corregir los factores de calibración. Este procedimiento es secuencial, es decir que uno va alterando el factor de calibración hasta que el modelamiento tenga una similitud al real.
- La segunda manera, es modelar la ecuación del deterioro mediante el Excel, es un nivel avanzado ya que se deberá conocer las ecuaciones de deterioro y tener a la mano cada dato solicitado o influyente en dicha ecuación.

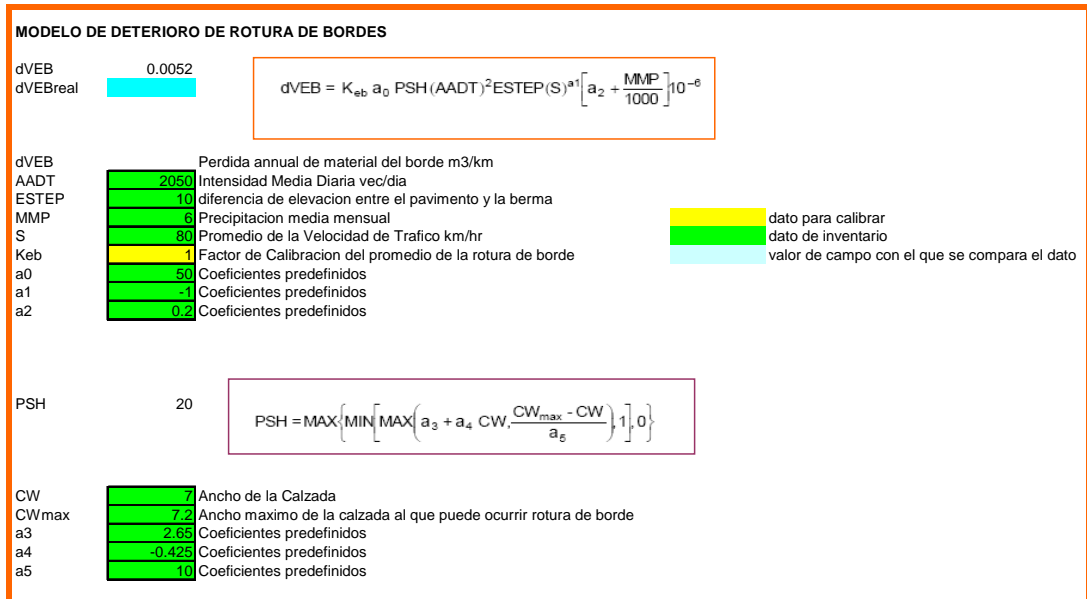


Fig. 119: Ejemplo en Modelo en Excel para calibración de Rotura de Bordes en Tramo.

Este segundo método es demasiado complicado, ya que el Usuario debe elaborar esta herramienta, además se debe tener en cuenta que existe una relación entre al evolución de los deterioros; entonces para poder calibrar algunos parámetros, es necesario haber calibrado las participantes en esta ecuación.

Se utilizó la primera manera para calibrar los tramos de la Red Vial. Un ejemplo es el siguiente:

- Se tuvo que calibrar la Rugosidad del Tramo Km 0+000 al Km 1+200 del Serpentin. Este tramo por de geometría exigente, induce a severos corrimientos los que provocan que la evolución del IRI sea considerable.

- Por archivos se tiene información que este tramo no tuvo intervención desde el 2004, teniendo como referencia un IRI de 3.30 este mismo año, en el 2006 se tuvo un IRI de 3.85.
- Al modelar con el software HDM-4 el IRI desde el 2004 se tiene que el año 2006 se obtiene un IRI de 3.66.
- Entonces, alteramos el Coeficiente de Progresión de Regularidad ubicada en la ventana de defectos estructurales, la modificamos de 1 a 1.16 y obtuvimos en el modelamiento un IRI de 3.81, muy similar al IRI real del tramo.

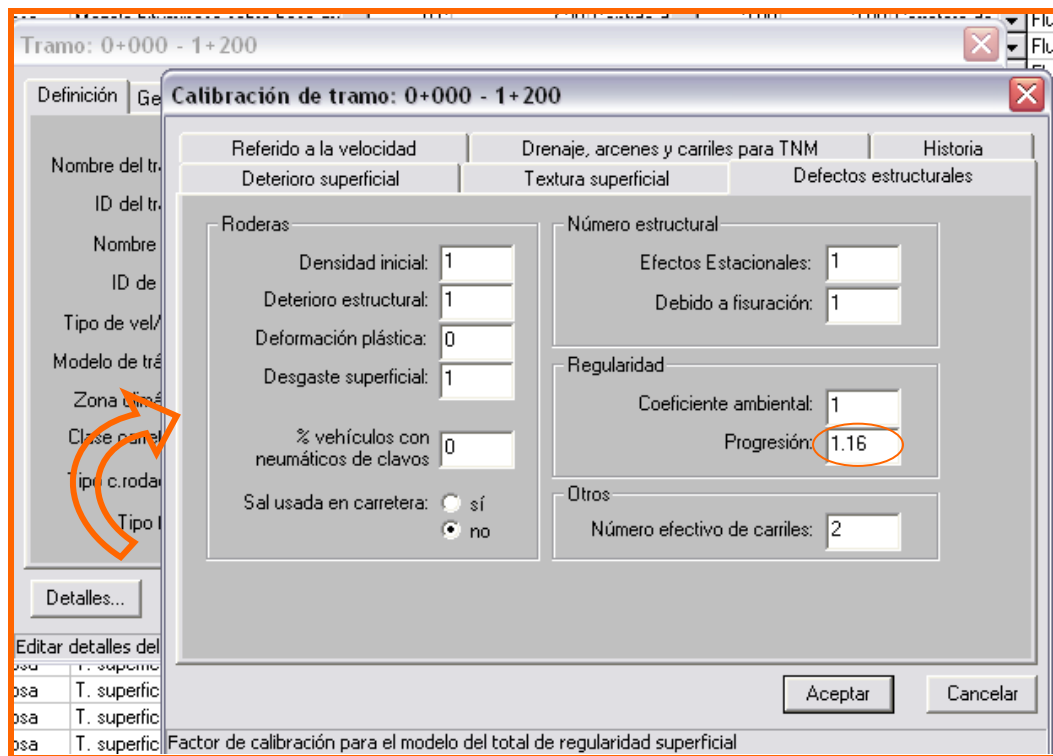


Fig. 120: Procedimiento utilizado para la Calibración de la Rugosidad en el Tramo Km 0+000 al Km 1+200

En este ejemplo, debo indicar que primeramente se realizó la calibración de las fisuras y ahuellamientos, que son dos factores incidentes en el Calculo de la Evolución de la Rugosidad, posteriormente se trata de dejar

el indicador calculado por debajo del real, debido a que en la progresión a futuro, se vuelve más sensible.

Para la calibración de tramos, se debe tener en cuenta que solo se deben calibrar los parámetros de los que se cuenta con información y con la secuencia lógica de cómo el HDM-4 modela a los parámetros.

Se debe tener muy en cuenta el calibrar la Evolución del deterioro del coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, ya que el modelo asume por defecto que las actividades de mantenimiento tienen muy buena resistencia al pulimento.

En nuestro caso, al parecer el material pétreo que utilizamos para elaborar nuestras actividades de mantenimiento, tienen un pulimento acelerado que induce a la reducción rápida de la resistencia al deslizamiento. Como no nos es factible traer agregados de canteras lejanas, es necesario adecuar también este problema al modelo. Entonces, la lógica nos indica que mas conveniente utilizar la alternativa que nos de mejor resistencia al deslizamiento inicial. Los tramos que han sido calibrados por este parámetro se caracterizan por tener una geometría exigente, con mucha torsión.

8.3 CALIBRACION DE EFECTOS DE TRABAJO

Cuando existe una intervención o se realiza un trabajo, existe un efecto inmediato sobre las características de la carretera.

Por ejemplo, después de un tratamiento de superficie, la fisuración empieza en cero; o la Rugosidad después de un refuerzo se ajusta a 2 m/km IRI. Asimismo, los efectos a largo plazo de la operación de los trabajos inciden en la tasa de deterioro de la carretera.

Entonces, ambos efectos inmediato y a largo plazo se combinan para determinar los beneficios de la realización de diferentes estrategias de trabajos indiferentes momentos a través del periodo analizado.

Si dentro de nuestra evaluación indicamos que por defecto un tratamiento monocapa ajusta cualquier superficie a 2.0 m/Km (en la vida real sabemos que un tratamiento monocapa no corrige rugosidad), este modificará el momento de intervenir la carretera por IRI, indicando en el modelo que la rugosidad está bien, pero en la vida real el IRI ha evolucionado desde su etapa antes de intervención.

Para evitar estos inconvenientes, fue necesario realizar una calibración de los efectos de trabajo, los que se realizan por defecto, al momento de configurar los estándares de conservación. El panel para la calibración de estos efectos, es mostrado en la figura siguiente:

Fig. 121: Cuadro de Calibración de Efectos de Trabajo

Tanto la textura como la Resistencia al Deslizamiento, son características que son propias de la misma actividad, las cuales no dependen de la condición anterior del tramo; tan solo se indica el valor de los parámetros con el que inicia el tramo la post intervención.

Para el caso de la Rugosidad y Rodera (Ahuellamiento), se pueden intervenir de dos maneras:

- La primera puede ser definida por el Usuario, pero esta opción solo conviene utilizar cuando se esta reconstruyendo el pavimento, o también, para el fresado y colocación de una nueva superficie de rodadura, en estas dos actividades, se pierden las características de la superficie de rodadura y por lo tanto no reflejan alguna incidencia en la

nueva apariencia. Para esto es necesario conocer estadística de los parámetros reales arrojados con estas técnicas.

- La segunda es calculada, tanto por defecto como ajustada por el Usuario. Estos dos parámetros pueden ser calculados, porque su apariencia está en función del nivel de reflejo de las características antes de la intervención y dependen del espesor de la nueva capa de rodadura.

Para el cálculo definido por el usuario, es necesario entrar a calibrar los parámetros que inciden en su estado post intervención.

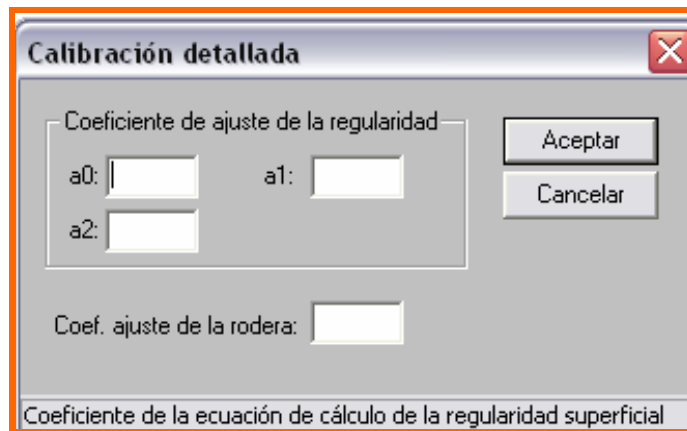


Fig. 122: Panel para la calibración por medio del ajuste de coeficientes

La manera de modificar estos coeficientes es mediante la modelación de las educaciones respectivas por medio del Excel. Este ajuste se realizó para los tratamientos de superficie y los recapeos, porque las técnicas de construcción que utilizamos en las intervenciones, nos permiten obtener una mejora en la rugosidad.

Como ejemplo, un recapeo de 4.0 cm, lo ejecutamos utilizando una maquina pavimentadora con patines deslizantes, técnica que nos permite corregir un IRI de 3.4 a 1.95 m/km. Por defecto el HDM-4 calcula una recuperación de IRI de 3.40 a 2.56m/km, entonces fue necesario ajustar los coeficientes. Habilitamos en Excel las ecuaciones del modelo de cálculo de efectos de trabajo, con la cual realizamos el cálculo.

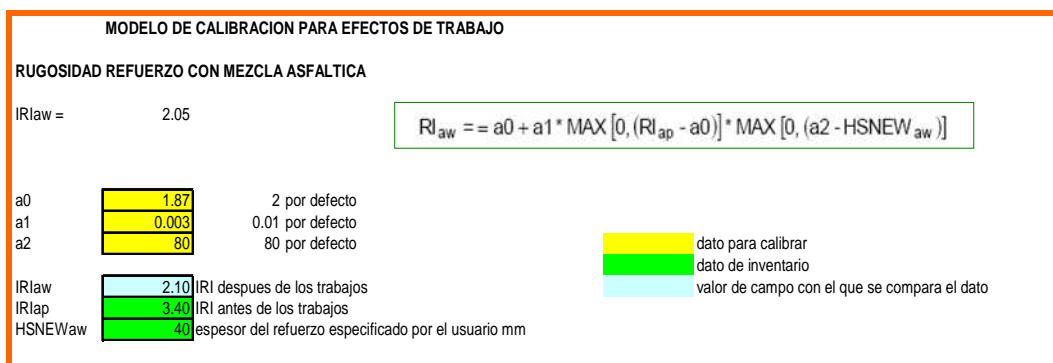


Fig. 123: Modelo en Excel para la calibración de Rugosidad de un Recapeo de 4.0 cm

La Fig. anterior nos muestra como ajustando los coeficientes a0 y a1 obtenemos ajustar los efectos de trabajo en la rugosidad.

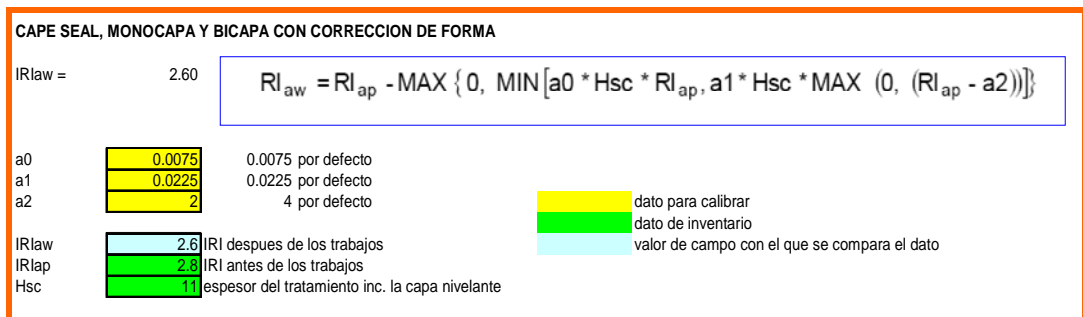


Fig. 124: Modelo en Excel para la calibración de Rugosidad de un Slurry Seal Tipo III

En el caso del Slurry Seal Tipo III, este modificó un IRI de 2.80 a 2.6 m/km, cuando por defecto no modifica el IRI por debajo de 4.0 m/km., entonces, ajustamos el coeficiente a2 de 4 a 2 para ajustar el IRI final.

En la Fig. anterior, se muestra la ecuación del ajuste de Rugosidad por efecto de trabajo, debe notarse que esta ecuación depende mucho del espesor de la aplicación.

8.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Corresponde a las Actividades de Mantenimiento, y comprende todo tipo de alternativa factiblemente utilizable, las cuales son mencionadas a continuación:

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	TIPO DE INTERVENCION
Mantenimiento Rutinario	Miscelaneos
Bacheo superficial en Calzada	Bacheo
Sellado de Fisuras con Emulsion	Sellado de Fisuras
Fog Seal	Fog Seal
Chip Seal de 3/8	Trat. Superficial Monocapa
Slurry Seal Tipo II	Ligante de Sellado
Slurry Seal Tipo III	Sellado de Capa
Cape Seal	Sellado de Capa
Recapeo de 4.0 cm	Refuerzo Delgado
Reciclado de Pavimento	Reconstruccion del Firme

El cuadro anterior muestra el tipo de intervención como será modelado cada actividad de trabajo en el HDM-4. En el HDM-4 el ligante de sellado corresponde a un Slurry Seal y el Sellado de Capa a un Cape Seal. Pero en el caso del Slurry Seal Tipo III, al tener este agregados de casi 3/8", su comportamiento se asemeja al de un Sellado de Capa. Cabe

recordar que el Cape Seal es la combinación de un Slurry Seal sobre un tratamiento superficial monocapa.

El criterio de intervención depende mucho del Usuario, para el modelamiento de la Red hemos tomado en cuenta los siguientes criterios:

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	CRITERIO DE INTERVENCION	RESTRICCION
Mantenimiento Rutinario	Programado Anualmente	-
Bacheo Superficial en Calzada	Programado Anualmente	-
Sellado de Fisuras con Emulsion	0 < Area Fisurada < 8%	-
Fog Seal	3 < Desprendimiento < 5%	-
Chip Seal 3/8	Area Fisurada > 7%; CRD < 0,41	Solo en Rectas con IRI < 2.4
Slurry Seal Tipo II	Area Fisurada > 8%	Solo en Variante
Slurry Seal Tipo III	Area Fisurada > 10%; CRD < 0.41	IRI < 3.1
Cape Seal	10 < Area Fisurada < 15% y CRD < 0.41	IRI < 3.4
Recapeo de 4.0 cm	3.4 < IRI	-
Reciclado de Pavimento	10 < Area Fisurada y CRD < 0.41 y IRI > 3.3	Se debe analizar el Snreq

El cuadro anteriormente visto, es el sustento de la preparación en la base de datos las actividades de Conservación, este fue elaborado tomando en cuenta la lógica de intervención de los mantenimientos pasados, y los límites admisibles en los parámetros indicadores de condición y serviciabilidad vial indicados en el Contrato de Concesión.

El mantenimiento rutinario, es una actividad que debe ser modelada obligatoriamente, ya que este incide mucho, se debe programarla anualmente y simula la limpieza de drenaje y la eliminación de obstáculos.

Programamos anualmente el Bacheo y al 100%, porque el operador del mantenimiento rutinario debe reparar el área con baches una vez la haya detectado.

Por protocolo, el sellado de fisuras con emulsión se efectuara en todo tramo con fisuras, dentro del cual no se programe una nueva superficie de rodadura.

El Fog Seal es muy poco usado, los desprendimientos son casi reparados por el operados rutinario, sin embargo lo programamos para verificar la incidencia en la programación de actividades.

El Chip Seal de 3/8" es utilizado exclusivamente para las zonas rectas y con muy poca densidad de fisuras, debido a que es muy perjudicial en su etapa constructiva, al momento de optimizar las actividades mediante el análisis de proyecto, este es reemplazado por el Slurry Seal; tiene como criterio de intervención el activarse cuando el área fisurada pase el 7%, o también cuando el CRD sea menor a 0.41.

El Slurry Seal Tipo II es una actividad utilizada exclusivamente en la Variante, debido a que en esta zona la pérdida de Fricción es más conservadora, esta alternativa se activa cuando el área fisurada pasa el 8% anual.

El Slurry Seal Tipo III es la alternativa que en la vida real ha dado mejores resultados, resiste los corrimientos, da una fricción inicial de 0.80 y con un buen tratamiento de fisuras, puede postergar la aparición de estas. Es utilizado en cualquier tramo de la concesión y modelado para activarse cuando el área fisurada exceda el 10% o el coeficiente de Resistencia al Deslizamiento sea menor a 0.41.

El Cape Seal es una alternativa costosa ya que es la combinación de un Slurry Seal Tipo III sobre un Chip Seal de 3/8". La elección de esta alternativa viene después de haber hecho la modelación, es muy difícil poder decir cuando es la lógica de intervención, pero generalizamos un rango de intervención de la combinación de un CRD menor a 0.41 y el área fisurada este en el rango entre 10 y 15%.

El uso de mezcla asfáltica en caliente, está restringido exclusivamente a mejorar el parámetro de rugosidad, es por eso que es modelado para activarse cuando el IRI sea mayor a 3.4.

El Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado, es una alternativa que es activada con la combinación fisuras mayores a 10%, CRD menor de 0.41 y un IRI mayor a 3.3, pero la última decisión viene de un cálculo estructural para ver si el pavimento está en la etapa final de su vida remanente. Esta alternativa es muy conveniente si se desea eliminar toda probabilidad de reflexión de fisuras al colocar un refuerzo.

Para descartar las opiniones de que el porcentaje de fisuras varía de acuerdo a la longitud de los tramos explicaremos lo siguiente a continuación:

El contrato nos exige tener menos 11% de fisuras en la concesión, para manejar la redundancia de que si esta exigencia es en forma global de la Red o por porción de carretera, lo manejamos para cada tramo homogéneo.

11% de fisuras implica tener 1.6 ml de fisura por calzada, esta deducción proviene de multiplicar un área de 7.3 m de ancho por 2000 m de longitud de calzada; esto da como resultado 14600 m². El 11% corresponde a 1606 m², dividiendo este valor por el 0.5 de ancho efectivo de fisuras obtenemos 3212 m², lo que dividido por el largo del tramo, se tiene 1.606 ml fis/calzada. Si variamos la longitud de la carretera a 3000 m y realizamos la misma operación, notamos que se obtiene el mismo valor, 1.6 ml. Entonces es lógico intervenir al tener aprox. 1.0 ml de fisura por metro calzada, ya que esta dimensión representa ya una severidad moderada.

8.5 LOGICA DE PROCEDIMIENTO

Debemos considerar al HDM-4 como solo una herramienta de apoyo, la última decisión, la tiene el encargado de elaborar los planes de mantenimiento para los diferentes tramos; y esto es algo que se debe

tener en cuenta porque el afinamiento, que es la última parte, se hace en forma manual.

Asimismo, se debe tomar en cuenta que las actividades de conservación o trabajo, están seriamente limitadas a la geometría y a la ubicación, por lo tanto estas modificaciones no las puede interpretar el programa, sino que son sometidas a una justa programación por parte del responsable en gestión.

Se deberá iniciar el Modelamiento, con un análisis de estrategia para poder definir cual es la inversión a grosso modo, cuales son las actividades que mejor se comportan en el modelo, cuales son los parámetros que tiene mayor incidencia y lo mas importante, cuales son los tramos mas próximos a intervenir, a los que se dará mayor prioridad para elaborar su plan de mantenimiento.

La inversión total es un monto que debe presentarse al Concesionario, con la finalidad de que incluya en su presupuesto anual el desembolso de estas cantidades.

Posteriormente se realizará un Análisis de Proyecto, este análisis se realizará para cada tramo, y para el cual se plantearán nuevos criterios de intervención y se programará actividades, para encontrar cual es la mejor estrategia de trabajo. Asimismo necesitará de un diseño de

Reciclado de Pavimento, en el cual se verá la profundidad de intervención y el Módulo Resiliente de la Base estabilizada.

Una vez elaborado el Plan de Mantenimiento, se deberá pasar a la faceta denominada "Retroalimentación", el que consiste en afinar los modelos y realizar el seguimiento exhaustivo; de esta manera uno va afinando la calibración de los tramos y actualizando el estado de condición, los efectos de trabajo y la nueva programación de actividades. Este proceso se realiza periódicamente, analizando si es que las acciones recomendadas son las que realmente se realizaron y si los resultados son los realmente esperados.

8.5.1 Recomendaciones

Con respecto a la Base de Datos:

- Es muy necesario descartar cualquier problema que infiera un mal ingreso de datos, puede verificarse exportando los datos y abriéndolos desde el Excel, en éste se presenta un listado codificado, pero es fácil familiarizarse, solo basta con comparar los valores desde el programa HDM-4 con los vistos, para empezar a verificar. Se recomienda seguir estos pasos, porque mediante el programa no se puede comparar paralelamente los tramos.

- La lógica en la nomenclatura de los tramos, es asignarle un nombre y un ID con el que fácilmente pueda reconocerse, en algunos casos este

punto es dejado de lado y después al momento de interpretar resultados uno mismo se llega a confundir.

- Es muy importante indicar que dentro de los costos financieros de las actividades de conservación, se incluyan los costos por reposición de señalización horizontal como tachas y la pintura de tráfico, ya que estos llegan a tener una incidencia de casi el 12% del costo directo.

Con Respecto al Análisis de Estrategia

- Por defecto del programa solo se puede ingresar la composición del tráfico y su crecimiento anual una vez se haya elaborado la hoja de análisis de Proyecto, Programa o Estrategia.
- El Análisis de Estrategia no es un Plan de Actividades definido, sino una herramienta que indica de una manera optima el monto de inversión anual para mantener la carretera en buen estado de acuerdo de condición contractual.
- Para generar un análisis de Estrategia, es necesario trabajar con la Red de Carreteras global, a fin de poder modelar con todos los tramos de la Red.
- Se debe tener mucho cuidado al asignar los estándares de trabajo, la elaboración de estas alternativas deben estar conformadas por actividades económicamente comparables.

Con Respecto al Análisis de Proyecto

- Al igual que el análisis de Estrategia, en el análisis de Proyecto se debe ingresar la composición de tráfico y su crecimiento anual.
- El análisis de Proyecto es el conjunto de iteraciones que tienen por finalidad la optimización de la alternativa que será la elegida para el Plan de Mantenimiento.
- En caso se plantee hacer un reciclado de Pavimento, es necesario realizar un prediseño para conocer los datos requeridos por el software para su modelación.
- Deberá tenerse en cuenta, que las actividades mas caras, deberán plantearse para un horizonte mas próximo, para poder sacarle provecho a esta inversión.

8.6 DETERMINACION DE LA INVERSION TOTAL MEDIANTE EL ANALISIS DE ESTRATEGIA

Una de las necesidades del Concesionario, era conocer la inversión total que se necesitaba para poder mantener dentro de los estándares de condición y serviciabilidad a la carretera, este requerimiento fue elaborado modelando las actuaciones mediante un análisis de Estrategia.

8.6.1 Selección de Tramos

Para la generación el análisis de Estrategia, se contempló utilizar la Red Global de Tramos, de esta forma podemos modelar todos lo tramos y no hacer este análisis para cada Sector.

Sector Chancay – Huacho:..... 10 tramos

Sector Serpentin de Pasamayo:..... 14 tramos

Sector Variante: 24 tramos

Sector Primavera – Dv. Ámbar..... 13 tramos

Es necesario precisar que el Sector Chancay – Huacho consta en realidad de 56 tramos homogéneos, los que se resumieron a 10 para la elaboración del Análisis de Estrategia.

8.6.2 Alternativas Seleccionadas

Adicionalmente generamos tres alternativas de trabajo los que son enunciados a continuación:

Alternativa Base:

Mantenimiento Rutinario por defecto

Bacheo anual con reparación al 100% de Área con Baches

Slurry Seal Tipo III con intervención al 10% de Área Fisurada

Recapeo de 4.0 cm por IRI mayor a 3.4

Alternativa 01:

Mantenimiento Rutinario por defecto

Bacheo anual con reparación al 100% de Área con Baches

Slurry Seal Tipo III con intervención al 10% de Área Fisurada

Recapeo de 4.0 cm por IRI mayor a 3.4

Reciclado de Pavimento con intervención al 9% de Área Fisurada e IRI mayor a 3.

Alternativa 02:

Mantenimiento Rutinario por defecto

Bacheo anual con reparación al 100% de Área con Baches

Chip Seal 3/8" con intervención al 10% de Área Fisurada

Recapeo de 4.0 cm por IRI mayor a 3.4

Reciclado de Pavimento con intervención al 9% de Área Fisurada e IRI mayor a 3.

8.6.3 Elección de Método de Optimización

El Método de Optimización utilizado fue la de Maximizar el VAN. Como es sabido, el VAN representa el valor actual de la inversión, entonces es mas rentable elegir la alternativa que me de menor diferencia entre el VAN y los Gastos Financieros Capitales, es decir que me demuestre la menor depreciación del dinero invertido.

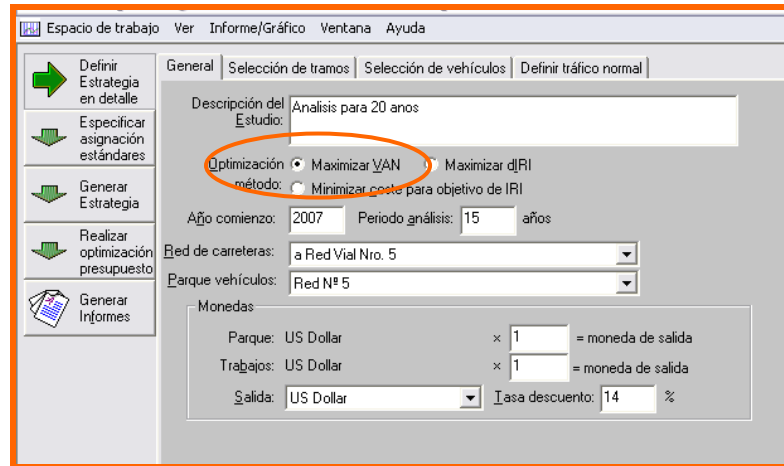


Fig. 125: Elección de Optimización de Estrategia para la obtención de la Inversión

La Fig. 125 muestra el panel de la elaboración del análisis de Estrategia, en ella se puede notar la asignación de la Red de Carreteras, el Parque de Vehículos, el Tipo de Moneda y la Tasa de Interés; asimismo se indica el año de comienzo de análisis, el periodo de evaluación y la elección de la Maximización del VAN como método de Optimización.

8.6.4 Generación de informes

Posterior a la modelación, el programa proporciona numerosos informes, de los cuales los más importantes son los que indican la cuantificación de los gastos capitales financieros y las actividades a realizarse a lo largo de la Concesión.

8.6.4.1 Inversión Total

La inversión Total se resume en el siguiente cuadro:

La interpretación es la siguiente:

Para la conservación de la Vía actualmente utilizada para un periodo de 15 años, es necesario realizar Mantenimientos Periódicos que impliquen estar por encima de los Estándares contractualmente indicados que Maximicen el Valor Presente Neto de Inversión a 10' 629 000,00 US\$.

Además, la Inversión Total asciende a 26'126 000,00 US\$, monto que es distribuido por año tal como el cuadro lo indica, pero en promedio estable una inversión de 1'741 700,00 US\$ anual durante los 15 años del funcionamiento de estos tramos.

Debido a que el VPN representa el valor actual del dinero, y la inversión Total es suma de la Inversión en años, la depreciación vendría a ser la diferencia entre los montos, esta equivaldría a 15'496 000 US\$. Existe la posibilidad de reducir este margen, haciendo que las actividades de los últimos años se programen unos años antes, pero debo considerar que solo estoy analizando para 15 años y no para el horizonte de la concesión.

8.6.4.2 Programa de Trabajos

El Programa de Trabajos a Nivel de Estrategia da una global idea de los tipos de intervención que necesitan los Tramos para cumplir con Estándares durante los años analizados. Estas actividades son mostradas a continuación:

H D M - 4 Programa de trabajos (por tramo)

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Analisis de inversion RVNro.5 - 1
20-06-2007

<u>Tramo</u>	<u>Año</u>	<u>Descripción del trabajo</u>
0+000 - 1+200	2007	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2016	Slurry Seal Tipo III
1+200 - 3+200	2020	Slurry Seal Tipo III
	2009	Slurry Seal Tipo III
10+400 - 12+200	2012	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2020	Slurry Seal Tipo III
	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
12+200 - 13+800	2013	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2020	Chip Seal 3/8 al 10%
	2011	Chip Seal 3/8 al 10%
	2014	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
13+800 - 15+400	2021	Chip Seal 3/8 al 10%
	2009	Chip Seal 3/8 al 10%
	2012	Chip Seal 3/8 al 10%
15+400 - 16+600	2015	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2009	Chip Seal 3/8 al 10%
	2012	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2019	Chip Seal 3/8 al 10%
16+600 - 17+600	2009	Chip Seal 3/8 al 10%
	2012	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2019	Chip Seal 3/8 al 10%
	2014	Slurry Seal Tipo III
161+500 - 163+600	2019	Slurry Seal Tipo III
	2013	Slurry Seal Tipo III
	2016	Slurry Seal Tipo III
163+600 - 164+800	2020	Slurry Seal Tipo III
	2014	Slurry Seal Tipo III
	2018	Slurry Seal Tipo III
164+800 - 165+800	2015	Slurry Seal Tipo III
	2019	Slurry Seal Tipo III
165+800 - 166+800	2014	Slurry Seal Tipo III
	2018	Slurry Seal Tipo III
166+800 - 169+200	2014	Slurry Seal Tipo III
	2019	Slurry Seal Tipo III
169+200 - 170+600	2014	Slurry Seal Tipo III
	2019	Slurry Seal Tipo III
17+600 - 20+000	2009	Chip Seal 3/8 al 10%
	2012	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2019	Chip Seal 3/8 al 10%
170+600 - 172+600	2014	Slurry Seal Tipo III
	2018	Slurry Seal Tipo III
172+600 - 174+600	2013	Slurry Seal Tipo III
	2017	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III

H D M - 4 Programa de trabajos (por tramo)

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Analisis de inversion RVNro.5 - 1
20-06-2007

<u>Tramo</u>	<u>Año</u>	<u>Descripción del trabajo</u>
174+600 - 176+800	2015	Slurry Seal Tipo III
	2019	Slurry Seal Tipo III
176+800 - 178+400	2014	Slurry Seal Tipo III
	2019	Slurry Seal Tipo III
178+400 - 179+400	2014	Slurry Seal Tipo III
	2019	Slurry Seal Tipo III
179+400 - 181+200	2014	Slurry Seal Tipo III
	2018	Slurry Seal Tipo III
181+200 - 184+500	2013	Slurry Seal Tipo III
	2017	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III
20+000 - 21+200	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2011	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2018	Chip Seal 3/8 al 10%
21+200 - 22+659	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2018	Chip Seal 3/8 al 10%
3+200 - 5+600	2007	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2015	Slurry Seal Tipo III
44+144 - 47+600	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
	2020	Chip Seal 3/8 al 10%
	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
47+600 - 44+144	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
	2020	Chip Seal 3/8 al 10%
	2008	Slurry Seal Tipo III
47+600 - 48+400	2012	Slurry Seal Tipo III
	2016	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2008	Slurry Seal Tipo III
48+400 - 47+600	2012	Slurry Seal Tipo III
	2016	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
	2020	Chip Seal 3/8 al 10%
5+600 - 6+800	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2018	Chip Seal 3/8 al 10%
50+400 - 48+400	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
	2020	Chip Seal 3/8 al 10%
	2017	Slurry Seal Tipo III
50+400 - 53+600	2017	Slurry Seal Tipo III
	2016	Slurry Seal Tipo III
53+600 - 50+400	2019	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2017	Slurry Seal Tipo III
	2018	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
55+200 - 53+600	2016	Slurry Seal Tipo III
	2018	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2016	Slurry Seal Tipo III
57+800 - 55+200	2018	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2016	Slurry Seal Tipo III
	2018	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
57+800 - 62+000	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2016	Chip Seal 3/8 al 10%
	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
6+800 - 8+000	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2018	Chip Seal 3/8 al 10%

H D M - 4 Programa de trabajos (por tramo)

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Analisis de inversion RVNro.5 - 1
20-06-2007

<u>Tramo</u>	<u>Año</u>	<u>Descripción del trabajo</u>
62+000 - 57+800	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2016	Chip Seal 3/8 al 10%
62+000 - 65+600	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2015	Chip Seal 3/8 al 10%
	2020	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
65+600 - 62+000	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2015	Chip Seal 3/8 al 10%
	2020	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
65+600 - 68+800	2008	Chip Seal 3/8 al 10%
	2016	Chip Seal 3/8 al 10%
68+800 - 65+600	2008	Chip Seal 3/8 al 10%
	2016	Chip Seal 3/8 al 10%
68+800 - 71+400	2017	Chip Seal 3/8 al 10%
71+400 - 68+800	2017	Chip Seal 3/8 al 10%
71+400 - 72+800	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2015	Chip Seal 3/8 al 10%
72+800 - 71+400	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2015	Chip Seal 3/8 al 10%
72+800 - 75+000	2015	Chip Seal 3/8 al 10%
75+000 - 72+800	2015	Chip Seal 3/8 al 10%
8+000 - 10+400	2007	Chip Seal 3/8 al 10%
	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2018	Chip Seal 3/8 al 10%
km 103+400 - km 109+560 C_H (N)	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2017	Chip Seal 3/8 al 10%
km 103+400 - km 121+340 C_H (S)	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2017	Chip Seal 3/8 al 10%
km 109+560 - km 122+960 C_H (N)	2010	Slurry Seal Tipo III
	2013	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2019	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III
km 121+340 - km 140+000 C_H (S)	2010	Slurry Seal Tipo III
	2013	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2019	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III
km 122+960 - km 137+180 C_H (N)	2010	Slurry Seal Tipo III
	2013	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2019	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III
km 137+180 - km 148+000 C_H (N)	2010	Chip Seal 3/8 al 10%
	2013	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2019	Chip Seal 3/8 al 10%
km 140+000 - km 148+000 C_H (S)	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2017	Chip Seal 3/8 al 10%
km 74+600 - km 103+400 C_H (N)	2010	Slurry Seal Tipo III
	2013	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2019	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III
km 75+750 - km 82+120 C_H (S)	2010	Reciclado de Pavimento c/BE 25 cm
	2017	Chip Seal 3/8 al 10%
km 82+120 - km 103+400 C_H (S)	2010	Slurry Seal Tipo III
	2013	Recapeo de 4.0 cm IRI > 3.4
	2019	Slurry Seal Tipo III
	2021	Slurry Seal Tipo III

Analizando el programa de trabajos, los únicos Sectores donde solo necesitan actividades de Conservación están ubicados en el Sector Primavera – Dv. Ambar (al 100%) y en la Variante, en los tramos rectos donde la mayor parte del tránsito es representada por los vehículos livianos.

En el Resto de los Tramos, se requiere al menos una intervención de recapeo o Reciclado, para corregir el IRI. Esta estrategia es válida y rentable, porque de requerir mayor número de intervención de rehabilitaciones, es más costoso y debería plantearse un mayor espesor de refuerzo.

8.7 PROBLEMÁTICA PLANTEADA EN EL ANALISIS DE PROYECTO

Existe una diferencia en la toma de los Criterios de intervención elegidos para el Análisis de Estrategia y el de las Alternativas de Solución anteriormente estandarizadas, y es que al ir preparando la Implementación del Sistema de Gestión, se encontró un error muy severo en el programa HDM-4; un error netamente de programa.

El error no se ve hasta que se realiza el modelamiento, al aplicarse las actividades de conservación por llegar estas a los umbrales de intervención, estas no modifican completamente los Efectos de Trabajo; específicamente la textura y la Resistencia al Deslizamiento.

Firme Bituminoso																		
Estado a final de año																		
Año	TM IMD	ESAL (milímetros/carril) YB4	Tipo de firme	Numero Estructural medio SNPK	Regularidad IRI (m/km) RI	Area Fisurada (%)				Área Fisurada (%) ARV	Baches		Área de rotura de borde (m ² /km) AEB	Roderos		Textura (mm) TD	Resistencia al deslizamiento IFCO	
						Total Estructural ACA	Área Estructural ACW	Total Estructural ACT	Fisuración total ACRA		Número por km NPT	Área (%) APOT		Promedio de la rodadura FOM	Desv. Est. de la rodadura FOS			
2007	3537	2.28	Antes trabajos	AMGB	6.88	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.92	0.79	0.30	0.35
			Después trabajos	STAP	6.88	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.92	0.79	0.70	0.35
2008	3670	2.26	Antes trabajos	STAP	6.93	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.06	0.91	0.38	0.35	
			Después trabajos	STAP	6.93	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.06	0.91	0.70	0.35
2009	3808	2.46	Antes trabajos	STAP	7.01	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.20	1.02	0.38	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.01	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.20	1.02	0.70	0.35
2010	3951	2.54	Antes trabajos	STAP	7.08	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.34	1.13	0.37	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.08	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.34	1.13	0.70	0.35
2011	4099	2.63	Antes trabajos	STAP	7.16	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.47	1.24	0.37	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.16	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.47	1.24	0.70	0.35
2012	4263	2.73	Antes trabajos	STAP	7.23	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.61	1.35	0.37	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.23	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.61	1.35	0.70	0.35
2013	4413	2.83	Antes trabajos	STAP	7.31	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.74	1.44	0.38	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.31	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.74	1.44	0.70	0.35
2014	4679	2.94	Antes trabajos	STAP	7.38	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.88	1.55	0.38	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.38	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1.88	1.55	0.70	0.35
2015	4762	3.04	Antes trabajos	STAP	7.46	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	2.01	1.65	0.35	0.35	
			Después trabajos	STAP	7.46	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	2.01	1.65	0.70	0.35

Fig. 126: Pantalla de Tramo modelado por CRD menor a 0.41

La Fig. 126 ilustra como se presenta el problema, uno de los tramos del Tramo II con problemas de Fricción es modelado tomando como criterio de intervención de la actividad al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento. Entonces al realizar la modelación, la actividad se ejecuta sin modificar el efecto de trabajo, al analizar a siguiente año, se vuelve a activar, y esto es porque al no corregir el Coeficiente de Fricción el año anteriormente intervenido, el programa busca corregir, y lo hace secuencialmente durante el periodo de evaluación. Puede verse como el Numero Estructural va aumentando y es nula la aparición de fisuras.

Este problema incide mucho en la Evaluación Técnico Económica, porque al ser el Coeficiente de Fricción un parámetro incidente, el no utilizarlo implica arriesgarse a no realizar actividades de conservación cuando deban ser solicitadas. Al no pasar en la Medición de Parámetros

anualmente realizada en alguno de los parámetros, la sanción sería enorme.

Es por esto que en el Análisis de Estrategia anteriormente mencionado, se disminuyeron algunos de los umbrales de intervención, y se retiró la utilización de este parámetro como criterio de intervención, asimismo el no optimizar el VAN llevando las actividades del horizonte mas lejano unos años antes, es un respaldo a las actividades no modeladas por causa de esta excepción.

Sin embargo, el hecho que este error sea muy incidente en la utilización de la Herramienta HDM-4, no es motivo para dejar de lado la implementación, tan solo la hará mas tedios la elaboración de los Planes de Mantenimiento de los Tramos.

Solo se utilizará la modelación del HDM-4 para ver la evaluación del deterioro, mas no como una herramienta de optimización económica. Para lo cual se deberá modelar por tramo y cada vez que ocurra una intervención, se deberá actualizar el Estado de Condición del Tramo analizado. Para esto se deberá hacer una copia de la Red de Carreteras y del Análisis de Proyecto, de manera que se pueda trabajar dos alternativas paralelamente. Existe la posibilidad de que este error haya sido subsanado en la Versión 2.0 del HDM-4, pero hasta el cierre de esta redacción, no se tuvo una respuesta al respecto.

CAPITULO IX

APLICACIÓN DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS EN EL TRAMO II DE LA RED VIAL Nro.5

El tramo de concesión a analizarse con fines del presente capítulo corresponderá al definido como Tramo II referenciadas por las progresivas 161+500 al 184+500, este tramo, entro en funcionamiento en octubre del año 2005 posterior a su rehabilitación.

En este Capítulo explicaremos como se realiza un Análisis de Proyecto con el problema planteado.

9.1 ASPECTOS

Este sector fue puesto en funcionamiento el año 2005, y es un tramo mejorado que forma parte del paquete de construcción por la que se decidió Concesionar esta vía.

Se tiene planteado construir una calzada paralela que le de la categoría de autopista el 2019, mientras tanto el Tramo II será soporte del transporte en ambos sentidos. A la fecha se requiere plantear las

actividades que se realizarán en este periodo y cual será el estado del pavimento del Tramo en ese año.

Para nuestro análisis, la modelación solo tomó exclusivamente como actividad de intervención al Slurry Seal Tipo III, mortero que fue diseñado para presentar una buena resistencia al deslizamiento.

9.2 PROBLEMÁTICA

No fue posible utilizar directamente el HDM-4 para plantear las soluciones, debido a que el factor incidente en este Tramo es el coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

9.3 METODOLOGIA

Como no fue necesaria una optimización económica, se podía obtener el modelamiento para el periodo, preparando el modelo con 5 años de periodo, y actualizar los tramos donde se active la intervención inmediata. Específicamente una vez reconocida una intervención, se ubicaba el año, y se procedía a actualizar al año de intervención el estado del tramo, la edad de su superficie, y el tipo de pavimento.

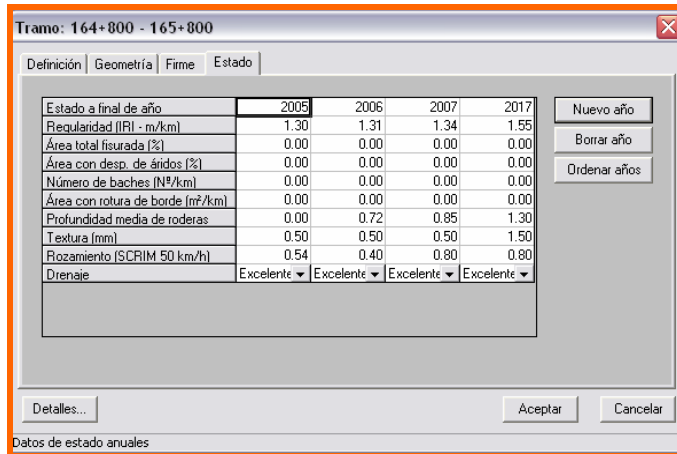


Fig. 127: Ejemplo de Actualización del Estado del Tramo

9.4 PROCEDIMIENTO

Se elaboró un Análisis de Proyecto para conocer los tramos a intervenir inmediatamente, estos, recibirán una actualización de su estado, a fin de poder modelar los siguientes años.

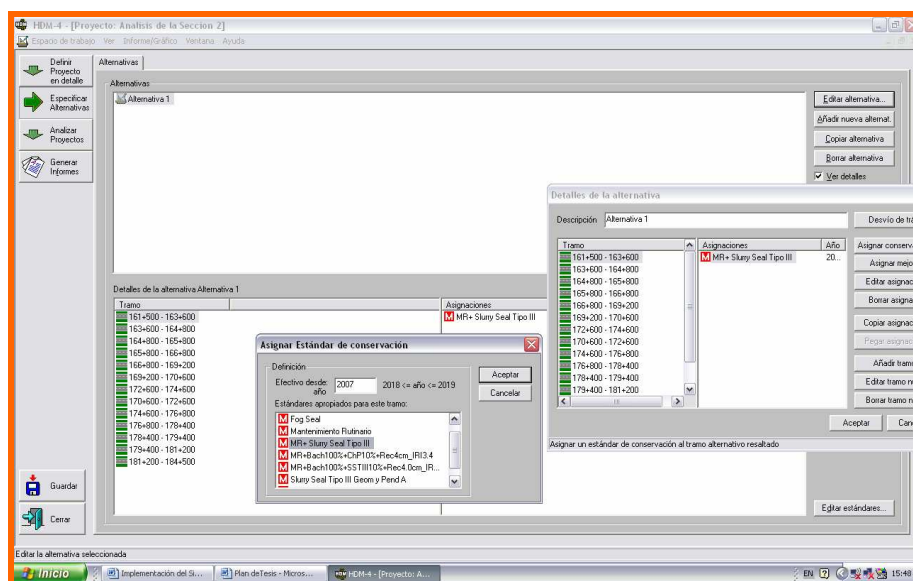


Fig. 128: Panel de Elaboración del Análisis de Proyecto para el Tramo II

Después de haber asignado la composición inicial del tránsito y su tasa de crecimiento, se procede a especificar alternativas de trabajo, no hace

falta colocar mas de dos alternativas, ya que por políticas asignadas a la conservación de este tramo, solo se permite utilizar el Slurry Seal Tipo III. Tal como se muestra en la Fig. 128, el estándar es efectivo desde el 2007.

Alternativa 1						
Año	Tramo	Descripción de trabajos	Código	Coste Económico	Coste Financiero	Cantidad de trabajo
2007	161+500 - 163+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,244.3	1,575.0	2.10 km
	163+600 - 164+800	Mantenimiento Rutinario	MR	711.0	900.0	1.20 km
	164+800 - 165+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	16,354.0	20,720.0	7,400.00 sq. m
	165+800 - 166+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	166+800 - 169+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,422.0	1,800.0	2.40 km
	169+200 - 170+600	Mantenimiento Rutinario	MR	829.5	1,050.0	1.40 km
	172+600 - 174+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	170+600 - 172+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	174+600 - 176+800	Mantenimiento Rutinario	MR	1,303.5	1,650.0	2.20 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	35,978.8	45,584.0	16,280.00 sq. m
	176+800 - 178+400	Mantenimiento Rutinario	MR	948.0	1,200.0	1.60 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	26,166.4	33,152.0	11,840.00 sq. m
	178+400 - 179+400	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	16,354.0	20,720.0	7,400.00 sq. m
	179+400 - 181+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,066.5	1,350.0	1.80 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	29,437.2	37,296.0	13,320.00 sq. m
	181+200 - 184+500	Mantenimiento Rutinario	MR	1,955.3	2,475.0	3.30 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	53,968.2	68,376.0	24,420.00 sq. m
	Coste total anual:				191,886.1	243,098.0

Fig. 129: Plan de Trabajo del Tramo II para el 2007

En la Fig. 129 se muestran los tramos que recibieron actualización de su estado para la posterior modelación de los siguientes 5 años. Este proceso se realizó en forma iterativa, hasta llegar al año 2019.

Es importante que debe agregarse al estado de los tramos, su condición modelada, es decir si para el año 2010 un tramo tiene un IRI de 2.1, este debe ser ingresado también como parte del estado del tramo.

2010	161+500 - 163+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,244.3	1,575.0	2.10 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	34,343.4	43,512.0	15,540.00 sq. m
	163+600 - 164+800	Mantenimiento Rutinario	MR	711.0	900.0	1.20 km
	164+800 - 165+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	165+800 - 166+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	166+800 - 169+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,422.0	1,800.0	2.40 km
		Slurry Seal Tipo III	SSTIII	39,249.6	49,728.0	17,760.00 sq. m
	169+200 - 170+600	Mantenimiento Rutinario	MR	829.5	1,050.0	1.40 km
	172+600 - 174+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	170+600 - 172+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	174+600 - 176+800	Mantenimiento Rutinario	MR	1,303.5	1,650.0	2.20 km
	176+800 - 178+400	Mantenimiento Rutinario	MR	948.0	1,200.0	1.60 km
2010	178+400 - 179+400	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	179+400 - 181+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,066.5	1,350.0	1.80 km
	181+200 - 184+500	Mantenimiento Rutinario	MR	1,955.3	2,475.0	3.30 km
Coste total anual:				87,220.5	110,490.0	

Fig. 130: Plan de Trabajo del Tramo II para el 2010

La Fig. 130 muestra el Plan de Trabajo para el año 2010, nótese que los tramos se han ido interviniendo exclusivamente por pérdida de fricción.

2013	161+500 - 163+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,244.3	1,575.0	2.10 km
	163+600 - 164+800	Mantenimiento Rutinario	MR	711.0	900.0	1.20 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	19,624.8	24,864.0	8,880.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
	164+800 - 165+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	16,354.0	20,720.0	7,400.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
	165+800 - 166+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	166+800 - 169+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,422.0	1,800.0	2.40 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	39,249.6	49,728.0	17,760.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
	169+200 - 170+600	Mantenimiento Rutinario	MR	829.5	1,050.0	1.40 km
2013	172+600 - 174+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	32,708.0	41,440.0	14,800.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
	170+600 - 172+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	32,708.0	41,440.0	14,800.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
	174+600 - 176+800	Mantenimiento Rutinario	MR	1,303.5	1,650.0	2.20 km
	176+800 - 178+400	Mantenimiento Rutinario	MR	948.0	1,200.0	1.60 km
	178+400 - 179+400	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	179+400 - 181+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,066.5	1,350.0	1.80 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	29,437.2	37,296.0	13,320.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
	181+200 - 184+500	Mantenimiento Rutinario	MR	1,955.3	2,475.0	3.30 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	53,968.2	68,376.0	24,420.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		123.0	156.3	67.96 sq. m
Coste total anual:				238,538.4	302,208.2	

Fig. 131: Plan de Trabajo del Tramo II para el 2013

El 2013 empiezan las intervenciones por aparición y progresión de fisuras.

2016	161+500 - 163+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,244.3	1,575.0	2.10 km
	163+600 - 164+800	Mantenimiento Rutinario	MR	711.0	900.0	1.20 km
	164+800 - 165+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	165+800 - 166+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	16,354.0	20,720.0	7,400.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		369.0	468.9	203.88 sq. m
	166+800 - 169+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,422.0	1,800.0	2.40 km
	169+200 - 170+600	Mantenimiento Rutinario	MR	829.5	1,050.0	1.40 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	22,895.6	29,008.0	10,360.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		369.0	468.9	203.88 sq. m
	172+600 - 174+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	170+600 - 172+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
2016	174+600 - 176+800	Mantenimiento Rutinario	MR	1,303.5	1,650.0	2.20 km
	176+800 - 178+400	Mantenimiento Rutinario	MR	948.0	1,200.0	1.60 km
	178+400 - 179+400	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	179+400 - 181+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,066.5	1,350.0	1.80 km
	181+200 - 184+500	Mantenimiento Rutinario	MR	1,955.3	2,475.0	3.30 km
Coste total anual:				53,615.1	67,915.8	

Fig. 132: Plan de Trabajo del Tramo II para el 2016

2017	161+500 - 163+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,244.3	1,575.0	2.10 km
	163+600 - 164+800	Mantenimiento Rutinario	MR	711.0	900.0	1.20 km
	164+800 - 165+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	16,354.0	20,720.0	7,400.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		636.4	808.6	351.58 sq. m
	165+800 - 166+800	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
	166+800 - 169+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,422.0	1,800.0	2.40 km
	169+200 - 170+600	Mantenimiento Rutinario	MR	829.5	1,050.0	1.40 km
	172+600 - 174+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	170+600 - 172+600	Mantenimiento Rutinario	MR	1,185.0	1,500.0	2.00 km
	174+600 - 176+800	Mantenimiento Rutinario	MR	1,303.5	1,650.0	2.20 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	35,978.8	45,584.0	16,280.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		636.4	808.6	351.58 sq. m
	176+800 - 178+400	Mantenimiento Rutinario	MR	948.0	1,200.0	1.60 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	26,166.4	33,152.0	11,840.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		636.4	808.6	351.58 sq. m
	178+400 - 179+400	Mantenimiento Rutinario	MR	592.5	750.0	1.00 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	16,354.0	20,720.0	7,400.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		636.4	808.6	351.58 sq. m
	179+400 - 181+200	Mantenimiento Rutinario	MR	1,066.5	1,350.0	1.80 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	29,437.2	37,296.0	13,320.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		636.4	808.6	351.58 sq. m
	181+200 - 184+500	Mantenimiento Rutinario	MR	1,955.3	2,475.0	3.30 km
		Slurry Tipo III Fis 10%	SSFis	53,968.2	68,376.0	24,420.00 sq. m
		Prep. sellado fis.		636.4	808.6	351.58 sq. m
Coste total anual:				195,704.2	247,949.7	

Fig. 133: Plan de Trabajo del Tramo II para el 2017

El año 2017 es el último año de intervención, posterior a esto tan solo queda analizar el estado final del Tramo II en el año 2019. Nótese que varios tramos son reparados el 2016 y 2017, con lo cual se justifica el buen estado de la superficie de rodadura del Tramo II el año 2019.

ID	TRAMO	LONG Km	SN	IRI	AREA FIS %	PELADURA %	BACHES	BORDES	RODERAS	CRD
PA01	161+500 - 163+600	2.10	7.70	1.29	6.18	0.50	0.00	0.00	1.19	0.67
PA02	163+600 - 164+800	1.20	6.61	1.39	5.87	0.00	0.00	0.81	0.70	0.67
PA03	164+800 - 165+800	1.00	7.46	1.63	0	0	0	0	1.57	0.79
PA04	165+800 - 166+800	1.00	7.95	1.30	0	0	0	0	0.95	0.79
PA05	166+800 - 169+200	2.40	7.33	1.49	6.18	0.00	0.00	0.00	0.82	0.62
PA06	169+200 - 170+600	1.40	7.59	1.28	0	0.00	0.00	0.96	0.83	0.79
PA07	170+600 - 172+600	2.00	7.24	1.27	5.87	0.00	0.00	0.78	0.68	0.65
PA08	172+600 - 174+600	2.00	6.99	1.30	5.87	0.00	0.00	1.19	1.01	0.63
PA09	174+600 - 176+800	2.00	7.86	1.27	0.00	0.00	0.00	1.75	1.45	0.79
PA10	176+800 - 178+400	1.60	7.70	1.26	0.00	0.00	0.00	1.56	1.31	0.79
PA11	178+400 - 179+400	1.00	7.72	1.36	0.00	0.00	0.00	1.41	1.19	0.79
PA12	179+400 - 181+200	1.80	7.35	1.48	0.00	0.00	0.00	1.42	1.20	0.79
PA13	181+200 - 184+500	3.30	6.86	1.42	0.00	0.00	0.00	1.59	1.33	0.79

Fig. 134: Cuadro Resumen del Estado del Tramo II

La Fig. 134 muestra el cuadro Resumen del Estado del Pavimento en el Tramo II, nótese como en el 2019, los 22.8 km – calzada tienen un IRI promedio de 1.36, Un Área Fisurada de 2.31% y un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento de 0.74. Aunque las intervenciones se dan mas continuamente debido a los 20 años de antigüedad del tramo, este se vera reducido debido al transito inducido a la calzada paralela.

Para mantener el tramo II dentro de los limites admisibles, será necesario la inversión total de 971 661.00 US\$. Proyectando un desembolso mensual de 53 981.21 US\$; o en otras palabras, 42 246.13 US\$ es lo que nos costaría mantener cada kilómetro del Tramo II.

Con la puesta en funcionamiento de la calzada paralela, el factor que se volverá inmune al deterioro es la rotura de borde, ya que la capacidad de carril se vera descomprimida y reducirá considerablemente la utilización de la berma para adelantar.

9.5 APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL TRAMO II EN EL PLANEAMIENTO Y EJECUCION DEL MANTENIMIENTO PERIODICO 2007

Este año se realizó el Mantenimiento Periódico 2007, lo interesante fue que se puso en práctica el Plan de Mantenimiento para le Tramo II, en el cual correspondía devolverle las propiedades antiderrapantes a los tramos entre el Km 164+800 - Km 165+800 y el Km 174+600 al Km184+500, tal como indica el Plan de Mantenimiento para este año (Fig. 129).

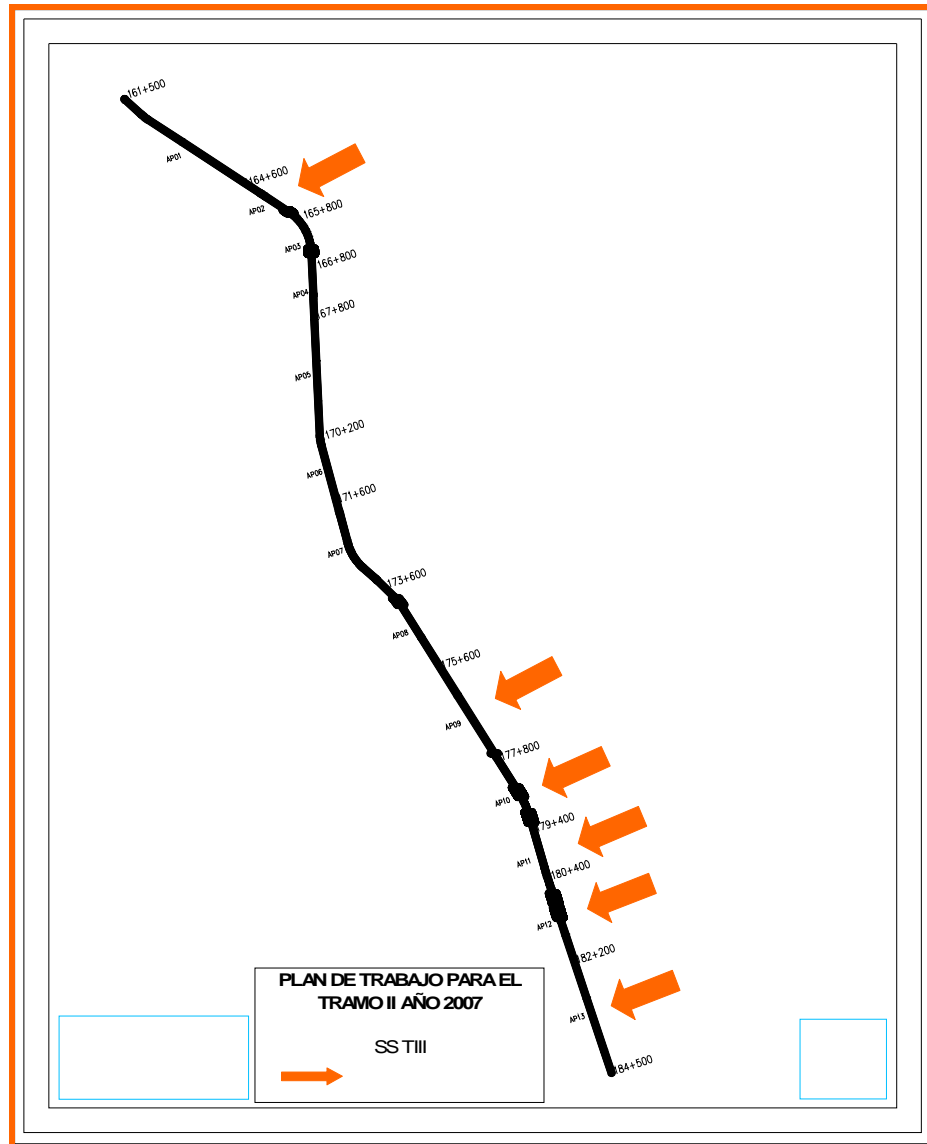


Fig. 135: Plano del Tramo II, las flechas indican los tramos homogéneos a intervenir con Slurry Seal Tipo III el año 2007

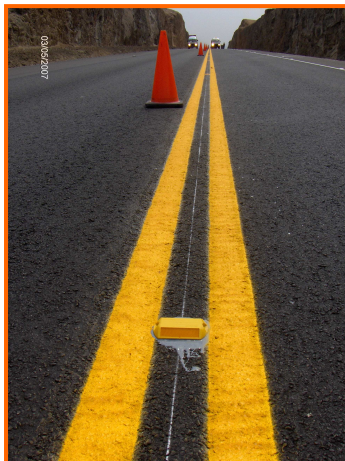
La Aplicación de este tratamiento en este Sector nuevo, facilita el Monitoreo de sus propiedades, para lo cual se está planificando realizar este año 4 ensayos de monitoreos en los tramos homogéneos restaurados, a fin de poder respaldar las bondades de su alto Coeficiente de fricción. Mediante este monitoreo, se podrá actualizar la información

sobre la resistencia al pulimento de esta técnica, y así poder afinar el Plan de Mantenimiento para los próximos años.

Para ejecutar los trabajos en esta zona, se optimizó bastante el procedimiento operativo de colocación del mortero en la calzada, el inconveniente era evitar que la rugosidad aumente



en los tramos debido a los empalmes transversales. Para esto se decidió emparejar los empalmes transversales con ayuda de una regla de aluminio, y además retirar las tachas y colocarlas 10 cm hacia fuera, de esta forma mientras no se tiene pintura horizontal, los usuarios pueden seguir de noche su trayectoria sin despistarse.



Esta es la Vista Panorámica del Tramo km176+800 al Km 178+400, antes de recibir su nueva superficie de rodadura la calzada esta completamente lisa, ahora se a simple vista se puede diferenciar una textura en buenas condiciones.

CAPITULO X

MISCELANEOS

CONCLUSIONES

1. Se ha Implementado el Sistema de Gestión de Pavimentos, adaptando la base de datos a la nueva monumentación y con formatos flexibles que permiten procesar la información para un mejor entendimiento. Además se han estandarizado los procedimientos de recolección de datos de campo.
2. Con la Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos, se ha conseguido obtener los tramos homogéneos de la Red Vial Nro.5, los que se deberán respetar durante todo el horizonte de concesión. Deberán respetarse también las metodologías de recolección de datos, de esta forma podemos acceder a data estadísticamente comparable.

3. Queda definido que un sistema de gestión de pavimentos en nuestro caso es un conjunto de actividades sistematizadas y estandarizadas, cuyo objetivo es la optimización de resultados contractuales y económicos en la planificación de planes de mantenimiento y la evaluación continua del pavimento para su seguimiento y mejora continua.

4. Para la Implementación de un Sistema de Gestión de Pavimentos no hace falta un software desarrollado para preparar y gestionar los datos a evaluar; en la presente tesis se elaboró hojas Excel para la recolección, preparación y procesamiento de datos para la alimentación de la Base de Datos del HDM-4, la cual colaboró con el análisis de la evolución del deterioro.

5. Considero idóneo el relacionar el trazo del tramo con los parámetros contractuales modelados, ya que es una ayuda rápida para tramificar y saber elegir que intervención aplicar para reducir la progresión de los deterioros relacionados.

6. Se debe dejar claro que el programa HDM-4 no es un sistema de gestión de pavimentos; sino tan solo una herramienta de apoyo para calcular la evolución del deterioro del pavimento.

7. Se utiliza el Análisis de Estrategia para poder determinar grosso modo las distribuciones de las inversiones anuales y determinar una fecha aproximada de intervención de cada tramo.
8. Se utiliza el Análisis de Proyecto, para optimizar la estrategia y las actividades que conforman el Plan de Mantenimiento, asimismo todo este proceso se analiza para cada tramo independientemente.
9. Con respecto al error encontrado en el programa HDM-4, este no puede solucionarse debido a que es propio del sistema, sin embargo se deberá investigar si la Versión 2.0 del HDM-4 ya planea la corrección de este error.
10. Con respecto a la ecuación de modelación de evolución de la Pérdida de Fricción, en la versión 1.3 del HDM-4 fue planteado solo tomando en consideración el incremento del tránsito, considero que para futuras versiones debe incluirse como factor de incidencia la geometría del tramo; porque a mi parecer está determinado que la torsión afecta considerablemente en el deterioro de este parámetro.
11. Debería plantearse para futuras versiones la obtención del Número Estructural Calculado con deflexiones máximas FWD, tomando en cuenta los datos del Área de Cuenco de Deflexiones; la combinación de estos para el cálculo del Número Estructural, nos da valores mas

precisos e inclusive podemos llegar a tener datos de la propia subrasante.

12. En el cálculo de la Inversión por años se obtuvo 1'741 700.00 US\$; considero que tomando en cuenta que el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento no fue modelado esta cifra debe redondearse a 2'000 000.00 US\$. La necesidad de requerir o no mas dinero ya se verá reflejado en los análisis de Proyecto para elaborar los Planes de Mantenimiento de los Tramos.

13. El Slurry Seal Tipo III es un mortero asfáltico optimizado recién el año de la redacción de la presente tesis, por lo cual no se tiene datos sobre su resistencia a la perdida de fricción, pero si se tiene estandarizado que su valor inicial es igual a 0.80.

RESUMEN

En la presente tesis se presenta la Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos, proyecto que se originó debido a la necesidad de organizar los trabajos de mantenimiento que venían realizándose años anteriores, los cuales fueron elaborados sin tener en cuenta las proyecciones al futuro, tan solo para que la Red cumpla con los límites admisibles que son evaluados anualmente.

Se eligió como herramienta de apoyo al software HDM-4, debido a que este ha abarcado gran mercado en el mundo de la evaluación técnico económica de las vías, tanto afirmadas como asfaltadas. Además la operación de dicho programa ya era conocido en el medio, consultores e incluso los mismos responsables del Sistema de Gestión de Carreteras del MTC vienen capacitándose e implementando su base de datos a esta herramienta.

Para cumplir con la Implementación, era necesario redactar el marco teórico, no solo para enmarcar la parte técnica y la lógica para el desarrollo del trabajo, sino para definir desde sus principios, lo que es un sistema de gestión de pavimentos, definición que es todavía ambigua para algunos profesionales de la carrera.

La tesis inicia su detalle, explicando la relación entre los Sistemas de transporte y la dinámica del desarrollo social, como la categoría de una carretera debe ir creciendo en función a la demanda del tránsito, que

esta en función del desarrollo del comercio. Seguidamente se da una breve referencia sobre los pavimentos asfálticos, punto necesario ya que el pavimento asfáltico constituye la infraestructura que se va a evaluar.

Posteriormente se da una reseña de la conceptualización del sistema de gestión de pavimentos, como es que esta frase va tomando forma a medida que se va analizando cada una de sus palabras conformantes, se incluye conceptos básicos de ingeniería de sistemas y de administración.

Asimismo se enmarca la reglamentación ASTM 1166-00, la cual da las pautas para la implementación del mismo.

Se da una breve explicación, del Sistema de Gestión de Carreteras del MTC, el cual trabaja con su propio software de administración, el Route 2000.

El capítulo más extenso está dedicado a la Parte técnica, la cual está separada en ensayos que determinan la Suficiencia Funcional, Estructural, de Drenaje y Condición de Seguridad. Seguido a estos capítulos, se detallan las técnicas de Conservación, lo cual era necesario repasar para tomar criterio al momento de elaborar las Actividades de Conservación en el modelo. No se pudo dejar de lado la Evaluación Económica, la interpretación de sus parámetros, y su influencia en la toma de decisiones que lleven a la optimización de los recursos.

El último capítulo de la parte teórica fue dedicado a la herramienta HDM-4, como es que se llega a desarrollar el programa y la misión de la misma. Se detalla la estructura y cual es la lógica para evaluar los pavimentos.

El Capítulo VII detalla la metodología y criterios a seguir para la recolección de datos, obtención de tramos homogéneos y sus respectivos parámetros representativos.

El capítulo VIII contempla el manejo de la herramienta HDM-4 aplicada a la gestión de Pavimentos de la Red Vial Nro.5, en ella se presenta la elaboración de un análisis técnico económico para la obtención de la Inversión Total en un periodo de 15 años, asimismo se explica la problemática de usar el HDM-4 para el manejo a Nivel de Proyecto de la Red Evaluada.

El Capítulo IX detalla como se planteó utilizar una metodología alterna, para conocer el Plan de Mantenimiento a seguir hasta el 2019 del Tramo II. Este análisis fue elaborado a Nivel de Proyecto.

TERMINOLOGIA HDM

<u>TERMINO</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
Tipo de Vel/Cap	Corresponde al Tipo de Carretera, de dos carriles, de tres carriles, sencillo
Modelo de Tráfico	Corresponde al tipo de Flujo vehicular, es decir si es continuo o discontinuo
Firme	Conocido en nuestro medio como Pavimento y corresponde al conjunto de capas que conforman la vía
Mezcla Bituminosa sobre Base Granular	Corresponde a un pavimento conformado por bases y su respectiva capeta de rodadura de mezcla asfáltica
Mezcla Bituminosa sobre Firme Bituminoso	Corresponde a un pavimento con carpeta de mezcla asfáltica que ha recibido un refuerzo de carpeta asfáltica
Tratamiento Superficial sobre Base Bituminosa	Corresponde a un pavimento con carpeta de mezcla asfáltica que ha recibido un Tratamiento de Superficie
Tratamiento Superficial sobre Base Estabilizada	Corresponde a un Tratamiento de Superficie sobre un pavimento que ha sido Reciclado
Tratamiento Superficial sobre Base Granular	Corresponde a un pavimento conformado por bases y un Tratamiento de Superficie como capa de rodadura
Arcén	Conocido como Berma Lateral en nuestro medio
Mezcla Bituminosa en Caliente	Mezcla en caliente que ha sido preparada en planta de asfalto
Mezcla Bituminosa	corresponde a una Mezcla Estandarizada, sin especificar
Mezcla Bituminosa Betún - Caucho	Corresponde a una mezcla modificada con Polímeros
Mezcla Discontinua	Corresponde a una mezcla de granulometría abierta
Mezcla Bituminosa Drenante	Corresponde a los pavimentos diseñados como drenantes
Regularidad	Viene a ser la acumulación de desviaciones en una superficie con respecto a una cuerda, conocido como Rugosidad y relacionado con el IRI
Area Total Fisurada	Corresponde a una fisura menor a 3mm multiplicado por su ancho de influencia
Desprendimiento de Aridos	Conocido en nuestro medio como peladuras
Baches	Conocido en nuestro medio como huecos
Roderas	Corresponde a los ahuellamientos, que son deformaciones del pavimento en las huellas de los vehículos

<u>TERMINO</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
Textura	Parámetro que proporciona los intersticios necesarios para la evacuación del agua por el pavimento
Rozamiento	Corresponde a la Resistencia al Deslizamiento ó la Microtextura, proporciona adherencia de los neumáticos a la superficie
IMD	Corresponde al Índice Medio Diario
ESALF	Corresponde al Factor Camión ó número de ejes equivalentes acumulados
Estándar de Conservación	Dentro de ella se preparan todas las Actividades de Mantenimiento de una vía
Estándar de Mejora	Corresponden a los proyectos de mejoramiento de una vía
Bacheo	Reparación puntual de una vía consistente en el reemplazo de una porción de carpeta asfáltica con material preparado in situ
Doble Tratamiento Superficial con Corrección de Forma	Viene a ser la Aplicación de un tratamiento superficial sobre otro tratamiento superficial con agregado de mayor diametro, todo esto previo trabajo de corrección de ahuellamientos
Incrustación	Reparación puntual de una vía consistente en el reemplazo de una porción de carpeta asfáltica con un bloque prefabricado
Ligante de Sellado	Corresponde a lo conocido como Mortero Asfáltico o Slurry Seal
Sellado de Capa con corrección de forma	Viene a ser la Aplicación de un Mortero Asfáltico sobre un tratamiento superficial con agregado de mayor diametro, todo esto previo trabajo de corrección de ahuellamientos
Refuerzo con mezcla Betú - Caucho	Corresponde a un refuerzo con mezcla asfáltica con Polímeros
Regeneración	No esta establecida la técnica de trabajo a la que se pueda relacionar
Riego Antipolvo	Equivalente a un Fog Seal, que consiste en la aplicación de un material ligante combinado con agua y aplicado mediante pulverización
Refuerzo con mezcla bituminosa densa	Es equivalente a una mezcla de granulometria cerrada; esto, para retardar la oxidación de la carpeta
Refuerzo delgado	Refuerzo con un espesor maximo de 5.0 cm.

<u>TERMINO</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
Costos Económicos	Los costos económicos o de eficiencia se estiman deduciendo a los precios de mercado o financieros las transferencias a/y desde el sector público, como es el caso de los subsidios, impuesto, aranceles de aduana y otros derechos
Costo Financiero	Se obtienen añadiendo a los costos económicos los diferentes impuestos que gravan el producto

BIBLIOGRAFIA

Referencias Bibliográficas

Manheim, M. L. (1979).

Fundamentals of Transportation Systems Analysis

Valle Rodas, Raúl.

Carreteras, Calles y Aeropistas

Schiesler, A. (1992).

Caminos: Un Nuevo Enfoque para la Gestión

Hass, R. (1993).

Modern Pavement Management

Kovacevic, A. (1990).

Sistemas de Información, Conceptos e Implicancias para la Empresa

De Solminihac, Hernán (1998)

Gestión de Infraestructura Vial

TNM Limited S.A. (2005)

Informe del Servicio de Consultoría para el Inventario, Valorización y

Monumentación de la Red Vial Nacional Asfaltada

Ministerio de Transportes del Perú MTC (2001)

Reglamento Nac. De Vehículos, Decreto supremo N 034-2001-MTC

Archondo C., Rodrigo.

Hoja para Cálculo de ESALF

Minaya, S. y Ordoñez, A.

Diseño Moderno de Pavimentos

AASTHO (1993)

Guide for Design of Pavement Structures

Ministerio de Obras Públicas de El Salvador.

Determinación del Índice de Regularidad Internacional IRI

Bustos, Marcelo. UNSJ

Gestión de Pavimentos

AEPO Ingenieros Consultores

Evaluación Estructural de Firmes de Carreteras

AEPO Ingenieros Consultores (2003)

La Ingeniería de Firmes en el Siglo XXI

In – Extec Ltda..

Reporte Noviembre – Diciembre 2003

Ortiz, Javier A.

Evaluación y Diagnóstico Estructural de Pavimentos

Louis Berger Inc. (2004)

Estudio de tráfico para la Red Vial Nro. 5

Solminihac, Hernán (2005)

Calibración del HDM-4 mediante el método de las ventanas

Solorio Murillo, Ricardo (2004)

Análisis de Sensibilidad de lo Modelos de Deterioro del HDM-4 para Pavimentos Flexibles

BCOM (2003)

Manual de Usuario del Route 2000

PIARC (2004)

Manual de Usuario del HDM-4

CRV5 (2007)

Informe Final del Mantenimiento Periódico 2007

Referencias de Internet

<http://es.wiktionary.org/wiki/nomograma>

www.mtc.gob.pe/portal/logypro/logros.htm

www.dynatest.com

www.piarc.org

www.wikipedia.com

www.camineros.com

www.aepo.com

<http://www.fhwa.dot.gov>

www.arrb.au