TNM TECHNOLOGY AND MANAGEMENT LTD.

"INVENTARIO VIAL EN LAS LOCALIDADES DE BOSA, TUNJUELITO, USME, SAN CRISTÓBAL, CIUDAD BOLÍVAR, FONTIBÓN Y RAFAEL URIBE PARA EVALUAR Y PRIORIZAR ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN EN BOGOTÁ D.C.".

INFORME FINAL

DOCUMENTO MAESTRO

Bogotá, Noviembre del 2000

DETALLE DE GRUPO TECNICO

Bogotá Distrito Capital

Dr. Enrique Peñalosa Londoño, Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Entidad: Instituto de Desarrollo Urbano

Dr. Andrés Camargo Ardila, Director General
Ing. Carlos Alfonso Morales Rigueros, Director Técnico de Malla Vial
Ing. Claudia Bibiana Castrillón, Subdirector Técnico de Administración de Pavimentos
Ing. Jorge Duarte, Coordinador del Grupo de Inventario, Planeación y Seguimiento

Contratista: Technology and Management

Ing. Ehud Cohen, Director de Proyecto - Gerente Técnico Casa Matriz Israel
Econ. Haim Bonjack, Economista de Transporte – Director Casa Matriz Israel
Ing. Miguel Angel Benzadón, Especialista en Vías – Gerente Sucursal Colombia
Ing. Luis Fernando Cano, Especialista en Vías
Econ. Rimón Rafiah, Especialista en Sistemas
Ing. Jairo Bernal, Coordinador del Proyecto
Ing. Jorge Matiz, Especialista en Tránsito
Ing. Carola Gordillo, Especialista en Gestión de Pavimentos

Interventoría: Consorcio Borda - Paz

Ing. Jorge Paz, Director de Interventoría
Ing. Margarita Borda, Representante Legal del Consorcio
Ing. Alexander Ríos, Especialista en Vías

Sub-contratistas

MUR PROYECTOS Ltda
Ing. Samuel Hernández, Gerente

Geocisa
Ing. Carlos Roldán, Gerente

Administradora de Proyectos Civiles – APC Ltda
Ing. José David Muñoz, Gerente

Laboratorios de Ingeniería Civil - Labinciv Ltda
Sr. Germán Rodríguez, Gerente

TABLA DE CONTENIDO

DESCRIPCIÓN **Página**

DETALLE DE GRUPO TECNICO 2
TABLA DE CONTENIDO 3
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN 8
CAPITULO 2. ANTECEDENTES 10
CAPITULO 3. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO 13
CAPITULO 4. ASPECTOS CONTRACTUALES 15
CAPITULO 5. ASPECTOS FINANCIEROS 19
CAPÌTULO 6. ENFOQUE Y METODOLOGÍA GENERAL DEL INVENTARIO 20
6.1 ENFOQUE GENERAL DEL PROYECTO 20
6.2. METODOLOGIA GENERAL DEL PROYECTO 22
6.2.1 INVENTARIO GEOMÉTRICO Y DE DAÑOS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO. 23
6.2.2 TOMA DE INFORMACIÓN PARA DEFLEXIÓN, IRI Y ESPESORES DE PAVIMENTOS 24
6.2.3 ESTUDIO DE TRÁNSITO 24
6.2.4 DEFINICIÓN DE LA BASE DE DATOS 25
6.2.5 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS 26
CAPITULO 7. PROCEDIMIENTOS PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN DURANTE LA ETAPA DE INVENTARIO 27
DESCRIPCIÓN Y UTILIDAD DEL MAPA DIGITAL 27
7.1 PROCEDIMIENTO PARA EL INVENTARIO GEOMÉTRICO 33
7.1.1 ANTECEDENTES 33
7.1.2 OBJETIVO Y ALCANCE 34
7.1.3 PROCEDIMIENTO 37

7.2 PROCEDIMIENTO PARA EL INVENTARIO DE DAÑOS DEL PAVIMENTO Y ESTADO DE LOS DRENAJES 42
7.2.1 ANTECEDENTES 42
7.2.2 OBJETIVO Y ALCANCE 43
7.2.3 PROCEDIMIENTO 45
7.2.4 CALCULO DEL MDR (MODIFIED DISTRESS RATING) O INDICE DE FALLAS SUPERFICIALES 52
7.2.5 CALCULO DEL OPI (OVERALL PAVEMENT INDEX) O INDICE DE CONDICIÓN GLOBAL DEL PAVIMENTO 63
7.3 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DEFLEXIONES 68
7.3.1 ANTECEDENTES 68
7.3.2 OBJETIVO Y ALCANCE 68
7.3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO 69
7.3.4 PROCEDIMIENTO 70
7.3.5 CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE (MR) 74
7.3.6 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN) 75
7.3.7 CÁLCULO DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (*K*) 79
7.4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR RUGOSIDAD 81
7.4.1 ANTECEDENTES 81
7.4.2 OBJETIVO Y ALCANCE 81
7.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS 82
7.4.3.1 Perfilógrafo “Road Surfase Profiler L5.2 Tipo Laser 82
7.4.3.2 Rugosímetro Tipo Merlín 84
7.4.4 PROCEDIMIENTO 85
7.4.5 CALCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) 88

7.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS ESPESORES DE CAPAS DEL PAVIMENTO 89
7.5.1 ANTECEDENTES 89
7.5.2 OBJETIVO Y ALCANCE 90
7.5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS 91
7.5.3.1 Georadar (GPR) 91
7.5.3.2 Apiques 92
7.5.4 PROCEDIMIENTO 93
7.5.4.1 Método Pulse Radar Y Método Milenium 93
A. TOMA DE DATOS 94
B. INTERPRETACIÓN DE DATOS 95
7.5.4.2 Método Fullradar 97
A. TOMA DE DATOS 97
B. INTERPRETACIÓN DE DATOS 98
7.5.4.3 Método Fullradar Mejorado 99
7.5.4.4 Método Convencional (Apiques) 101
A. TOMA DE DATOS 101
B. INTERPRETACIÓN DE DATOS 102
7.6 ESTUDIO DE TRÁNSITO 103
7.6.1 ANTECEDENTES 103
7.6.2 OBJETIVO Y ALCANCE 104
7.6.3 FUENTES DE INFORMACIÓN 104
7.6.3.1 Información secundaria 105
7.6.3.2 Información Primaria 108
7.6.3.3 Criterios de Extrapolación 110
7.6.3.4 Composición Vehicular 112
7.6.3.5 Tasas de Crecimiento del Tránsito 113

7.6.4 ANALISIS DE LA INFORMACION 116
7.6.4.1 Criterios de Asignación de Tránsito y su Respectiva Composición Vehicular 116
7.6.4.2 Definición del Bus y Camión Tipo 116
7.6.4.3 Determinación del Numero de Ejes Equivalente a 8.2 ton 117
7.6.4.4 Determinación del Factor Daño 118
7.6.4.5 Jerarquías de Tránsito 120
7.6.5 PRODUCTOS DEL ESTUDIO DE TRANSITO 121
7.6.6 VOLUMENES VEHICULARES POR LOCALIDAD 121
CAPITULO 8. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS 122
8.1 ANTECEDENTES 122
8.2 OBJETIVO Y ALCANCE 123
8.3 PROCEDIMIENTO 124
8.4 ESTRUCTURAS DE INFORMACIÓN 125
8.4.1 TABLAS DE VALIDACIÓN 125
8.4.2 TABLAS DE CONTROL 129
8.4.3 TABLAS DE RESULTADO 133
8.4.4 TABLAS NO UTILIZADAS 143
8.4.5 UNIDADES DE MEDIDA 144
CAPITULO 9. PROGRAMA DE MATENIMIENTO Y GESTION DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE VÍAS URBANAS (S.A.V.U) PARA LA MALLA VIAL DE BOGOTÁ 146
9.1 INTRODUCCION 146
9.2 GENERALIDADES 148
9.3 RECOPILACION DE DATOS 149
9.4 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS 151
9.5 ELABORACION DE LOS SUBSISTEMAS DE GESTION Y MANTENIMIENTO 153

9.5.1 SUBSISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS (PMS) 154
9.5.1.1 Curvas de Deterioro 155
9.5.1.2 Niveles Límites de Servicio del Pavimento: Niveles “Debe” y “Puede” 159
9.5.1.3 Criterios de Optimización 160
9.5.1.4 Parámetros Generales 162
9.5.1.5 Alternativas de Intervención 166
9.5.1.6 Cálculo de Espesores de Recapeo 168
9.5.1.7 Resultados Obtenidos 177
9.5.2 SUBSISTEMA DE MANTENIMIENTO 179
9.5.2.1 Actividades de Mantenimiento 179
9.5.2.2 Parámetros 181
9.5.2.3 Resultados 183
9.5.3 MÓDULO DE MAPAS 185
GLOSARIO 187

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el Informe Final del Contrato IDU 834 de 1999, su otrosí y sus Contratos adicionales No. 1 y No. 2, cuyo objeto principal es la Consultoría realizada por la firma TNM LIMITED para el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU), con el objeto de elaborar el Inventario Vial de las Localidades de Bosa, Tunjuelito, Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Fontibón y Rafael Uribe, para evaluar y priorizar estrategias de intervención en Bogotá.

Este informe se ha desarrollado de la siguiente manera:

1. Un Documento Maestro en el cual se describen detalladamente, en forma de manual, todos los procedimientos realizados para el acopio de la información del Inventario de los segmentos Viales existentes en cada una de las Localidades objeto de la Consultoría, así como los procedimientos para la obtención de los valores para cada uno de los parámetros incluidos en la Base de Datos entregada al IDU, a partir de la información obtenida en campo, para fortalecer la “Memoria Institucional del IDU”.

Se incluye también en esta parte del informe, el documento de especificaciones funcionales con la definición de la estructura de la Base de Datos y las fuentes de información tomadas para alimentarla.

Finalmente, en el Documento Maestro se incluye la descripción y el Manual del Usuario relativo al Sistema de Administración de Vías Urbanas, desarrollado para el proyecto.

El Documento Maestro tiene un volumen anexo en el cual se incluyen los procedimientos desarrollados para Control de Calidad de cada una de las etapas del proyecto y los demás documentos anunciados en el texto del mismo.

2. Un documento por cada una de las Localidades objeto de la Consultoría, en el cual se muestran los resultados tanto de la parte del Inventario como del Sistema de Gestión, incluyendo la Priorización de vías a intervenir, la Determinación y Evaluación de las Alternativas de Intervención sobre la red y la estimación del Plan de Mantenimiento Anual.

3. Un volumen por cada una de las Localidades que contiene los planos ilustrativos de los resultados obtenidos tanto en la fase de Inventario como los relativos al Sistema de Gestión de Pavimentos, en sus subsistemas de Gestión y Mantenimiento.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

Mediante el Acuerdo Número 02 de 1999 emanado del Honorable Concejo de la Ciudad de Santa Fe de Bogotá, D. C., el día 21 de Diciembre de 1998, se ordenó a la Administración Distrital la creación de un Sistema de Información de la Malla Vial a cargo del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) que permitiera tener el adecuado conocimiento para realizar los correspondientes estudios a desarrollar en la Malla Vial de la ciudad.

Con base en lo indicado en el párrafo anterior, el IDU elaboró los Términos de Referencia para efectuar esta labor a través de dos (2) contratos. Para el efecto incluyó en el primer contrato, según Invitación IDU-ID-DTMV-BMU-161-1999, las siguientes doce (12) Localidades: Chapinero, Santa fe, Candelaria, Teusaquillo, Barrios Unidos, Usaquén, Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, Suba, Engativá y Kennedy, con una longitud total de aproximadamente 2380 kms, según el plano digital de la ciudad; y en el segundo contrato, según los Términos de Referencia del Concurso Público IDU-CM-DTMV-016-1999, incluyó las siguientes siete (7) Localidades: Bosa, Tunjuelito, Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Fontibón y Rafael Uribe, con una longitud total aproximada de 1974 kms, según el plano digital de la ciudad.

Mediante resolución No. O940 del 8 de Septiembre de 1999 se ordenó la apertura del Concurso Público IDU-CM-DTMV-016-1999 por medio del cual EL DISTRITO

CAPITAL – INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, buscaba seleccionar al consultor que llevara a cabo el **INVENTARIO VIAL EN LAS LOCALIDADES DE BOSA, TUNJUELITO, USME, SAN CRISTÓBAL, CIUDAD BOLIVAR, FONTIBÓN Y RAFAEL URIBE, PARA EVALUAR Y PRIORIZAR ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN EN SANTA FE DE BOGOTÁ, D.C.**, el cual fue abierto el día 6 de Octubre de 1999 y cuyo cierre se realizó el día 21 de Octubre del mismo año.

Luego de analizadas las propuestas presentadas por parte del Comité de Adjudicaciones y efectuada la valoración de los aspectos técnicos, financieros, de legalidad y trasparencia, conforme a lo dispuesto por la Ley 80 de 1.993, la Dirección Técnica de Malla Vial mediante resolución No. 1634 del 22 de Diciembre de 1.999, adjudicó el Concurso Público a la firma TNM LIMITED con un plazo de ejecución de seis (6) meses contados a partir de la fecha de la orden de iniciación.

Con base en lo anterior, el día 24 de Diciembre de 1999 se firmó el contrato de Consultoría No. 834 de 1999, entre el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la firma TNM LIMITED, cuyo objeto indica: “El **CONSULTOR** se compromete para con el **IDU** a elaborar a precio global fijo, el inventario Vial de las Localidades de Bosa, Tunjuelito, Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Fontibón y Rafael Uribe para evaluar y priorizar estrategias de intervención en Santa fe de Bogotá D.C., de conformidad con la propuesta presentada el 21 de Octubre de 1999, con las especificaciones indicadas en los Términos de Referencia y bajo las condiciones estipuladas en el contrato”.

En igual forma, el día 27 de Diciembre de 1999 se firmó el contrato de Interventoría No. 801 de 1999, entre el Instituto de Desarrollo Urbano y el Consorcio Borda - Paz, cuyo objeto indica: “Ejercer la Interventoría Técnica, Administrativa y Financiera, a precio global fijo del inventario Vial de las

Localidades de Bosa, Tunjuelito, Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Fontibón y Rafael Uribe en Santa fe de Bogotá D.C., de conformidad con la propuesta presentada el día 29 de Noviembre de 1999, con las especificaciones indicadas en los términos de referencia y bajo las condiciones estipuladas en el contrato".

Posteriormente se elaboró el CONTRATO ADICIONAL NÚMERO 01 AL CONTRATO 834 DE 1999 para cubrir la adición de segmentos Viales que no estaban incluidos en el contrato inicial, la necesidad de tomar los datos de extensión de los daños de los pavimentos en forma precisa para obtener la información pertinente para desarrollar un adecuado Sistema de Administración de Pavimentos e incluir además la implementación de un software de Gestión para Pavimentos Urbanos; este Contrato Adicional fue firmado el día 28 de julio del año 2000.

Finalmente dado que, por razones de carácter presupuestal, en el Contrato adicional No. 1 no fue posible incluir todos los segmentos Viales existentes en la Localidad de Ciudad Bolívar y algunos segmentos nuevos de las zonas consolidadas no incluidos en el mapa digital de las siete (7) Localidades objeto del estudio, el día 30 de Octubre del año 2000 se suscribió el CONTRATO ADICIONAL NÚMERO 2 AL CONTRATO 834 DE 1999, con el objeto de incluir en el inventario y la gestión estos segmentos y así cubrir el cien por cien de los segmentos Viales existentes en las siete (7) Localidades.

CAPITULO 3

OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objeto general previsto para el estudio fue:

- Realizar el inventario de la red Vial con el fin de disponer de la información necesaria sobre su estado actual y conocer los tipos de intervenciones requeridas y el plan de mantenimiento rutinario y periódico, para la malla Vial de las localidades de BOSA, TUNJUELITO, USME, SAN CRISTÓBAL, CIUDAD BOLÍVAR, FONTIBÓN Y RAFAEL URIBE, basado en la evaluación de alternativas técnicas – económicas, acorde a las necesidades reales de Bogotá.

Los objetos específicos considerados en el estudio fueron:

- Entregar al IDU una base de datos con la información del Inventario
- Desarrollar e Implementar un Sistema de Administración de Vías Urbana (S.A.V.U.) para Bogotá D.C.

La realización del proyecto contempla los siguientes alcances:

- Realizar el inventario detallado de la malla Vial de las localidades indicadas en el contrato, relevando: la geometría, el estado superficial de sus pavimentos, la señalización, los andenes, los separadores y los drenajes pluViales
- Efectuar las mediciones de rugosidad del pavimento

- Efectuar el estudio deflectométrico para calcular el número estructural, el módulo resiliente y módulo de reacción de la subrasante.
- Determinar los espesores de la estructura del pavimento
- Realizar un estudio de tránsito para establecer los volúmenes de tráfico correspondientes.
- Desarrollar e Implementar un programa de gestión de pavimentos para Bogotá D.C.
- Presentar las calibraciones realizadas para la determinación del Indice de Fallas Superficiales y del Indice de Condición Global del Pavimento
- Presentar una metodología para la creación de curvas de deterioro para Bogotá D.C.

Toda la información obtenida en la fase de inventario se cargó en una base de datos “Access” para fortalecer la memoria institucional del IDU. Esta información se ingresa debidamente codificada en una base de datos georeferenciada sobre una base cartográfica en "ArcView". Adicionalmente desde esta base de datos se alimenta un Sistema de Administración de Pavimentos de Vías Urbanas a través de un programa “convertidor”, implementado para el proyecto por TNM LIMITED a solicitud del IDU.

Una vez realizado el inventario y utilizando el Sistema de Administración de Pavimentos para Vías Urbanas desarrollado por TNM LIMITED, se evaluaron alternativas de intervención de la red, buscando establecer cómo se puede obtener una mejora significativa en su nivel de servicio. También se determinó un Plan de Mantenimiento rutinario y periódico de la malla Vial con sus costos asociados, con el fin de elevar el nivel de servicio de las vías, con las intervenciones propuestas.

CAPITULO 4

ASPECTOS CONTRACTUALES

Como ya se indicó con anterioridad, el día 24 de Diciembre de 1999 se firmó el Contrato IDU 834 de 1999, celebrado entre el Instituto de Desarrollo Urbano (**IDU**) y la firma TNM LIMITED cuyo objeto indica en la CLAUSULA PRIMERA: "El **CONSULTOR** se compromete para con el **IDU** a elaborar a precio global fijo, el inventario Vial de las Localidades de Bosa, Tunjuelito, Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Fontibón y Rafael Uribe para evaluar y priorizar estrategias de intervención en Santa fe de Bogotá D.C., de conformidad con la propuesta presentada el 21 de Octubre de 1999, con las especificaciones indicadas en los Términos de Referencia y bajo las condiciones estipuladas en el contrato".

De acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA TERCERA, de conformidad con el artículo 46 de la Ley 488 de 1.998 y para efectos legales, el valor del contrato fue establecido, a suma global, en un monto de **MIL CIENTO NOVENTA Y CUATRO MILLONES CIENTO DIECISEIS MIL TRESCIENTOS SETENTA Y NUEVE PESOS ($1.194´116.379) M/CTE**, incluido el IVA, suma equivalente a cinco mil cuarenta y nueve (5049) salarios mínimos legales mensuales vigentes para 1.999, discriminados así: la suma de MIL TREINTA Y OCHO MILLONES TRESCIENTOS SESENTA Y DOS MIL SESENTA Y NUEVE PESOS ($1.038´362.069) M/CTE, como valor básico de la propuesta, y la suma de CIENTO CINCUENTA Y CINCO

MILLONES SETECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL TRESCIENTOS DIEZ PESOS ($155´754.310) M/CTE por concepto del IVA.

El plazo fijado para el Contrato de acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA OCTAVA, fue de seis (6) meses contados a partir de la fecha del Acta de Iniciación de los trabajos o impartida la orden por la Dirección Técnica de Malla Vial, estableciéndose la vigencia del contrato en un término del plazo fijado en el Contrato más dos (2) meses, es decir en ocho (8) meses.

En el anexo No.1 se adjunta una copia del Contrato IDU 834 de 1.999.

De acuerdo con el Acta No. 1 de Iniciación del Contrato IDU 834 de 1999 de la Dirección Técnica de Malla Vial (copia de la cual de adjunta en el anexo No. 1) se determinó la fecha del 1º de Febrero del año 2000, como fecha de iniciación de los trabajos y por tanto se estableció como fecha de finalización del contrato el día 1º de Agosto del año 2000.

En atención a la comunicación REG-0039-00 del 3 de Febrero del 2000 (copia de la cual adjuntamos en el anexo No. 1) enVíada por TNM LIMITED al IDU, el día 27 de Marzo del año 2000, se firmó el **OTROSI AL CONTRATO No. 834 DE 1.999** mediante el cual se modificó la forma de pago prevista en la CLAUSULA CUARTA del Contrato principal, considerando que esta debía ajustarse a lo indicado en los Términos de Referencia del Concurso Público que dio origen al Contrato. En el anexo No. 1 se adjunta una copia de este Otrosí.

Posteriormente, en consideración a que la cantidad de segmentos Viales incluidos en el contrato inicial no cubrían en su totalidad los segmentos Viales indicados en el mapa digital y a la necesidad de tomar los datos de extensión de los daños de

los pavimentos en forma precisa para obtener la información pertinente para desarrollar un adecuado Sistema de Administración de Pavimentos, se elaboró el **CONTRATO ADICIONAL NÚMERO 01 AL CONTRATO 834 DE 1999** para cubrir estos puntos, incluyendo además la implementación de un software de Gestión para Pavimentos Urbanos; este Contrato Adicional fue firmado el día 28 de julio del año 2000 y una copia de este se adjunta en el anexo No. 1.

De acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA PRIMERA de este Contrato Adicional, el valor del contrato fue establecido, a suma global, en un monto de **CUATROCIENTOS MILLONES DE PESOS ($400´000.000) M/CTE**, incluido el IVA, equivalente a mil quinientos treinta y siete (1537) salarios mínimos legales mensuales vigentes, discriminados así: la suma de TRESCIENTOS CUARENTA Y SIETE MILLONES OCHOCIENTOS VEINTISEIS MIL OCHENTA Y SIETE PESOS ($347´826.087) M/CTE, como valor básico y la suma de CINCUENTA Y DOS MILLONES CIENTO SETENTA Y TRES MIL NOVECIENTOS TRECE PESOS ($52´173.913) M/CTE por concepto de IVA.

El plazo, de acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA SEGUNDA, fue prorrogado en tres (3) meses, contados a partir de la fecha de terminación prevista para el Contrato principal, es decir que la fecha de finalización del contrato se estableció para el 1º de Noviembre del año 2000.

Dado que, por razones de carácter presupuestal, en el Contrato adicional No. 1 no fue posible incluir todos los segmentos Viales existentes en la Localidad de Ciudad Bolívar y algunos segmentos nuevos de las zonas consolidadas no incluidos en el mapa digital de las siete (7) Localidades objeto del estudio, el día 30 de Octubre del año 2000 se suscribió el **CONTRATO ADICIONAL NÚMERO 2 AL CONTRATO 834 DE 1999,** con el objeto de incluir en el inventario y la gestión

estos segmentos y así cubrir el cien por cien de los segmentos Viales existentes en las siete (7) Localidades. Copia de este contrato adicional se adjunta en el anexo No. 1.

De acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA PRIMERA de este Contrato Adicional, el valor del contrato fue establecido, a suma global, en un monto de **SESENTA MILLONES DE PESOS ($60´000.000) M/CTE**, incluido el IVA, equivalente a doscientos treinta y un (230) salarios mínimos legales mensuales vigentes, discriminados así: la suma de CINCUENTA Y DOS MILLONES CIENTO SETENTA Y TRES MIL NOVECIENTOS TRECE PESOS ($52´173.913) M/CTE, como valor básico y la suma de SIETE MILLONES OCHOCIENTOS VEINTISEIS MIL OCHENTA Y SIETE PESOS ($7´826.087) M/CTE por concepto del IVA.

El plazo de acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA SEGUNDA, fue prorrogado en un (1) mes contados a partir de la fecha de terminación prevista para el Contrato Adicional No. 1, es decir que la fecha de finalización del contrato se estableció para el 1º de Diciembre del año 2000.

De acuerdo con el cronograma previsto para el inventario, aprobado por la Interventoría del proyecto y por el IDU, TNM LIMITED cumplió con las actividades previstas finalizando de manera oportuna el proyecto. En el gráfico incluido en el anexo No. 1 se observa la curva de desarrollo del avance porcentual en cada semana de ejecución del proyecto.

De igual manera, TNM LIMITED cumplió con todas y cada una de las estipulaciones del contrato tales como la oportuna legalización del contrato principal y sus adicionales, el manejo y la legalización del anticipo y una adecuada organización para el Control de Calidad de los trabajos realizados.

CAPITULO 5

ASPECTOS FINANCIEROS

De acuerdo con lo indicado en la CLAUSULA CUARTA del contrato principal, en la CLAUSULA PRIMERA del otrosí al Contrato principal, en el PARÁGRAFO TERCERO de la CLAUSULA PRIMERA del Contrato Adicional 01 y en el PARÁGRAFO SEGUNDO del Contrato Adicional 2, el IDU canceló a TNM LIMITED el valor previsto en los contratos de acuerdo con los valores y fechas indicados en la siguiente tabla:

RELACIÓN DE LOS PAGOS EFECTUADOS
CONTRATO IDU 834 de 1.999 Y SUS ADICIONALES

	Acta No.	Concepto	Valor Básico	Amortización Anticipo	Subtotal	Más IVA 15%	Valor Total	Fecha Radicación	Número de Radicación	Fecha Pago
Contrato Principal	Acta 2	Anticipo 30%	$311,508,621.00	-	$311,508,621.00	$46,726,293.00	$358,234,914.00	2-Feb-00	-	3-Mar-00
	Acta 4	1er Pago - Febrero/00	$155,754,310.00	$59,705,819.00	$96,048,491.00	$23,363,147.00	$119,411,638.00	5-May-00	2415	9-Jun-00
	Acta 6	2e Pago - Marzo/00	$155,754,310.00	$59,705,819.00	$96,048,491.00	$14,407,274.00	$110,455,765.00	19-May-00	2606	19-Jun-00
	Acta 8	3er Pago - Abril/00	$155,754,310.00	$59,705,819.00	$96,048,491.00	$14,407,274.00	$110,455,765.00	1-Jun-00	2978	17-Jul-00
	Acta 11	4e Pago - Mayo/00	$155,754,310.00	$59,705,819.00	$96,048,491.00	$14,407,274.00	$110,455,765.00	7-Jun-00	3525	4-Ago-00
	Acta 13	5e Pago - Junio/00	$155,754,310.00	$59,705,819.00	$96,048,491.00	$14,407,274.00	$110,455,765.00	25-Jul-00	3969	28-Ago-00
	Acta 15	6e Pago - Julio/00	$155,754,310.00	$59,705,819.00	$96,048,491.00	$14,407,274.00	$110,455,765.00	15-Ago-00	4314	14-Sep-00
Adicional 01	Acta 17	1er Pago - Agosto/00	$173,913,043.00	-	$173,913,043.00	$26,086,957.00	$200,000,000.00	19-Sep-00	5105	18-Oct-00
	Acta 19	2e Pago - Septiembre/00	$104,347,826.00	-	$104,347,826.00	$15,652,174.00	$120,000,000.00	17-Oct-00	5721	Pendiente
	Acta 21	3er Pago - Octubre/00	$69,565,217.00	-	$69,565,217.00	$10,434,783.00	$80,000,000.00	9-Nov-00	Pendiente	Pendiente
2	Pendiente	Pago - Noviembre/00		-					Pendiente	Pendiente
	Liquidación	Saldo 10% C. Principal		-					Pendiente	Pendiente

CAPITULO 6

ENFOQUE Y METODOLOGÍA GENERAL DEL INVENTARIO

Para el desarrollo general del inventario Vial, TNM LIMITED en conjunto con la Interventoría del Contrato y con el IDU, establecieron los criterios para su enfoque y la metodología general a utilizar.

6.1 ENFOQUE GENERAL DEL PROYECTO

Con el objeto de evaluar la red Vial urbana existente y priorizar estrategias técnicas y económicas de intervención para la malla Vial de Bogotá, el IDU contrató con TNM, un proyecto de Inventario y el desarrollo de un Sistema de Administración de Vías Urbanas, con miras a conocer el estado actual y mejorar la red deteriorada para elevarla a un nivel de servicio determinado. De esta manera se satisfacen las necesidades de la ciudad y los requerimientos del Distrito.

Las vías de la red urbana de toda ciudad representan no solo una parte de la infraestructura de transporte, sino que a la par es un patrimonio significativo para la ciudad. Mediante el Inventario de la Malla Vial se ha tenido una valoración del estado real de las vías que la conforman. Este es el primer punto del proyecto: la identificación de la red a la cual se pretende gestionar un sistema de administración de pavimentos.

Tradicionalmente el proceso de decisión para la administración de vías urbanas ha estado basado en la experiencia local y empírica y no siempre ha estado definida en fundamentos técnicos y económicos. Además, los pavimentos durante su tiempo en servicio presentan diferentes deterioros causados por las acciones combinadas del tránsito y los factores climáticos y ambientales. Estas condiciones y características de las vías son de obligatorio conocimiento por parte de las Entidades Gubernamentales y los profesionales afines con la gestión de pavimentos.

En vista de esta necesidad, a través de este proyecto se han realizado calibraciones de diferentes metodologías para la calificación de los pavimentos, así como la implementación de una metodología para obtener curvas propias de deterioro de los pavimentos para Bogotá. Así, las decisiones respecto al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de las vías no sólo tienen incidencia en la parte económica y técnica sino que también existe la participación ciudadana, ya que los usuarios de las vías comienzan a interpretar una buena condición de servicio y exigir la seguridad y confort que ellas deben ofrecer. De esta manera se tiene el segundo punto del proyecto: los planes de acción sobre la malla identificada.

El presente documento muestra los trabajos de Inventario y Diagnóstico que se llevaron a cabo en la red urbana de Bogotá, las tecnologías y metodologías empleadas y el desarrollo del Sistema de Administración de Vías Urbanas (S.A.V.U.), calibrado para condiciones locales. Se dará una explicación de los módulos que conforman el programa, tanto para la gestión como para el mantenimiento; y del módulo de mapas que permite evaluar visualmente los resultados de la red.

6.2. METODOLOGIA GENERAL DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto se identificaron las siguientes etapas principales, las cuales se esquematizan en el organigrama de la figura No. 6.1:

- RECOPILACION DE DATOS: Que comprende: Inventario de Geometría, Daños Superficiales del Pavimento, Estado de los Drenajes, Toma de información con equipos especializados para determinar Deflexiones, Rugosidad, Estructura de los pavimentos y Estudio de Tránsito.
- CONSTRUCCION E IMPLEMENTACION DE LA BASE DE DATOS
- DESARROLLO DE LOS SUBSISTEMAS DE GESTION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ADMINISTRACION DE VÍAS URBANAS – S.A.V.U.

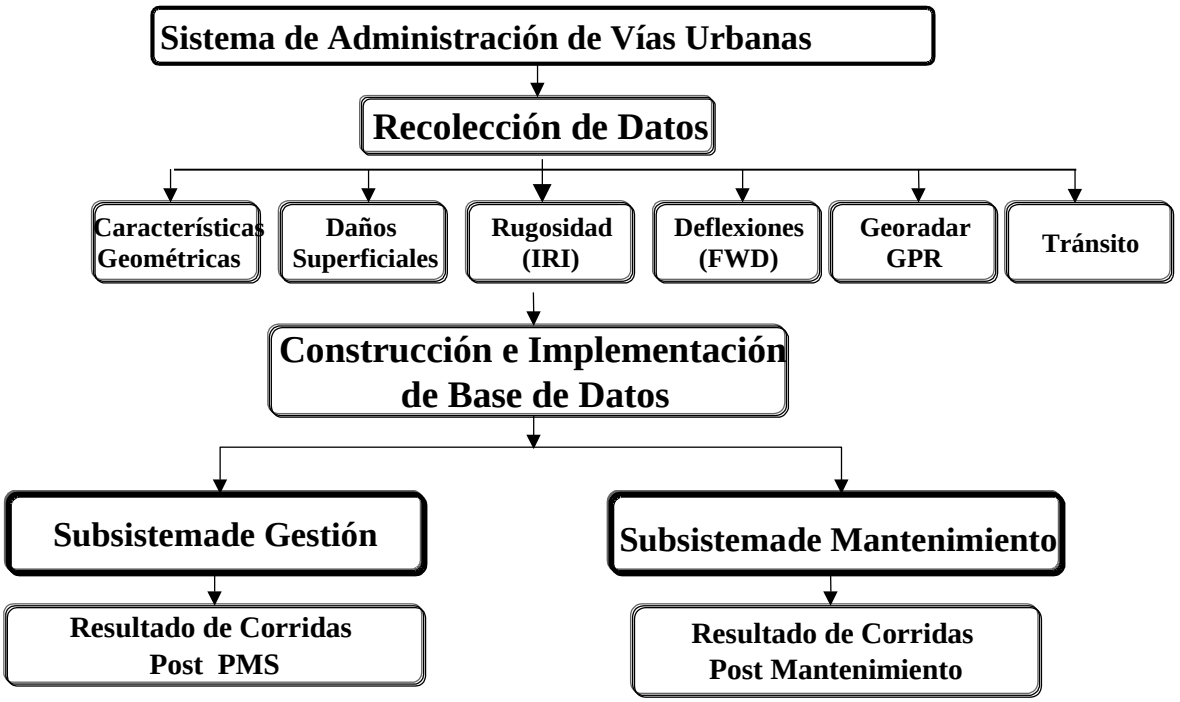


Fig. No. 6.1: Organigrama de las etapas del Sistema de Administración de Vías Urbanas

6.2.1 INVENTARIO GEOMÉTRICO Y DE DAÑOS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO.

Con el objeto de poseer información real y actualizada del estado superficial de los pavimentos, se realizó el Inventario de la malla Vial. Como primer punto se especificó la necesidad de un relevamiento de las características geométricas o generales de vía. Otra consideración adicional fue el relevamiento de la condición estructural de la vía, esto se lo realizó a través de la auscultación de los daños superficiales del pavimento y de la condición de los drenajes.

Con base en la identificación de los segmentos del Mapa Digital, como se describe en detalle en el capítulo 7 y dados los volúmenes de información a manejar en el inventario, se decidió realizar toda la toma de información a través de equipos electrónicos computarizados, de tal forma que la información pudiera fluir a través de programas (software) desarrollados para este fin. De esta manera se trabajó con equipos portátiles manuales para los trabajos de Inventario Geométrico y de Daños Superficiales del Pavimento y Estado de los Drenajes. Ver detalles en ítems 7.1 y 7.2 del presente documento.

Dadas las características del trabajo a realizar se determinó ejecutar la toma de información de los daños de los pavimentos con personal altamente calificado y con experiencia en patología de pavimentos y hacerlo caminando a lo largo de los segmentos para tener información detallada de estos.

6.2.2 TOMA DE INFORMACIÓN PARA DEFLEXIÓN, IRI Y ESPESORES DE PAVIMENTOS

Adicionalmente, para el relevamiento de la condición estructural de la vía se tuvo en cuenta la necesidad de realizar mediciones en lo referente a las deflexiones, la rugosidad y la determinación de los espesores de la estructura existente.

Dada la experiencia de la firma en trabajos similares y siendo que TNM LIMITED cuenta en el país con equipos de la más alta tecnología como el deflectómetro de impacto “Falling Weigth Deflectometer (FWD) 8000” para la determinación de las deflexiones del pavimento y el perfilógrafo RSP-L5 para la medición de la rugosidad, estos se vincularon al proceso al igual que un equipo de Georadar de propiedad del subcontratista Geocisa Ltda.

La descripción detallada, las características de estos equipos y los procedimientos realizados se encuentran discriminados en los ítems 7.3, 7.4 y 7.5.

6.2.3 ESTUDIO DE TRÁNSITO

Otro factor importante en cuanto a la toma de información fue la asignación de tránsito para cada uno de los segmentos y las consideraciones generales a este respecto.

Para poder estimar las solicitaciones a las que estará sometida la estructura del pavimento se determinó el número de ejes equivalen a 8.2 ton que circularán por cada uno de los segmentos de la red Vial urbana.

La asignación del tránsito en la red Vial fue el resultado del análisis conjunto de diferentes tipos o capas de información que cubren tres componentes:

- Componente Físico: Relativo al tipo de vía, anchos de calzadas y números de carriles y sentidos de circulación, según datos relevados en el inventario.
- Componente Funcional: Relativo a la jerarquización de la red y uso del suelo (zona residencial, comercial o industrial) y a las rutas utilizadas por el sistema de transporte público de la ciudad (basados en información de la Secretaria de Transporte)
- Componente Operativo: Relativo a la utilización de la red actual. Se procesó la información sobre volúmenes de tránsito disponible en la Dirección de Semaforización y fue complementada con conteos estratégicos en estaciones maestras e información recolectada de diversas fuentes del Distrito.

Interrelacionando estos componentes o capas, se establece la asignación del tránsito, para cada calzada, discriminando por tipo de vehículo: autos, buses y camiones. Finalmente, se determinó el número de ejes equivalentes para el diseño de pavimentos, considerando pesajes realizados de vehículos tipo que circulan en Bogotá.

Como complemento al estudio de tránsito se tiene la determinación de los factores daño por cada tipo de vehículo. Para más detalle ver ítem 7.7 del presente informe.

6.2.4 DEFINICIÓN DE LA BASE DE DATOS

Una vez relevada toda la información del inventario, se procedió a la creación de la Base de Datos General del IDU, tal cual se referencia en el Capítulo 8. Es decir, con esta información y conjuntamente con la de Consultoría Colombiana, empresa que a la par desarrolló la otra parte del Inventario de la ciudad, se alimentó una gran base de datos de la ciudad.

Con el objeto de definir una base de datos para el análisis, es decir, aquella con la que se correrá en el Sistema; se creó un programa “convertidor”. Este programa extrae los campos necesarios que es la información que el S.A.V.U. requiere para correr el sistema.

6.2.5 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS EN VÍAS URBANAS

La siguiente etapa del proyecto se enfocó en determinar cuál sería el software más apropiado para realizar la Gestión de los pavimentos inventariados. A este respecto los Términos de Referencia mencionaban la posibilidad de utilizar el “Paviment View Plus” con el cual contaba el IDU. Sin embargo, luego de realizadas varias gestiones con el proveedor, no fue posible obtener información suficiente que permitiese utilizarlo adecuadamente.

Aprovechando la experiencia de TNM LIMITED adquirida al desarrollar proyectos interurbanos de características similares realizados en otros países tales como Guatemala e Israel, se inició el estudio de un Programa de Gestión de Pavimentos en Vías Urbanas enfocado a la problemática de Bogotá, a fin de obtener un producto de las mejores condiciones para el cliente. Como se describe en el Capítulo 9, correspondiente al Sistema de Administración de Vías Urbanas, el programa fue desarrollado y adaptado a las condiciones locales de Bogotá y fue definido conjuntamente con la Interventoría y con el IDU como el sistema más adecuado para realizar la Gestión del proyecto.

CAPITULO 7

PROCEDIMIENTOS PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN DURANTE LA ETAPA DE INVENTARIO

A continuación se describe en forma detallada el procedimiento seguido para cada una de las siguientes actividades desarrolladas durante la etapa del inventario:

- Inventario Geométrico de los segmentos y sus calzadas.
- Inventario de daños del pavimento y estado de los drenajes.
- Determinación de la deflexión, número estructural y módulo resiliente de la subrasante.
- Medición del Indice de Rugosidad Internacional (IRI).
- Determinación de los espesores de la estructura del pavimento.
- Estudio del tránsito y cálculo del número de Ejes equivalentes.

DESCRIPCIÓN Y UTILIDAD DEL MAPA DIGITAL

En primer término se hará una descripción de la utilidad del Mapa Digital de la Ciudad, en el cual se apoyó el estudio, con el fin de identificar los segmentos de las distintas localidad que forman parte del Inventario.

Se definió utilizar el Mapa Digital propiedad del Departamento Administrativo de Catastro Distrital (D.A.C.D.), versión 1.999, el cual fue entregado por el IDU a TNM LIMITED; el Mapa entregado inicialmente estaba compuesto por la cobertura NomVial de las siete (7) localidades (una por cada localidad). Toda la identificación de los segmentos Viales y por tanto su respectiva información, está

referenciada al código de identificación NomVial de esta cobertura en cada Localidad.

Con el propósito de identificar las localidades de la ciudad, se les ha asignado un número, así se tiene:

San Cristóbal: 4
Usme: 5
Tunjuelito: 6
Bosa: 7
Fontibón: 9
Rafael Uribe: 18
Ciudad Bolívar: 19

Posteriormente y como complemento de la información requerida para el inventario y la gestión, el IDU hizo entrega de las siguientes coberturas:

- Coordenadas
- Límite de Localidad
- Manzanas
- Puntos de Control
- Perímetro de Servicios
- Puntos Geográficos
- Pozos de Alcantarillado
- Postes
- Puntos Topográficos
- Torres de Energía
- Líneas de Alta Tensión
- Vías Férreas
- Vías Peatonales

Para una adecuada comprensión tanto de la Base de Datos como de los planos y demás información relacionada con el inventario, en primer término es de la mayor importancia conocer como ha sido relacionada la información del inventario y de la Gestión al Mapa Digital entregado por el IDU.

El Mapa Digital en la cobertura NomVial contiene los ejes catastrales de la ciudad, los cuales forman una malla compuesta por segmentos; cada segmento es un vector que tiene un punto de inicio (nodo inicial), un punto de terminación (nodo final) y una dirección o sentido el cual está definido por la dirección en que crecen los números de la nomenclatura de la ciudad; cada segmento tiene un número identificador incluido en la tabla asociada al Mapa Digital en el campo NomVial, el cual fue utilizado como identificador del segmento.

Se define como Abscisa cero (0) el nodo inicial del segmento y todas las abscisas de los elementos asociados a un segmento se miden desde este punto. Dicho punto se ubica en el cruce de los ejes geométricos de las vías que se intersectan allí.

En la misma forma, el sentido del segmento (tomando siempre la dirección en que aumenta la nomenclatura) sirve para referenciar el orden de las calzadas existentes en un mismo segmento; durante el inventario las calzadas se numeraron desde uno (1) en adelante avanzando de derecha a izquierda, es decir la calzada número uno (1) es la primera a la derecha en el sentido del segmento, la número dos (2) es la siguiente avanzando hacia la izquierda, la calzada número tres (3) es la siguiente siempre avanzando hacia la izquierda y así sucesivamente hasta llegar a la calzada final. Ver ejemplo en la figura No.7.1 siguiente:

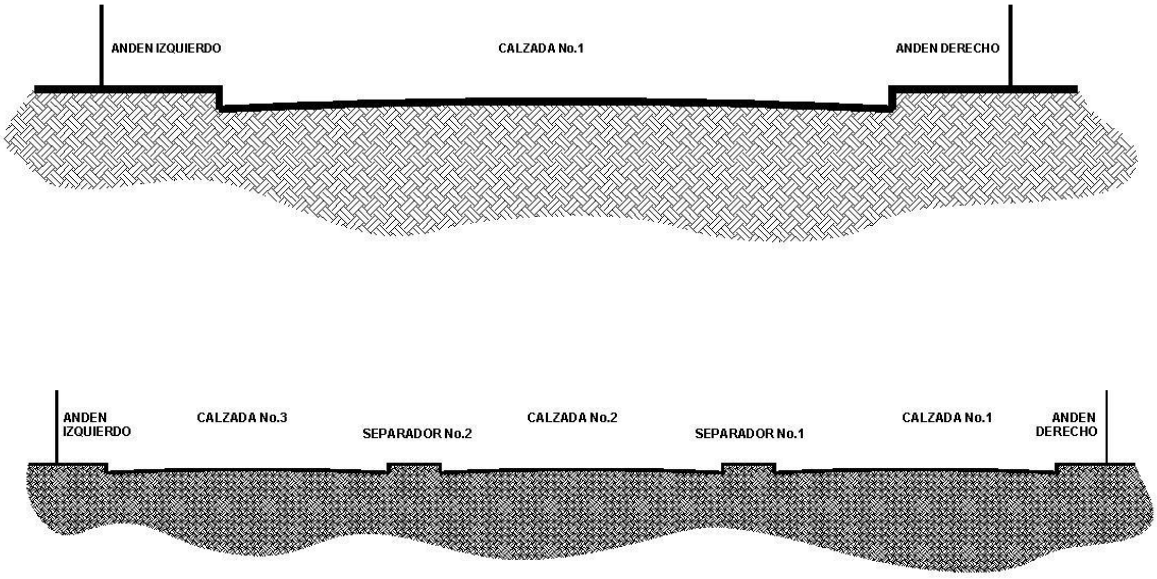


Fig. No. 7.1: Esquema de Asignación Inicial de Numeración por Calzada

Sin embargo, para alimentar la Base de Datos final, al unificar criterios con la otra firma contratista del inventario Vial, este orden de numeración de las calzadas se modificó estableciendo un número de orden para todos los elementos que componen la sección transversal del segmento, de la siguiente manera:

El número de orden uno (1) corresponde al elemento andén izquierdo del segmento (siempre tomando como dirección del vector el sentido en que crece (aumenta) la nomenclatura de la ciudad).

El número de orden dos (2) corresponde a la primera o a la única calzada existente en el segmento. En caso de existir más calzadas los siguientes números de orden pares (4,6,8, etc.), corresponden a las siguientes calzadas existentes en el segmento, siendo el número de orden dos (2) la primera calzada a la izquierda, el número de orden cuatro (4) la siguiente calzada avanzando de izquierda a derecha y así sucesivamente hasta la última calzada existente en el segmento.

El número de orden tres (3) corresponde al elemento andén derecho en caso de que el segmento solo tenga una calzada. En caso contrario, es decir si el segmento tiene más de una calzada, este número de orden corresponde al primer separador de calzadas ubicado a la izquierda en el sentido de la dirección del vector. Los siguientes números de orden impares (5,7, etc.) corresponderán a los siguientes separadores entre calzadas avanzando de izquierda a derecha. En este caso, es decir bajo la existencia de varias calzadas, el número de orden del elemento andén derecho será el último de los impares existentes en el segmento.

En la figura No.7.2 se muestran los esquemas siguientes, estos son ejemplos de la forma como ha quedado definida en la Base de Datos la sección transversal de los segmentos Viales de acuerdo con lo indicado en los párrafos anteriores:

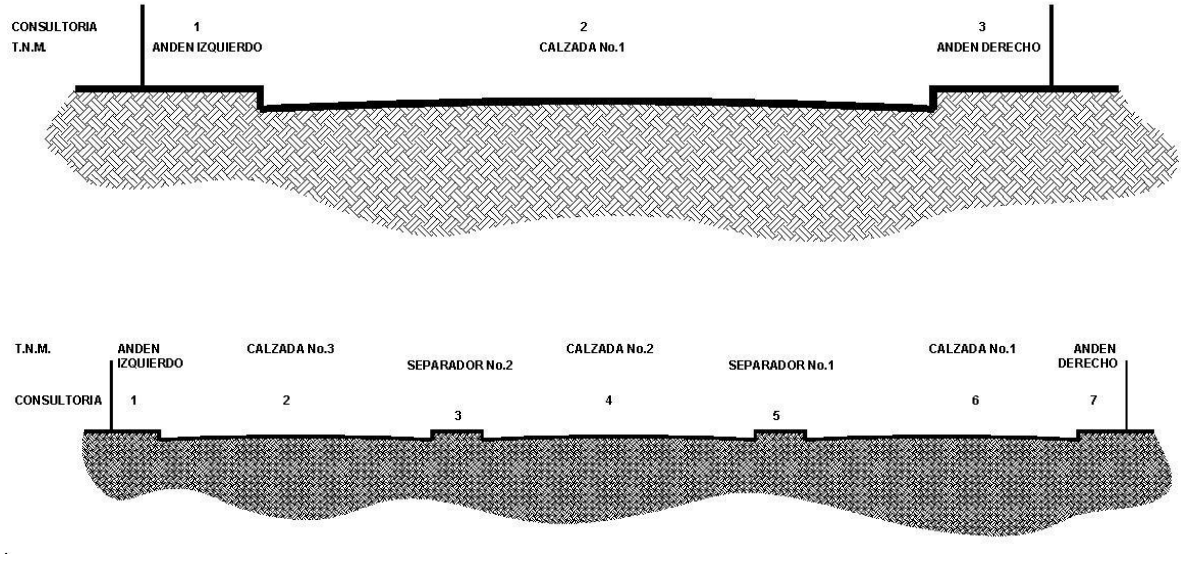


Fig. No. 7.2: Esquema Final de Asignación de Numeración de Calzadas

Dado que los segmentos mostrados en el Mapa Digital en la cobertura, corresponden a ejes generadores de nomenclatura Vial, en muchos casos estos no existen como segmentos de vías vehiculares, los cuales eran los únicos objeto del inventario; por esta razón se decidió realizar en primer término el Inventario Geométrico con comisiones de topografía las cuales debían visitar todos los ejes mostrados en el Mapa Digital y determinar de esta manera la existencia o no de una vía en el segmento mostrado en el Mapa, obteniéndose una adecuada información de la existencia de los segmentos Viales para las siguientes etapas del inventario.

7.1 PROCEDIMIENTO PARA EL INVENTARIO GEOMÉTRICO.

7.1.1 ANTECEDENTES

Los Términos de Referencia solicitaban recopilar información sobre los siguientes campos para cada tramo de vía:

- Longitud y área del tramo
- Ancho de la calzada
- Número de carriles
- Ancho de los andenes
- Ancho y características del separador central
- Existencia de bahías de estacionamiento sobre la vía
- Puentes
- Señalización horizontal y vertical
- Postes de alumbrado y semáforos
- Drenaje pluVial: tipo y ubicación
- Existencia y estado de los sardineles y/o confinamiento del pavimento

Con comunicación de Enero 26 del 2000, enVíada al IDU conjuntamente por TNM LIMITED y el Consorcio Consultoría Colombiana S.A. – AIM Ltda (contratista para las otras Localidades) se planteó el irrelevante aporte que tiene para un programa de gestión de pavimentos la información de ubicación de postes. Posteriormente se pudo constatar la existencia de una cobertura de postes, la cual además estaba siendo actualizada por la empresa de energía con la firma Consultoría Colombiana S.A. Con la comunicación REG-0250-00 de Julio 11 del 2000, TNM LIMITED solicitó la eliminación del alcance del contrato de toda la información referente a los postes la cual fue contestada en forma afirmativa por el IDU con la comunicación STDP-4100-4394 de Julio 26 del 2000, a través de la comunicación I7-060-00 de Julio 31 del mismo año emanada de la Interventoría del contrato.

De otra parte, con comunicación I7-050-00 del 13 de Julio del 2000, la Interventoría del contrato notificó a TNM LIMITED la suspención del levantamiento de los puentes, teniendo en cuenta que a través de otra dependencia del IDU se venía adelantando un programa específico para el inventario de todos los puentes existentes en la ciudad.

7.1.2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de esta parte del informe es documentar el procedimiento adoptado para la realización del Inventario Geométrico. Como alcance para este procedimiento se incluye la toma de las variables indicadas a continuación en cada uno de los elementos que componen los segmentos, tanto para aquellos incluidos en el Mapa Digital, como para los segmentos nuevos (los que no se encontraban en el Mapa Digital pero cuya existencia se evidenció durante el levantamiento en campo).

Las variables sombreadas representan los campos de acceso al registro, dentro de la base de datos.

DATOS GENERALES DEL SEGMENTO:

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (numero identificador en el Mapa Digital)
Longitud Real del Segmento (longitud medida en campo)
Tipo de Andén Derecho (material del andén)
Tipo de Andén Izquierdo (material del andén)
Ancho Andén Derecho (medido en campo)
Ancho Andén Izquierdo (medido en campo)
Tipo de Pendiente (determinada en campo por rangos)
Número de Calzadas (identificadas en campo)
Número de Separadores (identificados en campo)
Número de Bahías (identificadas en campo)
Número de Drenajes (identificados en campo)
Número de Demarcaciones (identificadas en campo)
Número de Señales (identificadas en campo)

DATOS DE LAS CALZADAS:

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Tipo de Superficie (material de la superficie de rodadura)
Ancho de la Calzada (medido en campo)
Número de Carriles (determinado de acuerdo a parámetros)
Sentido de Tráfico (con o contra sentido segmento o doble sentido)

DATOS DE LOS SEPARADORES

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Tipo de Separador (material de la superficie)
Ancho del Separador (medido en campo)

DATOS DE LAS BAHÍAS

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Número de la Bahía (número de orden en la calzada según sentido del segmento)
Lado de Ubicación (izquierda o derecha según sentido del segmento)
Ancho de la bahía (medido en campo a partir del borde de la calzada)
Abscisa inicial (inicio de la bahía desde punto inicial del segmento)
Abscisa final (terminación de la bahía desde punto inicial del segmento)

DATOS DE LOS CONFINAMIENTOS

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Tipo Confinamiento Izquierdo (elemento que confina la calzada al costado izquierdo)
Tipo de Berma Izquierda (material de la berma en caso de que esta sea el confinamiento)
Ancho de la Berma Izquierda (medida en campo)
Estado Confinamiento Izquierdo (calificación del estado en Bueno, Regular o Malo)
Tipo Confinamiento derecho (elemento que confina la calzada al costado derecho)

Tipo de Berma derecha (material de la berma en caso de que esta sea el confinamiento)
Ancho de la Berma Derecha (medida en campo)
Estado Confinamiento Derecho (calificación del estado en Bueno, Regular o Malo)

DATOS DE LOS DRENAJES

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Número del drenaje (número de orden en la calzada)
Tipo de Drenaje (sumideros, alcantarillas, cunetas)
Lado de ubicación (según sentido del segmento)
Abscisa Inicial ó Diámetro ó Ancho (dependiendo el tipo de drenaje)
Abscisa Final ó Altura (dependiendo el tipo de drenaje)
Distancia al Eje (para los drenajes ubicados a un costado)
Profundidad (para las cunetas)
Material Revestimiento (para las cunetas)
Exige Abscisas Inicial y Final (para las cunetas)
Ancho de la cuneta (medido en campo)

DATOS DE LAS DEMARCACIONES

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Número de la demarcación (número de orden en la calzada)
Tipo de Demarcación (de acuerdo a tabla general de demarcaciones)
Ubicación (según sentido del segmento)
Estado de Demarcación (calificación del estado en Bueno, Regular o Malo)
Abscisa Inicial (medida desde el inicio del segmento)
Abscisa Final (medida desde el inicio del segmento)

DATOS DE LAS SEÑALES

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Número de la señal (número de orden en la calzada)
Tipo de Señalización (Preventiva, Informativa o Reglamentaria)
Lado de Ubicación (según sentido del segmento)
Estado de la Señal (calificación del estado en Bueno, Regular o Malo)
Abscisa (distancia al punto inicial del segmento)

DATOS DE POSTES DE ALUMBRADO Y SEMAFOROS

Debido a la existencia de una cobertura en el Mapa Digital para estos elementos y teniendo en cuenta que se venía adelantando su actualización por parte de otra entidad, se eliminó del inventario.

SENTIDO DEL INVENTARIO

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Sentido del inventario (con o contra, según el sentido del segmento)

SEGMENTOS NO INVENTARIADOS

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Motivo de No Inventario (motivo por el cual no fue inventariado un segmento o una calzada)

7.1.3 PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta en detalle el procedimiento utilizado en la ejecución del Inventario de las variables Geométricas de las vías que componen la malla Vial de las siete (7) localidades incluidas en el contrato.

- Una vez establecido el enfoque general del inventario se procedió a desarrollar un programa para los equipos de toma de datos (“Psion Workabout”) a fin de capturar la información en forma sistematizada y determinar los campos necesarios para detectar de manera anticipada la mayor cantidad de posibles errores en la toma de la información (validación de datos).

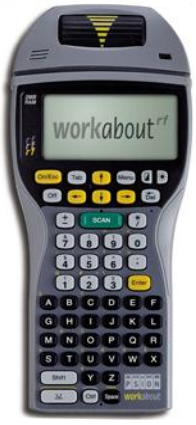


Fig. No. 7.3: Fotografía del Capturador Portátil de Datos – PSION

La funcionalidad del programa consiste básicamente en la presentación en pantalla de menús de opciones y de guías de operación controladas a través del teclado, escogida una opción del menú se presenta otra pantalla mostrando las alternativas para la captura de los datos del elemento que se está inventariando. Posteriormente se realiza la captura validada de cada uno de los campos utilizando el teclado alfanumérico y finalmente se graba el registro en la tabla correspondiente en la memoria principal del terminal portátil.

Se definieron diferentes tipos de validaciones; Validación por rango estableciendo valores máximo y mínimo para algunos atributos (longitudes, anchos, alturas y abscisas); Validación por lista (ubicación de los elementos y estados de funcionalidad y colmatación); Validación contra parámetros (tipos de drenaje, tipos de señales, tipos de superficie); Validación por contenido obligatorio (nomenclatura generadora para segmentos nuevos); Validación contra tablas maestras para evitar la duplicación de los números de identificación de los segmentos nuevos.

- Luego se estableció el perfil de los candidatos para el manejo de los equipos y de la toma de los datos del inventario requerido; para esta labor TNM LIMITED contó con la participación del subcontratista MUR Proyectos Ltda, firma con amplia experiencia en trabajos de inventarios de vías. Se estudiaron las hojas de vida y se escogieron aquellas con mayor experiencia en este campo. Para esta labor se conformaron cinco (5) comisiones compuestas por un Topógrafo, un Cadenero y un Ayudante, que trabajaron durante seis (6) meses en el levantamiento de los aproximadamente 2.300 Km – calzada del inventario.

- Posteriormente se realizó un programa de capacitación y entrenamiento para el manejo de los equipos y para unificar criterios con el personal que iba a realizar esta labor. Adicionalmente, se realizaron charlas continuas de refuerzo y aclaración a las inquietudes que se presentaban durante el desarrollo del inventario.

- Luego, con la ayuda del Mapa Digital se identificaron en las localidades los diferentes segmentos a inventariar estableciendo la programación para la localidad y distribuyendo los segmentos por sectores entre las cinco (5) comisiones de Inventario Geométrico. En el equipo de cada comisión era cargada únicamente la información inicial de los segmentos que le habían sido asignados para varios días de trabajo (3 a 4 días). El operador del equipo definía, con una numeración consecutiva preVíamente asignada y controlada para cada aparato, un código nuevo para los segmentos que no existían en el mapa digital y que requerían ser incluidos.

- Definidos los segmentos y repartidos como planos (medio duro) al personal, las comisiones realizaban su labor de la siguiente manera:

  Se establecía visualmente el cruce de los ejes de la vía a inventariar o en su defecto el punto de inicio del segmento, de acuerdo a la descripción de nomenclatura incluida en la programación y al plano respectivo. A partir de este punto se iniciaba la toma de datos en el equipo de acuerdo con el orden que les presentaba el programa preVíamente preparado. El abscisado de los elementos se hacía a partir del punto de referencia (nodo) con un Odómetro (rueda) referenciándolos también mediante la distancia perpendicular al eje real del segmento inventariado. Cuando se requería tomar las dimensiones de un elemento (ancho, alto, profundidad) se utilizaba la cinta métrica. En los

casos necesarios se determinaba con un nivel tipo Abney la pendiente del segmento.

Para el evento en el cual un segmento tenía múltiples calzadas, estas se identificaban con su número de orden, siendo el extremo derecho (en el sentido de avance de la nomenclatura) la calzada número 1 y así consecutivamente, hasta finalizar en el extremo izquierdo. Posteriormente, para la Base de Datos final, esto fue modificado como se indicó al inicio de este Capitulo.

- Una vez tomados los datos, usualmente cada día o terminada la carga hecha en el equipo, la información era trasladada a la oficina de campo por el encargado de cada comisión, para ser descargada al computador instalado en esta oficina, en archivos de texto (archivos planos). Esta información posteriormente se almacenaba para su subsiguiente procesamiento en una base de datos “Access” establecida para cada Localidad, base de datos programada en “Visual Basic”. Luego de ser sometida la información a varios procesos de depuración y control a través de diferentes filtros de inconsistencias, se alimentaba la Base de Datos central de TNM LIMITED.

- Como ya se indicó anteriormente, para los segmentos nuevos (no incluidos en el Mapa Digital), se programó una codificación especial en cada equipo de toma de datos, a fin de incluir estos segmentos en el inventario.

- La información obtenida en el Inventario Geométrico servía de base para adelantar las siguientes actividades del inventario. Una vez cumplida esta etapa se podía determinar la existencia de los segmentos, longitud, número de calzadas, tipo de superficie, pendiente y ancho de calzada, información que era

utilizada para la programación de los otros trabajos, especialmente aquella que requería la participación de vehículos (Deflexión, IRI, Georadar).

- Finalmente, con esta información se alimenta la Base de Datos del IDU, de acuerdo con la descripción incluida en el Capitulo 8 del presente informe. También, esta información es la base para los análisis estadísticos presentados en el Informe Final para cada una de las siete (7) localidades inventariadas.

En el anexo No. 2 del presente informe se incluye en mayor detalle el PROCEDIMIENTO PARA INVENTARIO GEOMÉTRICO TNM – PIG – 02. REV.3, elaborado como parte del Plan de Calidad del Proyecto.

7.2 PROCEDIMIENTO PARA EL INVENTARIO DE DAÑOS DEL PAVIMENTO Y ESTADO DE LOS DRENAJES.

7.2.1 ANTECEDENTES

Los Términos de Referencia solicitaban recopilar información sobre los siguientes campos para cada tramo de vía:

- Tipo de pavimento
- Existencia, tipo, severidad y extensión de deformaciones
- Existencia, tipo, severidad y extensión de agrietamientos
- Existencia, tipo, severidad y extensión de desintegraciones
- Existencia, tipo, severidad y extensión de baches
- Existencia, severidad y extensión de piel de cocodrilo

Adicionalmente, en el anexo No. 3 se presentaba el procedimiento para la evaluación de pavimentos según metodología del Banco Mundial, propuesto por el IDU para el desarrollo del proyecto. En esta metodología se definían los criterios para determinar la severidad para cada uno de los daños según fuera Alta, Moderada o Baja y se proponían tres rangos para la toma de la extensión: < del 20%, del 20% al 50% y > del 50%. De acuerdo con esta metodología el recorrido podría ser realizado lentamente en vehículo realizando algunas paradas para examinar las fallas.

Luego de una evaluación cuidadosa y al comparar esta metodología con la metodología PAVER propuesta por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, se pudo constatar que el método de evaluación de las extensiones por rangos era muy desfavorable dado que el peso dado a los daños era el mismo para extensiones muy diferentes, obteniéndose como resultado

índices de falla extremos, es decir que comparándolos con calificaciones dadas por Ingenieros especialistas en patología de pavimentos, solamente los que se encontraban en un estado intermedio daban resultados cercanos. Se decidió entonces, conjuntamente con la Interventoría y el IDU, que era necesario tomar las extensiones en forma más precisa (medida en porcentaje del área del segmento – calzada), continuar realizando los recorridos a pie para obtener un mejor de los daños, calibrar los valores de los pesos de los daños de la metodología PAVER a las condiciones y requerimientos de Bogotá y calcular el índice de fallas denominado MDR, como se explica más adelante.

7.2.2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de esta parte del informe es documentar el procedimiento adoptado para la realización del Inventario de los daños superficiales existentes en los pavimentos y obtener el estado de funcionamiento de los drenajes de las vías inventariadas. Como alcance para este procedimiento se incluye la toma de las variables indicadas a continuación en cada una de las calzadas preVíamente definidas en el Inventario Geométrico y el cálculo del MDR (Modified Distress Rating) o Indice de Fallas Superficiales y del OPI (Overall Pavement Index) o Indice Global de Condición del Pavimento para cada calzada a partir de la información de campo.

Se relevaron las fallas superficiales del pavimento por tipo de superficie, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS:

- No Daños
- Losas subdivididas
- Bache - desintegración total
- Levantamiento
- Hundimiento - Depresión
- Peladuras

- Fisuramiento diagonal y de esquina
- Fisura longitudinal
- Fisuramiento transversal
- Desportillamiento
- Dislocamiento
- Descascaramiento fisuras capilares
- Deficiencias de material de sello
- Pulimento de la superficie

PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES Y MIXTOS:

- No Daños
- Fisuramiento piel de cocodrilo
- Baches descubiertos
- Hundimiento
- Ahuellamiento
- Peladuras
- Corrugaciones y desplazamientos
- Fisuramiento longitudinal
- Fisuramiento transversal
- Fisuramiento por reflexión de juntas
- Fisuramiento en bloque
- Exudación de asfalto
- Desintegración de borde
- Fisuramiento de borde

PARA VÍAS CON ADOQUINES:

- No Daños
- Deterioro del sello de arena
- Desintegración del adoquín
- Desniveles en la superficie
- Hundimientos por reparacion de redes u obras especiales.

PARA VÍAS SIN PAVIMENTAR:

Estado superficial Bueno
Estado superficial Regular
Estado superficial Malo

Las variables consideradas en la toma de datos en campo fueron las siguientes:

INFORMACIÓN DE LOS DAÑOS:

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Tipo de Superficie (material de la superficie de rodadura)
Tipo de daño (de acuerdo a tabla de daños)
Severidad del daño (Baja, Moderada o Alta según anexo de Términos de Referencia del contrato)
Extensión del daño (medida en porcentaje del área de la calzada)

INFORMACIÓN DEL ESTADO DE LOS DRENAJES

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Número del drenaje (número de orden en la calzada)
Estado de colmatación del Drenaje (Bueno, Regular o Malo)
Funcionalidad del Drenaje (Buena, Regular o Mala)
Estado de la Rejilla (Bueno, Regular, Malo o No existe)

CALZADAS NO INVENTARIADAS

Código de la Localidad (número de la Localidad)
Código del Segmento (número identificador en el Mapa Digital)
Número de la Calzada (número de orden según sentido del segmento)
Motivo de No Inventario (motivo por el cual no fue inventariada una calzada preVíamente definida)

7.2.3 PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta en detalle el procedimiento utilizado en la ejecución del Inventario de daños del Pavimento y estado de los drenajes de las vías que componen la malla Vial de las siete (7) localidades incluidas en el objeto del contrato.

- En primer término y conjuntamente con el programa para el Inventario Geométrico se desarrolló un programa para los equipos de toma de datos ("Psion Workabout") a fin de capturar la información en forma sistematizada y determinar los campos necesarios para detectar en forma anticipada la mayor cantidad posible de errores en la toma de datos (validación de datos). Ver numeral 7.1.3 de este informe.

- Luego se estableció el perfil de los candidatos para el manejo de los equipos y de la toma de los datos del inventario requerido. Se estudiaron las hojas de vida y se escogieron aquellas con mayor experiencia en este campo. Para esta labor se conformaron seis (6) comisiones compuestas cada una por un Ingeniero con experiencia en pavimentos y un Ayudante, que realizaron la labor en un término de siete (7) meses para inventariar los 2.300 kilómetros – calzada del inventario.

- Posteriormente, se realizó un programa de capacitación y entrenamiento para el manejo de los equipos y unificar criterios con el personal encargado del inventario. Adicionalmente, se realizaron charlas continuas de refuerzo y aclaración a inquietudes que se presentaban durante el desarrollo del inventario.

- Con base en las rutas preVíamente definidas para el Inventario Geométrico, se determinaron los segmentos a inventariar, se estableció la programación de la localidad y se distribuyeron los segmentos entre las comisiones del Inventario. En el equipo "Psion Workabout" de cada comisión se cargaba la información requerida por los segmentos a inventariar tomando algunos valores obtenidos en el Inventario Geométrico preVíamente realizado (nodo, longitud real, número de calzadas, ancho de calzada, localización y tipo de drenajes). Esta

carga de información se hacía para 3 o 4 días de trabajo al cabo de los cuales los encargados de cada comisión regresaban a la oficina para recibir una nueva carga.

- Definidas las rutas y repartidas como planos (medio duro) al personal, las comisiones realizaron su labor de la siguiente manera:

  La comisión debe ubicarse en el sitio correcto para lo cual confronta la nomenclatura existente en terreno con la del plano (aunque esta no siempre es confiable, algunas veces es necesario ubicarse por el contorno y las vías principales vecinas) y adicionalmente se verifica en el equipo portátil algunos de los elementos geométricos tomados por los topógrafos en el segmento seleccionado tales como: longitud del segmento, ancho de calzada y tipo de superficie; el sentido del inventario es también muy importante para la recolección de la información referente a los drenajes, es decir, en el mismo sentido en que lo realizaron las comisiones de topografía. Una vez comprobado que se estaba en el segmento correcto, se procedía a realizar una inspección visual a todo el segmento para tratar de determinar los tipos de daños existentes según el tipo de superficie.

- A continuación el ingeniero establecía visualmente el punto inicial (nodo) de la vía a inventariar de acuerdo a la descripción de nomenclatura incluida en la programación y plano respectivo. A partir de este punto se daba inicio a la toma de datos del Inventario de acuerdo con los campos definidos en el programa. Para establecer la información de tipo de daño y su severidad, se utilizó el “Manual para la Clasificación de las Condiciones de Pavimentos” (anexo B de los Términos de Referencia de la Licitación) y los criterios establecidos en las reuniones y charlas de capacitación y entrenamiento.

- Para la toma de la extensión de los daños se tomó la decisión de hacerlo en forma de porcentaje medido como se explica más adelante en detalle, a diferencia de lo previsto en los Términos de Referencia del Contrato, que lo preveían por rangos
- Para la determinación de la extensión de los daños, se procedió de la siguiente manera de acuerdo al tipo de superficie y al tipo de daño:

❖ Pavimentos Rígidos:

- Por relación de losas:

Se tiene en cuenta el número total de losas incluidas en la calzada, relacionándolo con el número de losas con un daño determinado existentes en la calzada, de la siguiente manera:

% de extensión = (No. de losas con un daño determinado / No. de losas de la calzada)*100

Los daños que se incluyen para medir con este criterio son:

- Fisuras longitudinales
- Fisuras transversales
- Fisuras de esquina
- Losas subdivididas
- Baches
- Levantamiento
- Dislocamiento
- Hundimiento

- Por relación del área del daño con el área total de la calzada:

Se toma el área del daño como un porcentaje sobre el área total de la calzada; los daños que se incluyen para medir con este criterio son:

- Peladuras
- Pulimento
- Descascaramiento

- Por relación con la longitud de las juntas:

Se suma la longitud de las juntas tanto transversales como longitudinales defectuosas en la calzada, aplicando la siguiente relación para obtener la extensión:

% extensión = Longitud junta afectada / Longitud total de las juntas de las losas

Aplica para los siguientes daños:

- Falta sello en las juntas
- Desportillamiento

En el caso de que una calzada presentara varias zonas con el mismo daño con diferente severidad, se tomó para el daño en esa calzada la severidad más alta con la suma de las extensiones de ese tipo de daño. Este criterio aplica tanto para pavimentos rígidos como para pavimentos flexibles.

❖ Pavimentos Flexibles y Mixtos:

- Para los daños que afectan una superficie del pavimento, se toman las diferentes áreas afectadas con un determinado daño y se relaciona con el área total de la calzada, así:

% extensión = ∑ Area afectada / Area total

Los daños que se incluyen para medir con este criterio son:

- Baches
- Hundimientos
- Ahuellamientos
- Peladuras
- Piel de cocodrilo
- Corrugaciones

- Para establecer el área de los daños que se deben medir en forma lineal, se toman las longitudes de estos daños y se multiplica por 0.25 m (para convertir el valor en área aferente al daño) y se procede a realizar la siguiente relación:

% extensión = Longitud fisuras x 0.25 / Area total de la calzada

Los daños que se incluyen para medir con este criterio son:

- Fisuras transversales
- Fisuras longitudinales
- Fisuras de borde

De otro lado, es importante tener en cuenta que para daños como Piel de Cocodrilo y Baches, cuando estos se encuentran muy dispersos en la calzada, se toma para la extensión un porcentaje por encima del medido físicamente, este valor es de aproximadamente un 10% adicional, con el fin de tener en cuenta la intervención que se le dará a la calzada, dado que por facilidad de ejecución y mantenimiento es mejor construir un tramo bien definido, que hacer pequeños y continuos parches; caso contrario sucede con las calzadas que tienen los daños localizados en una zona definida o concentrada, donde se mide el sector a parchar y se reporta este valor.

- Adoquines en Concreto y Arcilla:

Para este tipo de superficie la extensión se calculó relacionando el área afectada con el área total del segmento, para lo cual se utilizó la siguiente relación:

% extensión = $\sum$ de áreas afectadas / Area total segmento

❖ Superficies Sin Pavimentar:

Para este tipo de superficie solo se tomó su estado, catalogándolo como Bueno, Regular o Malo, teniendo en cuenta su funcionalidad, operabilidad y transitabilidad.

Para este tipo de superficie, no aplica la extensión ni la severidad.

- Simultáneamente con la toma de los daños del pavimento la comisión constató el funcionamiento y el estado de colmatación de los drenajes existentes en la calzada así como la existencia y estado de las rejillas de los sumideros.

- Una vez terminada la toma de datos, la información era trasladada a la oficina de campo por el encargado de cada comisión, para ser descargada al computador instalado en esta oficina en archivos de texto (archivos planos). La información posteriormente fue almacenada para su ulterior procesamiento en una base de datos "Access". Luego de ser sometida la información a varios procesos de depuración y control a través de diferentes filtros de inconsistencias, se alimentó la Base de Datos central de TNM LIMITED.

- Para los segmentos nuevos (no incluidos en el Mapa Digital), se programó que la visita a campo fuera conjunta de las comisiones de topografía y de daños con el fin de tener mayor confiabilidad en la ubicación del segmento.

- Con base en la información obtenida en campo se procede al cálculo del MDR (Modified Distress Rating) o Indice de Fallas Superficiales y del OPI (Overall Pavement Index) o Indice Global de Condición del Pavimento, como se describe en detalle más adelante.

- Finalmente, con la información obtenida en campo se alimenta la Base de Datos del IDU de acuerdo con la descripción incluida en el Capitulo 8 del presente informe. También esta información es la base para los análisis estadísticos presentados en el Informe Final para cada una de las siete (7) localidades inventariadas.

En el anexo No. 3 del presente informe se incluye en mayor detalle el PROCEDIMIENTO PARA INVENTARIO ESTADO DE PAVIMENTOS Y DRENAJES TNM – PIP – 03. REV.2, elaborado como parte del Plan de Calidad del Proyecto.

7.2.4 CALCULO DEL MDR (MODIFIED DISTRESS RATING) O INDICE DE FALLAS SUPERFICIALES

Dado que las vías de la red urbana de toda ciudad representan una parte primordial de las inversiones en infraestructura de transporte, las decisiones respecto al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción se deben soportar en el diagnóstico que se haga de la condición inicial de cada segmento Vial.

Los daños superficiales en los pavimentos son un indicativo del estado y comportamiento de las vías y a través de estos se puede establecer su condición según el índice de fallas superficiales. Para nuestro caso se propuso utilizar un índice denominado MDR por sus siglas en inglés “Modified Distress Rating", calculado bajo la siguiente expresión, basada en la Metodología Washington:

$$MDR = 100 - \sqrt{(\sum pn_i^2)}$$

Donde “pn” es el peso de ponderación del daño según su severidad y extensión. Este cálculo, inicialmente, se basa en los valores deducibles obtenidos de las respectivas curvas o pesos en función del grado de severidad y de la extensión del daño de acuerdo con el Sistema PAVER desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros

del Ejercito de los Estados Unidos.[1] Su valor varía de 0 a 100 que indica el impacto que cada daño tiene sobre la condición del pavimento; así un valor de 0 indica que el daño no tiene efecto en el comportamiento del pavimento, mientras un valor 100 indica un daño de gran influencia.

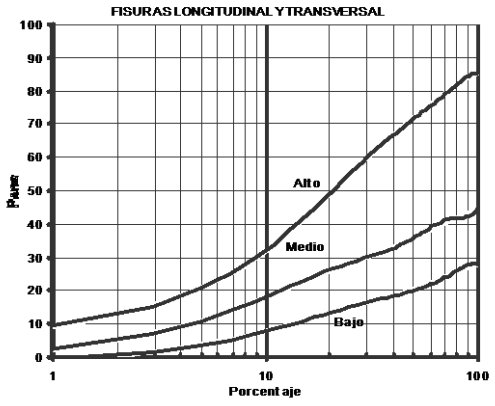


Figura No. 7.4: Curva de valores deducibles, para Fisura Longitudinal y Transversal, del Modelo PAVER

La determinación de los valores deducibles es sencilla mediante el uso de las curvas. Para cada tipo de falla, conociendo el porcentaje de extensión de la superficie dañada en el pavimento (eje X) se intercepta con la curva que representa la respectiva severidad (alta, media o baja) y se establece el valor deducible (eje Y). En la Figura No. 7.4, se da un ejemplo de una curva para la obtención de valores deducibles del modelo PAVER.

Estos valores deducibles se introducen en la fórmula antes mencionada, obteniéndose el valor del MDR. En el caso de vías con alto grado de deterioro, la raíz cuadrada de la sumatoria de los pesos al cuadrado puede resultar mayor que 100, por lo cual al realizar el cálculo se obtendría valores negativos. Por definición, el MDR es un índice positivo, en estos casos, se asigna un valor MDR = 0.

Dado que las características del subsuelo, los materiales utilizados en los pavimentos y las características y volúmenes de tráfico, son típicas para cada ciudad en estudio, fue necesario desarrollar y calibrar estas curvas para las condiciones específicas de Bogotá. Para los efectos, en una primera fase, se han

[1] "Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lot". USA Army Corp of Engineers - PAVER

ubicado en el mapa de la ciudad dos localidades para realizar la calibración a las que se denominaron Piloto, con la siguiente elección:

- Para Pavimento Flexible, en la Localidad de Tunjuelito, con 70 segmentos
- Para Pavimento Rígido, en la Localidad de Fontibón, con 35 segmentos

El tamaño de la muestra corresponde a un 5% de la totalidad de segmentos flexibles y a un 6% de la totalidad de segmentos rígidos, de la respectiva localidad. Se consideró que este tamaño era adecuado para el propósito de la calibración. Se determinaron las condiciones generales de la superficie del pavimento por parte de ingenieros especialistas en vías y pavimentos, con experiencia en patología de pavimentos. La auscultación se la hizo mediante un recorrido a pie los segmentos, observando la manifestación de las fallas, con base en los criterios establecidos para cada tipo de pavimento. Como resultado de estas visitas a campo se asignó para cada segmento una valoración del MDR de Campo.

Como primer patrón de comparación se utilizó los valores MDR obtenidos de los cálculos correspondientes, con los valores deducibles de la metodología PAVER desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos.[1] Se correlacionaron los valores MDR obtenidos en campo con aquellos resultantes de las curvas y se procedió a realizar una primera calibración modificando los pesos deducibles, obteniéndose un porcentaje de aproximación aceptable.

Así mismo, se graficó los valores MDR asignados por la visita Campo y los resultantes del cálculo mediante los rangos, tal como se aprecia en la Fig. No.7.5, donde los datos de las abscisas representan la identificación de los segmentos considerados en la calibración. Al observar que no se presentaba un ajuste adecuado, se concluyó que esto se debía principalmente a la amplitud de los

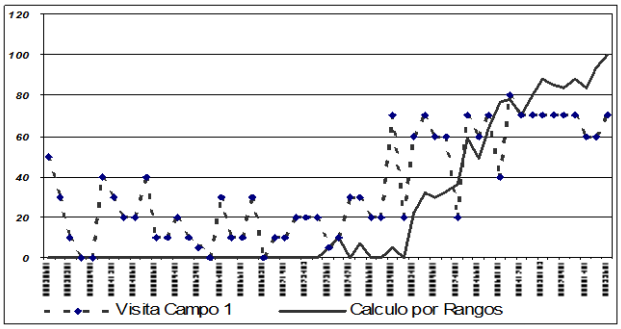


Fig. No. 7.5: Comparación MDR visita de Campo y calculando por rangos

rangos establecidos para la toma de la extensión ya que, como antes se indicó, inicialmente se utilizó la metodología presentada por el Banco Mundial, considerada en los Términos de Referencia del contrato, en ésta la toma de la extensión de los daños proponía tres rangos a saber: <20%, de 20% a 50% y > 50%. Es decir, que para una extensión del 5% de un determinado daño, se estaba asignando el mismo peso que para otro de 20%, castigando de esta manera la calificación del MDR.

Con el propósito de suavizar los saltos o de minimizar los cambios bruscos en las calificaciones, que dicha tabla presenta al tener rangos amplios de extensión del área afectada, se optó por la utilización directa de las curvas PAVER, para la determinación de los valores deducibles (pesos) utilizados en el cálculo de MDR.

Para poder calcular el MDR, sistemáticamente y con un alto grado de precisión, a partir de las curvas PAVER, se procedió a la formulación de las mismas. Para lograr la mejor representatividad entre las relaciones obtenidas y las curvas originales, se hizo un análisis de datos por regresión, del cual resultaron funciones del tipo polinómicas, logarítmicas y potenciales.

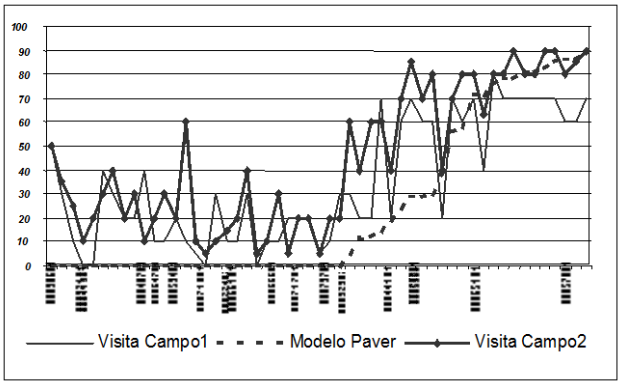


Fig. No.7.6: Comparación de valores de MDR para Pavimentos Flexibles entre el MDR de Campo y el del Modelo PAVER

La figura No. 7.6 muestra una gráfica comparativa entre valores de campo y los calculados mediante el Modelo PAVER. Nótese la baja calificación obtenida por cálculos del PAVER. Para valores donde las comisiones de campo consideraban una calificación en un rango entre 20-40, éste asignaba 0. Cabe recordar, que se considera un MDR = 0 cuando una vía está muy destruida y con pésima transitabilidad.

Comparando los resultados asignados en las visitas Campo 1 y Campo 2, se comprueba la subjetividad de la valoración visual y ve la necesidad de establecer un rango de aproximación de ±10 puntos, como tolerancia para estos valores.

Con los valores que entraban en este margen de aproximación, se determinó un porcentaje de coincidencia, que representa el grado de igualdad de los valores observados en campo y los calculados con PAVER. Comparando estos valores de MDR, se obtiene una primera aproximación del 60%, para pavimentos flexibles.

Para pavimentos rígidos se obtuvo una aproximación del 100% considerando el margen de desVíación permitido. Disminuyendo este rango a ±5 puntos, es decir la diferencia entre valores MDR de campo y los calculados por PAVER, se obtuvo un 70% de coincidencia, por lo cual se adoptaron los pesos obtenidos directamente de la formulación PAVER, para el cálculo del MDR para rígidos.

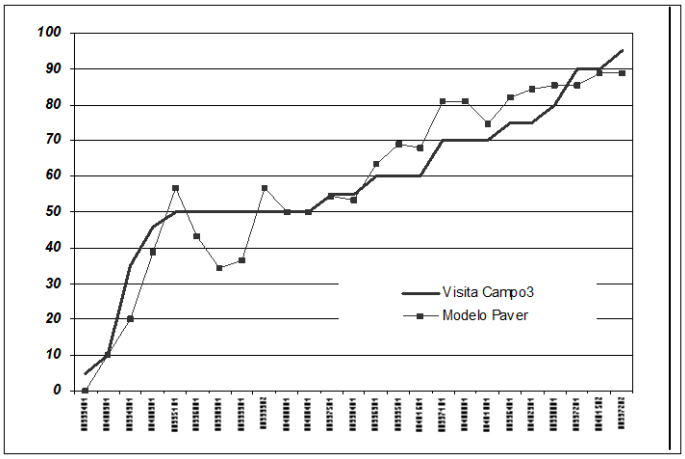


Fig. No.7.7: Comparación de valores del MDR de visita de campo y el del Modelo PAVER para Pavimentos Rígidos

En la figura No. 7.7 se muestra la tendencia de aproximación de los valores MDR de Campo (Visita a localidad de rígidos, en Fontibón), con los calculados mediante el Modelo PAVER, que ajusta la calibración adoptada.

Dado que en pavimentos flexibles no se logró la calibración deseada, se continuó con los siguientes pasos de la presente metodología.

Considerando que los pesos obtenidos de las curvas PAVER, castigan drásticamente la calificación del MDR comparada con aquella asignada por nuestros expertos, se procedió al ajuste de estas curvas de la siguiente manera:

– Luego de múltiples corridas, donde se disminuyó el porcentaje de incidencia del peso o valor deducible, se obtuvieron unas regresiones de ajuste final, para los tres niveles de severidad; para esto se consideraron los siguientes puntos:

- Disminuir 10 % a los pesos, en todos los daños, excepto baches.
- Crear nuevas curvas para baches, que representan la valoración óptima de acuerdo a las condiciones de calibración.

- De la información relevada en campo, se deduce que los baches son un daño preponderante en la calificación de las vías y se tienen las siguientes consideraciones:

- Que el concepto de mantenimiento es elevado en modelos como el Paver, reflejándose en acciones inmediatas para parcheo.

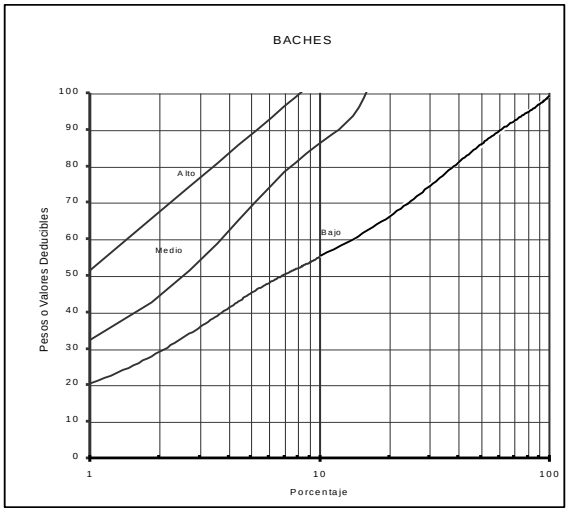


Figura No. 7.8: Curvas de Valores deducibles para Baches. Modelo Paver

- Que los modelos como el Paver, no permiten la presencia de baches en sus vías. De la Fig. No.5, curva original para baches, se aprecia que con solo 8% área afectada, se asigna pn=100, lo que significa MDR=0. Más aún, con 5% se tiene un pn=90, lo que significa, que de existir otro daño en cualquier porcentaje, el valor de MDR resultante sería cero.

- Que las altas velocidades de circulación es un factor primordial para vías interurbanas. Por lo que, para vías urbanas se debe tener presente la incidencia en la variación de los promedios de velocidad.

Por lo tanto, bajo estas premisas se decidió crear de nuevas curvas para representar los baches en condiciones urbanas, considerando adicionalmente la idiosincrasia y las condiciones locales de Bogotá.

- Finalmente, se procedió a la comparación de los valores de MDR obtenidos en campo con aquellos resultantes de las curvas finales ajustadas. El propósito de esta comparación fue ajustar aún más la calificación subjetiva de los ingenieros

especialistas en patología de pavimentos con los valores obtenidos, utilizando los pesos para cada uno de los daños según la metodología empleada. Para esta calibración se obtuvo un 90% de aproximación.

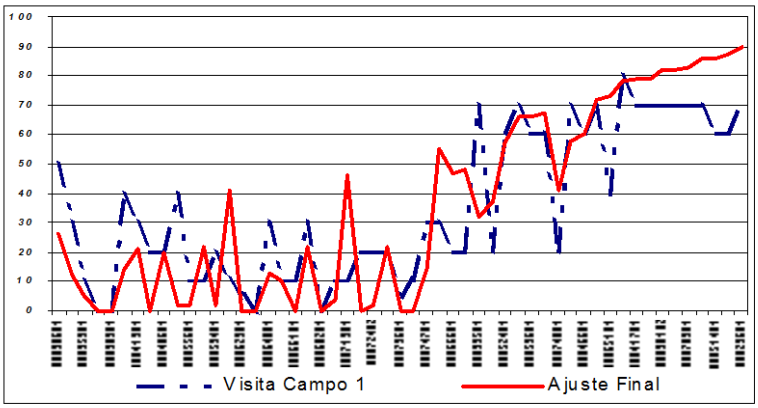


Fig. No.7.9: Comparación de valores del MDR de Campo con los calculados con el Modelo Paver con Ajuste Final, para Pavimentos Flexibles

En la figura No.7.9 se observa la tendencia de los valores obtenidos de las curvas de ajuste final y las asignadas en campo.

Una vez concluida la calibración en las localidades piloto, tanto para rígidos como para flexibles, bajo este mismo criterio se hizo una extrapolación de los resultados, considerando un 5% como muestra en cada una de las localidades restantes, con lo que se logró obtener resultados satisfactorios, con base en los porcentajes de aproximación resultantes para cada tipo de superficie de pavimento.

Como resultados de la calibración se presentan a continuación las curvas finales ajustadas para los daños superficiales en pavimentos flexibles y rígidos, de acuerdo con su severidad: alta, media, baja.

CURVAS CALIBRADAS PARA CALCULO DEL MDR EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Fig No. F.1: BACHES

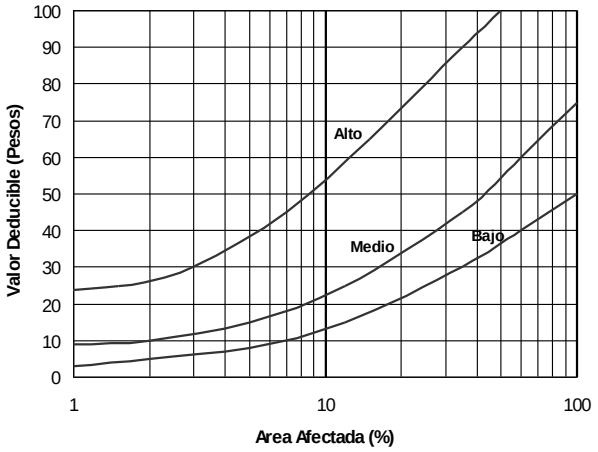


Fig No. F.2: AHUELLAMIENTO

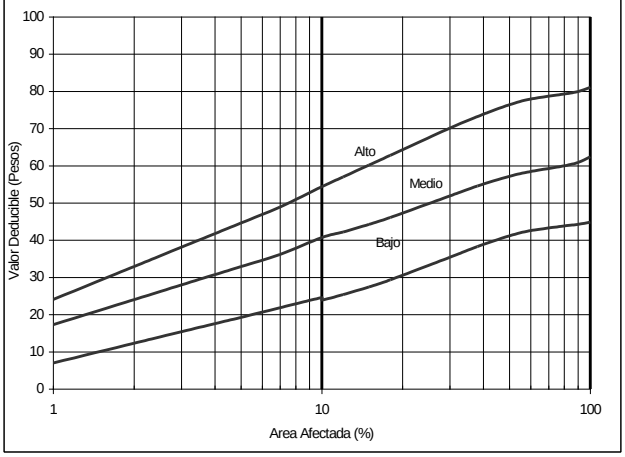


Fig No. F.3: FISURAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

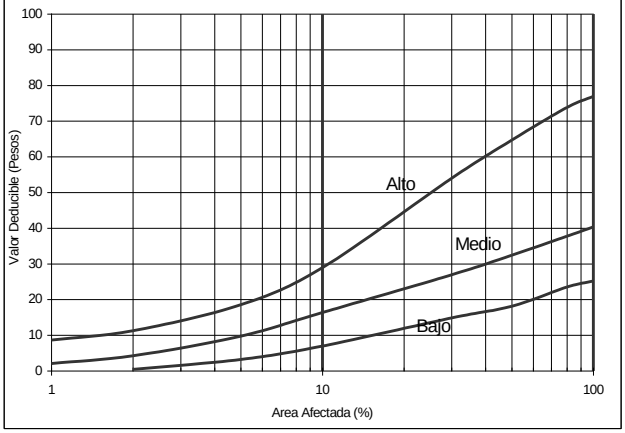


Fig No. F.4: HUNDIMIENTOS

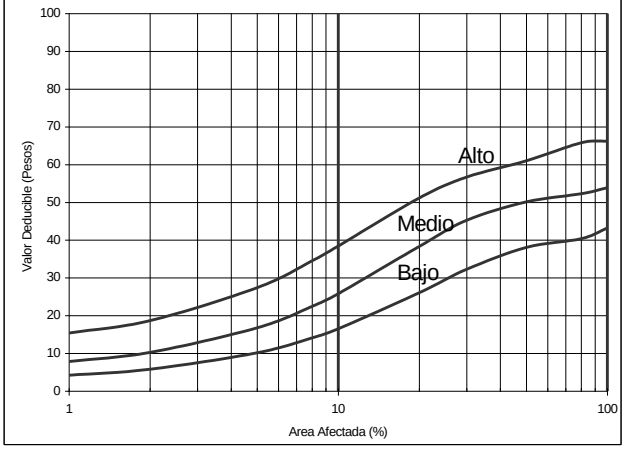


Fig No. F.5: FISURA DE BLOQUE

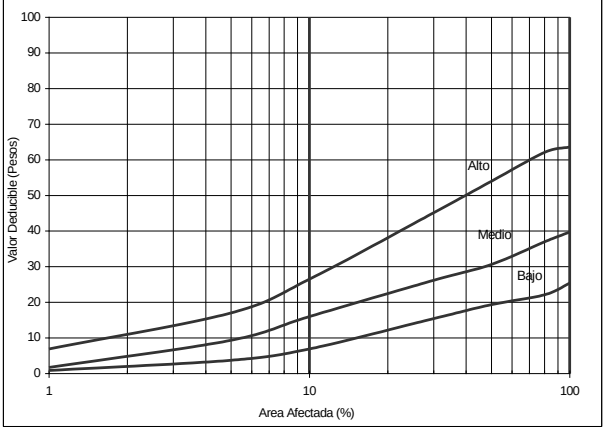


Fig No. F.6: PIEL DE COCODRILO

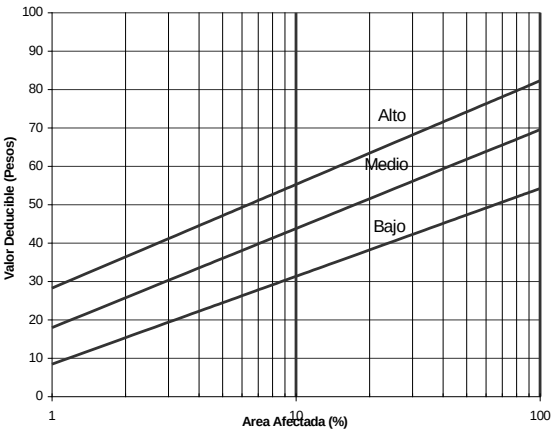
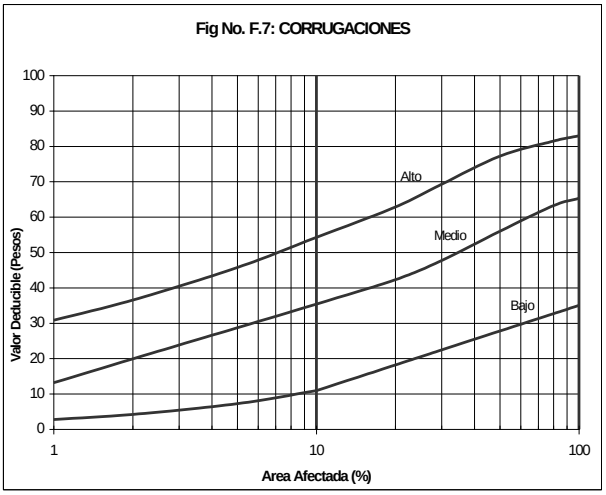


Fig No. F.7: CORRUGACIONES



CURVAS CALIBRADAS PARA CALCULO DEL MDR EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Fig No. R.1.- **BACHES**

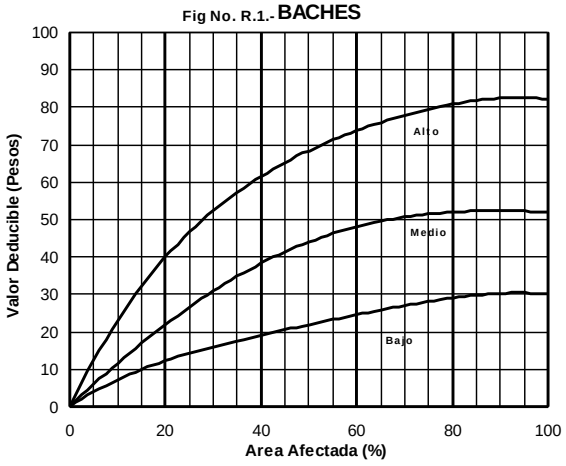


Fig No. R.2.- **DISLOCAMIENTO**

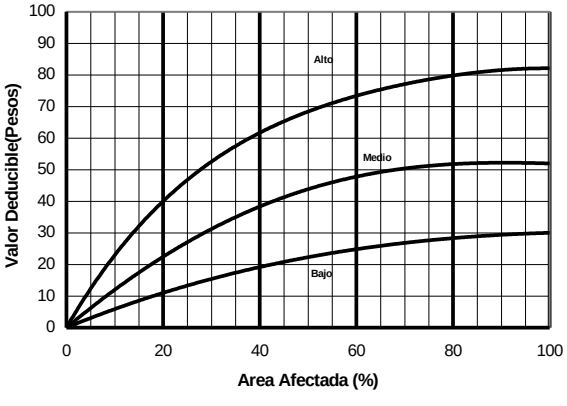


Fig No. R.3.- **LOSAS SUBDIVIDIDAS**

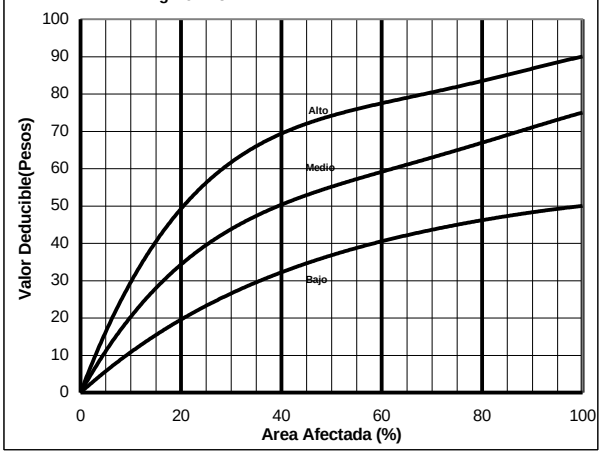
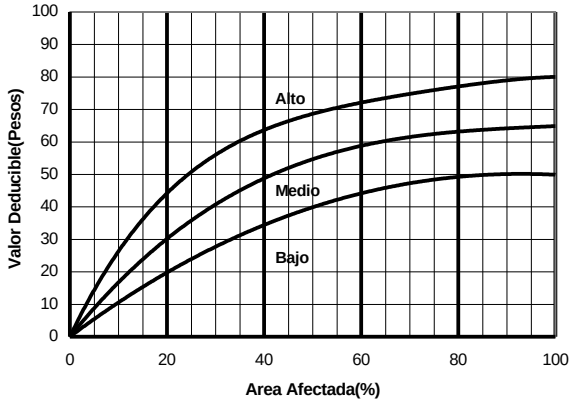
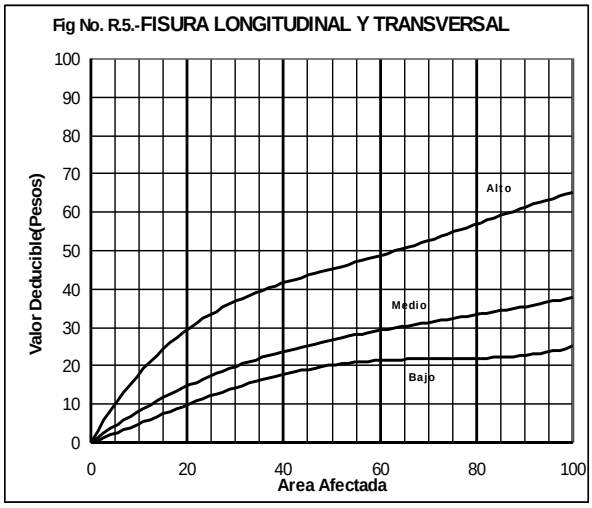


Fig No. R.4.- **FISURA DE ESQUINAS**





7.2.5 CALCULO DEL OPI (OVERALL PAVEMENT INDEX) O INDICE DE CONDICIÓN GLOBAL DEL PAVIMENTO

Una vez definida y determinada la condición superficial del pavimento, mediante el MDR, se desea obtener una valoración integral de la condición de este. Se busca incluir en la calificación de la condición actual, el concepto de serviciabilidad; es decir, de la capacidad del pavimento para funcionar ante el tránsito durante un período de tiempo.

Con este propósito se define el Indice de Condición Global del Pavimento (OPI por sus siglas en inglés Overall Pavement Index). Este índice representa una interrelación del estado superficial – MDR (desempeño estructural) y la condición del pavimento medido en términos de rugosidad - IRI (desempeño funcional). Por lo tanto, el OPI es un parámetro representativo del estado global del pavimento.

La relación para el cálculo del OPI es producto de investigaciones realizadas por la empresa en el desarrollo de múltiples proyectos tanto en Israel como en

Guatemala, para redes interurbanas y se calcula utilizando las siguientes expresiones:

$$PSI = 5*e^{0.198 - 0.000261*IRI}$$

y

$$OPI = MDR * (PSI / 5)^{0.22}$$

donde,

OPI = Overall Pavement Index, Indice de Condición Global del Pavimento

MDR = Modified Distress Rating, referido a las fallas superficiales

PSI = Pavement Serviciability Index o Indice de Servicio del Pavimento

IRI = International Roughness Index o Indice de Rugosidad Internacional

En términos generales, la condición global en la que se encuentra un pavimento, influye en el confort y la seguridad que el usuario tiene al transitar la vía y en el desempeño estructural actual del pavimento.

Se tiene una valoración de OPI=0, para pavimentos en mal estado y 100 para pavimentos en buen estado. De acuerdo a los limites establecidos por el distrito, sobre niveles aceptables de servicio, se establecen los rangos entre los cuales es necesaria una rehabilitación y otros en los que se requiere solamente un mantenimiento. Por ejemplo, cuando se llega a un nivel de OPI=30, se considera que la vía debe ir a rehabilitación inmediata.

Al efectuarse la valoración del OPI en las visitas a Campo, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La incidencia de la velocidad en la percepción que el usuario tiene al circular por la vía

- La permisividad del usuario, en la calificación del estado de las vías, al asignar el PSI. Esto tiene relación con el nivel de servicio que presenta la red urbana, con la cual están habituados los usuarios.

Con base en estas premisas, y utilizando los valores MDR del ajuste final, se calcularon los valores OPI aplicando la expresión antes indicada. Comparando estos resultados con la valoración asignada en campo, se concluyó que el valor OPI obtenido estaba siendo muy castigado para las condiciones de servicio locales, por lo cual se buscó establecer un ajuste de los valores OPI mediante una expresión más acorde para la realidad de Bogotá; es decir, acorde a la calificación obtenida en campo.

Analizando la expresión de cálculo del OPI, se consideró que para calibrar este índice, la única variable a ser ajustada era la rugosidad. Solo hay dos parámetros, el MDR, que es un índice calculado, por lo tanto no se puede modificar y la rugosidad.

La calibración se basó, principalmente, en ajustar la incidencia del IRI en vías urbanas, para lo cual se disminuyó su afectación considerando las bajas velocidades de circulación en la ciudad, en relación con las velocidades promedio en vías interurbanas.

Luego de comparar los valores de OPI obtenidos en campo con aquellos calculados mediante la formula antes expuesta, variando los valores del exponente, se obtuvo como resultado la siguiente expresión en la cual disminuyó el valor exponencial de la formula de 0.22 a 0.12:

$$OPI = MDR * (5*e^{0.198 - 0.000261*IRI} / 5)^{0.12}$$

Para observar la distribución de los resultados obtenidos en la localidad Piloto, se graficó la sensibilidad de los valores OPI al cambio del coeficiente exponencial.

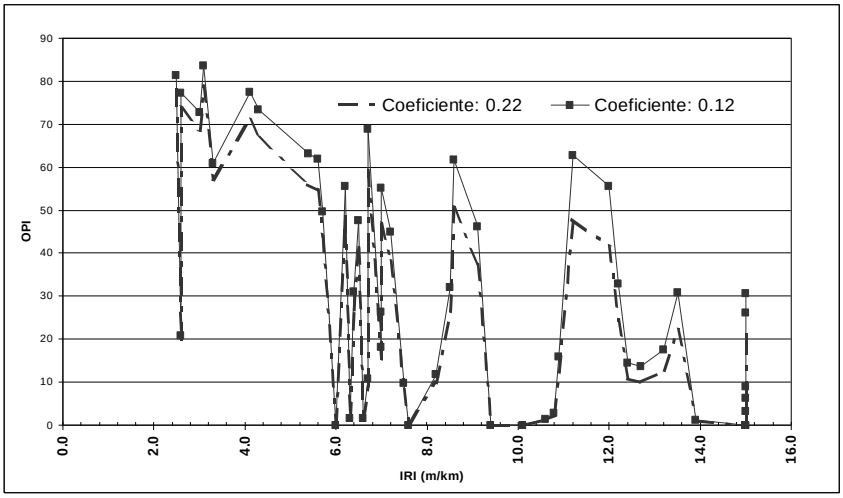


Fig. No.7.10: Sensibilidad del cálculo de valores OPI al variar los coeficientes.

En la figura No.7.10 se observan los valores de OPI de campo, calculados variando el coeficiente de 0.22 a 0.12.

Analizando la expresión anteriormente propuesta, el OPI resultante es un porcentaje del valor MDR. El resultado del multiplicando representa la disminución que se tiene que hacer al MDR para calcular el OPI.

COEFICIENTE		0.22	0.12
IRI (m/km)	PSI	% Reducción	
>19	0	100	100
12	0.25	48	30
9.6	0.5	40	24
8	0.75	34	20
6.9	1	30	18
4.3	2	18	10
2.7	3	11	6
1.6	4	5	3
<0.8	5	0	0

Cuadro No.7.1: Tabla de Porcentaje de reducción del MDR para el cálculo del OPI

El cuadro No.7.1 muestra los porcentajes en que se tendría que reducir el MDR. Al cambiar el coeficiente por 0.12, este porcentaje de reducción disminuye (tal como se aprecia en la figura No.7.10) y consecuentemente el castigo en su cálculo, obteniéndose unos valores más acordes a la asignación de campo.

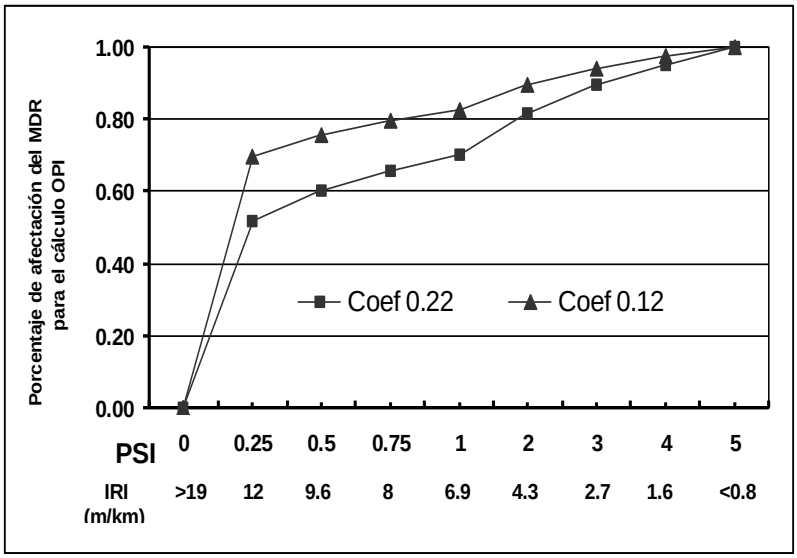


Fig. No.7.11: Gráfica de la variación del Porcentaje de reducción del MDR para el cálculo del OPI

La figura No.7.11 es una gráfica de la tabla anterior. En ella se aprecia que para valores de IRI < 7 m/km, el cambio del coeficiente no tiene gran incidencia, ya que el porcentaje de reducción solo varia un 10%; mientras que para valores > 7m/km, la incidencia aumenta.

Como dato adicional, de las estadísticas del proyecto de Inventario de Bogotá, se encontró que alrededor de un 50% de los segmentos Viales de todas las siete (7) Localidades inventariadas, presentan superficies con valores de IRI entre 3.5 - 10 m/km.

De la observación en campo se pudo deducir que, aún cuando existen vías con rugosidad de alrededor 7 m/km, estas presentan una condición de circulación aceptable; lo cual indica que no necesariamente se la tendría que catalogar, bajo un Indice Global de Condición del Pavimento, como en mal estado. Por lo cual, se corrobora la elección del coeficiente 0.12, ya que se suaviza el castigo al MDR para la obtención del OPI.

7.3 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DEFLEXIONES.

7.3.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con lo indicado en los Términos de Referencia, el Consultor debería tomar medidas de deflexión, como mínimo con viga Benkelman, cada 50 m. TNM LIMITED ofreció en su propuesta utilizar una tecnología más moderna consistente en el Deflectómetro de Impacto ("Falling Weight Deflectometer - FWD 8000" fabricado por la compañía Dynatest-USA), de su propiedad (ver descripción detallada de este equipo en el numeral 7.3.3 del presente documento), el cual ha venido siendo utilizado en el país en diferentes mediciones para la Red Vial Nacional del Instituto Nacional de Vías y en varios otros proyectos de la ciudad de Bogotá.

Luego de revisada la tecnología propuesta por TNM LIMITED y realizados ensayos de comprobación y correlación con la viga Benkelman, la Interventoría y el IDU dieron su aprobación para la utilización de esta tecnología.

7.3.2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de este procedimiento es documentar la metodología seguida para la determinación de las deflexiones de las vías inventariadas. Como alcance para este procedimiento se incluye la toma de la deflexión central y la curva de deflexión característica en cada una de las calzadas preVíamente definidas en el Inventario Geométrico, mediante la utilización de un FWD. Se incluye también la metodología de cálculo seguida para la determinación del Número estructural (SN), el módulo de la subrasante (MR) para pavimentos flexibles y el coeficiente *k dinámico* para los pavimentos rígidos.

7.3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO

Con el objeto de establecer la capacidad soporte de las capas que conforman la estructura del pavimento y de la subrasante sobre la cual se asienta esta; se realizaron mediciones de deflexión por medio del deflectómetro de impacto FWD.

Varios son los medios utilizados para medir las deflexiones producidas en el pavimento por cargas controladas, con el fin de evaluar las capacidades de soporte de la estructura de pavimento. Uno de los medios más usados actualmente luego de haberse perfeccionado durante más de dos décadas, consiste en aplicar una carga dinámica (variable entre 2t y 12t) en el pavimento, causada por la caída de una masa sobre un plato circular (de diámetro 30cm) cuya superficie de contacto se asemeja al de la rueda de un camión. Las deflexiones producidas son medidas por medio de un grupo de geófonos en unidad de micrones (milésimas de milímetros) en siete puntos, cada uno separado de la carga a una distancia de 30cms, teniendo en cuenta que el primer geófono se encuentra bajo el punto de aplicación de la carga (Ver Fig. No. 7.12 del esquema general de trailer de medición).

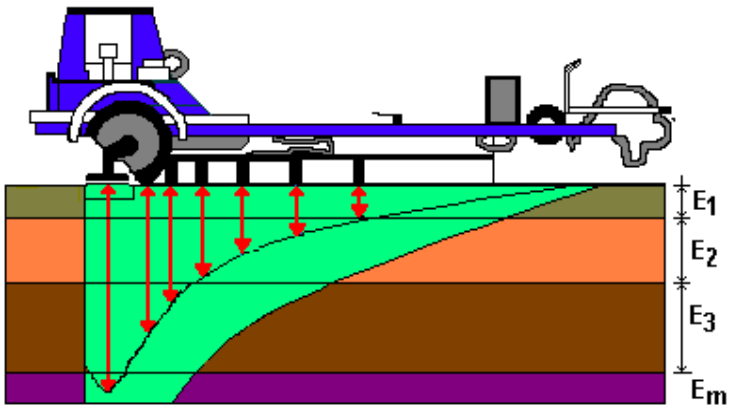


Fig. No. 7.12: Esquema General del Trailer de Medición FWD 8000

La magnitud de la carga es registrada en Kn (kilo-newtons) o Kpa (kilo-pascales) por otro sensor ubicado en el centro del plato de carga durante el instante que la carga es aplicada al pavimento.

La captación de los efectos de deflexión en el instante de aplicación de la carga es registrada automáticamente por una computadora portátil ubicada en el vehículo que remolca el deflectómetro, en archivos del formato requerido para ser procesados en la oficina por el software que analiza los resultados.

El procesamiento de los datos recopilados en los archivos de campo, se realiza por medio del programa RANDALL desarrollado por TNM LIMITED. A partir de este programa se interpreta la información a través del cálculo del valor SN (número estructural de AASHTO en cada medición) el cual da una medida de la capacidad soporte de toda la estructura de pavimento existente.

El sistema FWD - 8000 de TNM LIMITED está compuesto por tres partes esenciales: El trailer, El computador y El procesador de interfase.

Fig. No. 7.13: Fotografía del Equipo de medición de deflexión.

7.3.4 PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta en detalle el procedimiento de campo utilizado para la determinación de las deflexiones de las vías que componen la malla Vial de las siete (7) localidades inventariadas:

- Para este caso y dada la experiencia de TNM LIMITED en la toma de deflexiones, tanto en vías interurbanas como urbanas, no fue necesario realizar un programa de capacitación para el personal de operadores del equipo.

- Con base en los sectores preVíamente definidos por el Inventario Geométrico y de Estado de pavimentos, se estableció la programación por sectores y por localidad, teniendo en cuenta que no es posible ni necesario tomar deflexiones en las calzadas no pavimentadas. Adicionalmente utilizando la base de datos del Inventario Geométrico se determinaron aquellos segmentos o calzadas que por sus características físicas (ancho muy pequeño, pendiente muy alta, etc.) no es posible utilizar el equipo para en una etapa posterior revisar la asignación de los valores necesarios en estos casos, basados en la información de los tramos cercanos de características similares.

- Definidos los sectores y la rutina de trabajo, se entregaron planos al personal de los vehículos para que estos sirvan de ubicación y se adelante su ejecución. Se definió, de acuerdo con los Términos de Referencia del contrato, que se ejecutaría una medición cada 50m en el carril principal de cada calzada y que en segmentos con longitudes menores de 50m se realizaría al menos un ensayo, en forma tal de tener información para todas las calzadas donde era necesario y factible ejecutarlo.

- PreVíamente antes de salir de las instalaciones donde se guarda el equipo, se hace una revisión y verificación del estado de funcionamiento de los equipos.

- El encargado definió sobre el plano la ruta a seguir. En el primer punto el encargado verificó el correcto funcionamiento del trailer de medición, los procesadores de interfase, el computador y el vehículo. Como antes se indicó,

se tomaron puntos cada 50m pero teniendo especial cuidado en tomar mínimo un punto para cada segmento existente donde es factible el ingreso del equipo.

- En el caso de los pavimentos flexibles, se determinó la temperatura de la carpeta asfáltica, perforando con un puntero delgado, llenándolo de líquido e introduciendo un termómetro de aguja. Se determinó la temperatura ya que es una variable considerada en el estudio deflectométrico.

- Posteriormente se liberan los seguros del trailer de medición, se inicia el programa de medición en el computador y se procede a tomar las curvas de deflexión. Se realizaron dos (2) lecturas en cada punto con el fin de realizar una verificación de los valores obtenidos. La carga aplicada en cada golpe es de 40 Kn, la cual es equivalente a una carga de un eje de referencia de 8.2 Ton. Una vez aplicada la carga sobre el pavimento, en el computador se registran automáticamente los valores de la carga aplicada y la deflexión registrada por cada uno de los geófonos.

- Terminada la rutina de aplicación de la carga y la toma de deflexiones, se introduce en el computador el valor de la temperatura de la carpeta en el sitio.

- Se bloquean los seguros del trailer de medición y se sigue al siguiente punto de medición.

- Finalizada la tarea de campo se entregan los datos en medio magnético en la oficina para su control, verificación y posterior procesamiento.

- Cuando se tienen los datos en la oficina, en primer término se verifica la correcta ubicación en campo de las rutas seguidas, contra el Mapa Digital,

utilizando los encabezados de los archivos y las marcas colocadas en estos archivos, donde los operadores han escrito la identificación de las calzadas correspondientes a cada dato. Posteriormente se analiza la continuidad de las calzadas según la información introducida al archivo, eliminado así cualquier posible error en la digitación de los segmentos

- Una vez realizada la verificación de ubicación, se procede al cálculo del Número estructural y el módulo de la subrasante, en el caso de pavimentos flexibles y el *k dinámico*, en el caso de pavimentos rígidos, como se indica detalladamente en los siguientes ítems.

- Para el caso de las calzadas de vías pavimentadas donde por sus características físicas no fue posible la ejecución de la prueba, se realizó una asignación de los valores pertinentes, para lo cual se estudia cuidadosamente el tipo de superficie y los daños (MDR) de las calzadas vecinas reportados por los inventarios Geométrico y de Estado de Pavimentos, tratando de que la calzada a utilizar pertenezca al mismo corredor Vial que el tramo al cual le van a ser asignados los valores de deflexión.

En el anexo No. 4 del presente informe se incluye en mayor detalle el PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DEFLEXIONES TNM-PTD-05 REV.2, elaborado como parte del Plan de Calidad del Proyecto.

7.3.5 CALCULO DEL MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE (MR)

A continuación se procede a detallar el cálculo del módulo resiliente de la subrasante, en el caso de pavimentos flexibles. PreVíamente se efectúa un control de calidad sobre los valores provenientes de la información de campo en la toma de las deflexiones.

El módulo resiliente de la subrasante es un índice de la capacidad del material de subrasante para soportar cargas y producir deformaciones. Se estima por retrocálculo a partir de las deflexiones. Inicialmente, se toma la información de deflexiones en cada tramo (calzada), de la siguiente forma:

- En los segmentos cuya longitud es menor a 50m, se toma el valor promedio de los 2 golpes realizados en el único punto de deflexión medido (en cada geófono). En los segmentos cuya longitud es mayor de 50m, se toma el promedio de todos los valores de deflexión existentes en el segmento (para cada geófono).
- Se efectúa el control de calidad de las mediciones.
- Una vez analizados los datos de deflexiones, se procede a calcular mediante la siguiente fórmula el módulo de la subrasante[2]:

$$D_6 = 97480 * Mr_{subrasante}^{(-1.055)}$$

Donde:

D_6 = Deflexión producida en el sensor ubicado a 180mm del centro del plato de carga.

$Mr_{subrasante}$ = Módulo resiliente de la subrasante retrocalculado a partir de deflexiones.

[2] Paper No. 1374, Transport Research Board-1992

Esta fórmula conceptúa que las deflexiones producidas en la superficie del pavimento a una suficiente distancia del plato de carga, son debidas a la deformación de la subrasante solamente y también son independientes del radio del plato de carga, casi completamente, y no totalmente porque los límites del bulbo de tensiones no son tan definidos como en la teoría.

Este módulo resiliente calculado se puede correlacionar con el CBR de la subrasante por medio de la siguiente ecuación:[*]

$$Mr_{subrasante} = 140*CBR(\%) \text{ en } kg/cm^2$$

7.3.6 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN).

Al igual que el módulo resiliente de la subrasante, el Número Estructural (SN) efectivo se estima por retrocálculo a partir de las deflexiones. El análisis de la información de deflexiones para cada segmento es el mismo que se realizó para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante.

El cálculo del Número Estructural efectivo se realiza mediante la metodología Rohde. Gustav Rohde es un investigador que presentó la ponencia titulada "Dertermining a pavement`s structural number from FWD testing", expuesta en la 73rd reunión anual de la Transportation Research Board.

Rohde, para investigar la hipótesis y desarrollar una relación entre las medidas de deflexión a nivel de superficie con Falling Weight Deflectometer y el Número Estructural, realizó análisis en un gran número de estructuras de pavimentos utilizando la teoría elástica multicapa.

[*] "A pavement design and rehabilitation system". Jacob Uzan. TRB - 1996

El concepto que se maneja es el siguiente: El valor máximo de deflexión d_o (medido a partir de FWD) es una combinación de la deflexión en la subrasante y la compresión elástica de la estructura del pavimento. Para explicar esto, el investigador Irwin explica la distribución de esfuerzos y el origen de las deflexiones bajo la carga de un FWD, así:

"Aproximadamente el 95% de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento son originadas debajo de un ángulo de desVíación de 34° con la horizontal".

Basados en esta simplificación, se puede asumir que la deflexión medida en la superficie del pavimento a una distancia imaginaria de 1.5 veces el espesor total (h_t) de la estructura de pavimento (desde el centro del plato de carga), se origina totalmente en la subrasante.

Ahora, al relacionar el valor de la deflexión producida a 1.5 veces el espesor total ($h_{t)}$ de la estructura de pavimento, con el valor de la deflexión central (bajo el plato de carga), se puede encontrar un "índice" asociado con la magnitud de la deformación que ocurre dentro de la estructura de pavimento y se define así[3]:

$$SIP = D_o - D_{1.5*Ht}$$

Donde:

SIP = Indice estructural del pavimento,

D_o = Deflexión central, bajo el plato de carga bajo una carga de 40Kn (9000lb)

$D_{1.5*Ht}$ = Deflexión medida en la superficie del pavimento bajo una carga de 40Kn(9000lb) a una línea imaginaria de 1.5 veces el espesor total (h_t) de la estructura de pavimento.

H_t = Espesor total del pavimento en pulgadas.

[3] "Dertermining a pavement`s structural number from FWD testing". Gustav T. Rohde

Es válido anotar que en el caso de encontrarse materiales cementados como apoyo del concreto asfáltico, el ángulo estimado de 34° con la horizontal no es razonable por la rigidez de esta capa que influye en que el bulbo de tensiones sea más horizontal. Por tal razón los valores de número estructural, se piensa, no serían tan reales.

Hipotéticamente, el índice SIP debe estar relacionado directamente con la rigidez de la estructura de pavimento y subsecuentemente a su Número Estructural (SN). Se investigó esta hipótesis y se desarrolló una relación entre las medidas de deflexión en la superficie a partir de FWD y el Número Estructural (SN) del pavimento luego de analizar un gran número de estructuras utilizando la teoría elástica. Los cálculos del número estructural de las diferentes estructuras se realizaron mediante la ecuación de la AASHTO[3]:

$$SN = \sum_{I=1}^{N} h_i * a * \left(\frac{E_i}{E_g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

h_i = Espesores de las capas de la estructura de pavimento, en pulgadas

a_i = Valores de coeficientes de capa de los materiales utilizados en el ensayo de AASHTO

E_i = Módulo resiliente de los materiales de la estructura de pavimento.

E_g = Módulo resiliente de los materiales utilizados en el ensayo AASHTO.

Luego del análisis de las diferentes estructuras de pavimento, la mejor relación que se encontró fue incluyendo el espesor total del pavimento en el análisis.

La relación tiene el siguiente formato[3]:

$$SN = k_1 * SIP^{k_2} * H_p{}^{k_3}$$

Donde:

SN = Número Estructural

SIP = Indice del pavimento, calculado con la expresión relacionada anteriormente

H_p = Espesor total del pavimento en mm.

K_1, k_2 y k_3 = Coeficientes que se muestran en el cuadro No.7.2.

Cuadro No.7.2: Coeficientes de la ecuación de Rohde para diferentes tipo de superficies

Tipo de superficie	K_1	K_2	K_3	r^2
Sello de asfalto	0.1165	-0.3248	0.8241	0.984
Concreto asfáltico	0.4728	-0.4810	0.7581	0.957

TNM LIMITED ha desarrollado un software especializado para el cálculo del Número Estructural, de acuerdo con la metodología antes indicada. Los valores obtenidos de este programa son reportados a la Base de Datos asociados a cada segmento – calzada para ser utilizados por el Sistema de Administración de Pavimentos en Vías Urbanas.

7.3.7 CÁLCULO DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (*k*) (PAVIMENTOS RÍGIDOS).

A partir de las deflexiones ejecutadas con el deflectómetro de impacto FWD, se procede a explicar la metodología para el cálculo del Módulo de reacción (*k*) del material de apoyo (subrasante y subbase granular si existe) bajo la losa.

El análisis de la información de deflexiones para cada segmento es el mismo que se realizó para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante y el $SN_{efectivo}$, en el caso de pavimento flexible. Ver ítem 7.3.5.

Para obtener el módulo de reacción, se realizan los siguientes cálculos, según metodología AASHTO[4]:

Cálculo del área del cuenco producido por deflexiones según FWD

El cálculo del área (A), equivale al cuenco producido bajo la losa luego de aplicar la carga del FWD. Con base en esta área, se procede a calcular el K efectivo debajo de la losa:

$$\mathbf{A = 6* [\ 1+(2*d_{30}/d_o) + (2*d_{60}/d_o) + (d_{90}/d_o)\ ]}$$

Donde d_{30}, d_{60} y d_{90} son las deflexiones producidas a 30, 60 y 90cms del plato de carga y d_o es la deflexión producida en el centro del plato de carga.

Cálculo de l_K , rigidez relativa del líquido denso

$$l_k = \left[\frac{\ln^*\left(\frac{(36 - AREA)}{1812.279133}\right)}{-2.559340} \right] \wedge 4.387009$$

[4] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.

Calculo del *K dinámico* en función de d_o y del área calculada antes.

Utilizando la ecuación de Westergard[5], se procede a obtener el valor del módulo de reacción del material debajo de la losa.

$$K = \left(\frac{p}{8 * do * l_k{}^2}\right) * \left\{1 + \left(\frac{1}{2\pi}\right)\right\} * \left[\ln\left(\frac{a}{2 * l_k}\right) + 0.5772156649 - 1.25\right] * \left(\frac{a}{l_k}\right)^2$$

donde:

d_o = Deflexión producida en el centro del plato de carga, en pulgadas

P = Carga en libras

Cálculo del *K* estático

El *K* calculado a partir de deflexiones de FWD es un valor dinámico, y para el diseño del refuerzo se requiere de un valor estático. En un análisis de datos del AASHO ROAD TEST, los valores de *K dinámicos* obtenidos excedían valores estáticos por un factor de 1.77. Un análisis de datos recolectado por Foxworthy[6], en varios pavimentos de bases de la Fuerza Aérea arrojaron que el *K dinámico* excede el valor estático en un factor de 2.3. Entonces, reduciendo el *K dinámico* en 2, se ha encontrado que este es un valor razonable para valores de *K estáticos,* según AASHTO.

K estático = K dinámico / 2

Con base en el *K* efectivo estático obtenido y con los coeficientes adoptados, se aplica la ecuación de la AASHTO para pavimentos rígidos y se obtiene el espesor de losa necesario para sobrellevar el tránsito futuro. Ver más detalles en ítem 9.1.1.6, referente al cálculo de espesores.

[5] Westergard, H.M. Stresses in Concrete Runways of airports.
[6] Highway Research Board. The AASHTO Road Test. No.5

7.4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR RUGOSIDAD.

7.4.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con lo indicado en los Términos de Referencia, el Consultor debería determinar el Indice de Rugosidad Internacional para los tramos de vía inventariados. TNM LIMITED ofreció en su propuesta utilizar una tecnología moderna consistente en el Perfilógrafo “Road Surface Profiler RSP L5.2” Tipo Laser, fabricado por la compañía Dynatest de los Estados Unidos, de propiedad de TNM LIMITED (ver descripción detallada de este equipo en el numeral 7.4.3.1 del presente documento), el cual ha venido siendo utilizado en el país en diferentes mediciones para la Red Vial Nacional del Instituto Nacional de Vías y en varios otros proyectos de la ciudad de Bogotá.

Luego de revisada la tecnología propuesta por TNM LIMITED y realizados ensayos de calibración y comprobación con otras tecnologías tales como Nivel y Mira y Merlín, la Interventoría y el IDU dieron su aprobación para la utilización de esta tecnología.

Sin embargo, dada la existencia de segmentos Viales con características físicas que impedían la utilización de este equipo en todos los casos (anchos menores de 3 m; longitudes menores de 30 m; pendientes superiores al 12%, magnitud de fallas superficiales muy alta), se optó por utilizar, para estos casos, un equipo del tipo Merlín (ver descripción detallada en el numeral 7.4.3.2).

7.4.2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de este procedimiento es documentar la metodología seguida para determinar la rugosidad en las vías inventariadas. Como alcance para este procedimiento se incluye la toma de la rugosidad en cada una de las calzadas

preVíamente definidas en el Inventario Geométrico, mediante la utilización del Perfilógrafo "Road Surface Profiler RSP L5.2" Tipo Laser o del rugosímetro denominado Merlín. Se incluye también la metodología de cálculo seguida para la determinación del IRI (Indice de rugosidad Internacional) para cada una de las calzadas estudiadas.

7.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

7.4.3.1 Perfilógrafo "Road Surface Profiler RSP L5.2" Tipo Laser

El perfilógrafo RSP-L5.2 permite relevar en forma continua, recorriendo el carril a evaluar a velocidad de 20-70Km/h, las variables de curvatura horizontal en unidades de grados por distancia recorrida, elevación y descenso en metros por distancia recorrida, el ahuellamiento promedio en mm registrado a intervalos de 10m y la rugosidad en ambas huellas en términos de IRI (m/Km.).

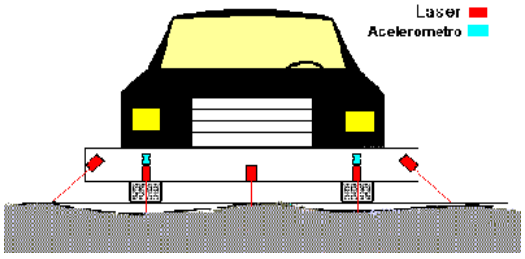


Fig. No. 7.14: Esquema General del RSP (Road Surface Profiler)

El RSP funciona a partir de 7 sensores ubicados en una viga transversal que a su vez va montada en la defensa delantera del vehículo. Dos de ellos son sensores acelerómetros que miden el desplazamiento vertical del vehículo (aceleraciones verticales) y el resto (5) son sensores LASER que miden el desplazamiento entre el vehículo y el pavimento. El perfil del pavimento se obtiene por la suma integrada de las mediciones de los 7 sensores (2 acelerómetros y 5 sensores láser) (Ver esquema general de la figura No. 7.14).

El ahuellamiento del pavimento se obtiene por la suma integrada de las mediciones registradas por los cinco sensores láser mientras que la rugosidad en ambas huellas se mide a partir de los sensores acelerómetros y láser que se encuentran en cada huella respectivamente.

Así también, se puede registrar la pendiente longitudinal, pendiente transversal y curvatura horizontal por medio de un GIROSCOPIO (GYRO) ubicado en la parte inferior de dicha viga de medición.

Es de resaltar que todas las mediciones son realizadas simultáneamente obteniéndose completa exactitud en la referenciación. Los resultados son grabados y archivados en medio magnético para posteriores análisis de la información.

La medición de la distancia es llevada a cabo por un dispositivo colocado en la rueda del vehículo que al girar ésta nos da una lectura de la distancia recorrida por el vehículo y obVíamente por la viga que sostiene los sensores anteriormente mencionados y el GYRO.

El sistema RSP fue diseñado con un Software adecuado con el fin de obtener datos procesados inmediatamente en el campo sin la necesidad de calcularlos en la oficina. De esta manera se tienen las mediciones de la rugosidad en unidades IRI (m/km)

Fig. No. 7.15: Fotografía del Equipo de medición de la rugosidad

7.4.3.2 Rugosímetro Tipo Merlín[7]

Debido a la existencia de vías con anchos pequeños (inferiores al radio de giro requerido por el perfilógrafo), de corta longitud y sin continuidad, de alta pendiente o muy dispersas, fue necesario implementar el uso de un equipo del tipo Merlín, diseñado y desarrollado por el Transport Research Laboratory de Gran Bretaña, para obtener la rugosidad de estos segmentos Viales.

Este equipo mide la rugosidad mediante la marcación de los desplazamientos verticales relativos de un punto de control a lo largo de una cierta distancia calculando el valor correspondiente en términos de una distancia “d” en milímetros que luego es relacionada en forma directa con el IRI en unidades internacionales.

El aparato funciona con base en tres (3) patas de las cuales dos (2) están siempre posándose en la superficie del terreno a lo largo de la huella en la cual se mide la rugosidad. La tercera pata se posa sobre el piso ajustándose a las variaciones del terreno para efectuar la medición.

El aparato, en forma de bicicleta, esta construido en tubos rectangulares de acero inoxidable y cuyos elementos principales son el chasis, la rueda de bicicleta y el brazo movible. El chasis consiste en un armazón que cumple con especificaciones exactas con respecto a las distancias absolutas y relativas entre sus miembros, la llanta sirve de apoyo delantero y como elemento de desplazamiento a lo largo de la vía, y el brazo movible permite determinar los desplazamientos relativos del aparato, para calcular la rugosidad correspondiente a lo largo de la vía. En la parte superior de la pata trasera se encuentra un manubrio con dos brazos para el

[7] El rugosímetro Rugocol. Un aparato de bajo costo para medir la rugosidad (IRI) en carreteras. Joaquin Caraballo.1995

cómodo manejo, en tal forma que el aparato parece una carretilla larga o bicicleta con una sola rueda.

En la parte opuesta del brazo movible se encuentra una hoja que contiene un cuadro en el que se crea el diagrama de las mediciones. Con base en lo anotado en este diagrama se determina el parámetro “d” (en mm) y con este se va a la tabla de conversión para obtener la rugosidad en unidades de IRI (m/km).

7.4.4 PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta en detalle el procedimiento de campo utilizado para la determinación del Indice de Rugosidad Internacional (IRI) de las vías que componen la malla Vial de las siete (7) localidades incluidas en el objeto del contrato.

- Debido a que una de las especialidades de TNM LIMITED es la toma del IRI y que el Grupo de Mediciones de Campo tiene amplia experiencia en este tema, no fue necesario realizar programa de capacitación. Este personal de planta se mantiene constantemente capacitado.

- Con base en los sectores preVíamente definidos por el Inventario Geométrico y de Estado de pavimentos, se estableció la programación por sectores y por localidad, teniendo en cuenta que no es necesario medir la rugosidad en las calzadas no pavimentadas. Adicionalmente utilizando la base de datos del Inventario Geométrico se determinaron aquellos segmentos o calzadas que por sus características físicas (ancho muy pequeño, pendiente muy alta, etc.) no es posible utilizar el perfilógrafo, para en una etapa posterior enVíar a estos segmentos al equipo Merlín, mas adecuado para este tipo de vías.

- Definidos los sectores y la rutina de trabajo, se entregaron planos (medio duro), al personal de los vehículos para que estos sirvan de ubicación y se programe su ejecución. La medición se realizó en forma continua a lo largo de las dos huellas del carril de mayor tráfico, normalmente el carril derecho.

- Sobre los planos de los sectores los encargados de operar los equipos, determinan la ruta a seguir. Antes de iniciar la toma de lecturas se revisó el equipo, realizando los ajustes que sean necesarios: se verifica el funcionamiento del láser y del vehículo.

- Ubicado el equipo al inicio del segmento de un sector específico, se liberaron los protectores de los lentes trasductores de cada láser. Se procedió entonces a abrir el archivo correspondiente, cuidando de introducir correctamente el número de identificación del segmento de inicio y la calzada, así como la dirección (nomenclatura Vial) de inicio del archivo. Para el chequeo posterior de la ruta seguida, se instaló un equipo portátil de toma de datos tipo PSION, en el cual se consigna la cadena de segmentos cubiertos por cada archivo, para la posterior revisión en oficina.

- Se avanzó por la ruta a una velocidad mínima de 20 km/hora (preferiblemente), tomando las lecturas continuas y llevándolas al computador del equipo. En el computador quedan automáticamente registradas los valores de IRI promedio cada 20 m para cada huella de medición, la velocidad promedio y los comentarios o marcas para identificar motivos de discontinuidad en la medición: vehículos estacionados, resalto o policía acostado, disminución de velocidad por semáforos.

- Para compatibilizar la información de IRI obtenida con la base de datos del proyecto y con los segmentos del Mapa Digital, se determinaron directamente en campo los segmentos contenidos en cada uno de los archivos abiertos para la toma de información (rutas), por medio de la PSION disponible para este fin.

- Una vez finalizada la tarea asignada al equipo de medición, los resultados se entregaron en medio magnético en la oficina de TNM LIMITED. Allí en primera instancia se revisaron los archivos especialmente en lo referente a la correcta asignación de los valores a sus segmentos-calzada correspondientes, para esto se revisó en el Mapa Digital la ruta seguida y la numeración continua de los segmentos relacionados en las PSION. Posteriormente, se procedió a calcular el valor del IRI de la calzada a través de un programa desarrollado por TNM LIMITED para cargar directamente la información a la Base de Datos. El método de cálculo se describe en detalle más adelante, en el ítem 7.4.5.

- Para los tramos que se había determinado la toma de la rugosidad mediante el Merlín, la información obtenida era procesada manual y directamente tramo a tramo, de acuerdo con el procedimiento descrito en el equipo, consignando la información en una hoja de cálculo de Excel, para luego ser pasada a la Base de Datos.

En el anexo No. 5 del presente informe se incluye en mayor detalle el PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR RUGOSIDAD TNM-PTR-06 REV.2, elaborado como parte del Plan de Calidad del Proyecto.

7.4.5 CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

A partir de la información entregada en medio magnético, registrada por el computador del equipo, TNM LIMITED desarrolló un programa mediante el cual se calcula el valor promedio del IRI para cada una de los tramos (calzada) incluidas en un archivo. En primer lugar, se verificó la cadena de segmentos de la ruta correspondiente al archivo utilizando la información entregada por las PSION; luego de verificada su continuidad con el Mapa Digital y realizadas las correcciones pertinentes, se toma del inventario Geométrico las longitudes reales de cada uno de los segmentos y se acumulan para establecer su relación con la longitud del archivo.

Una vez verificada la consistencia de las rutas, el programa directamente muestra los valores de las mediciones, dando los valores promedio de IRI para el tramo (calzada) en unidades IRI en m/km. El programa revisa las velocidades del equipo reportadas en cada punto y las marcas colocadas en los archivos por el operador del equipo, para eliminar los valores no correspondientes (bajas velocidades por obstáculos diferentes al estado del pavimento).

Una vez realizada esta corrección calcula el valor promedio de los datos de las dos (2) huellas y luego calcula el valor promedio de todos estos valores en el mismo tramo; este valor es el asignado al tramo (calzada) correspondiente. Valores registrados superiores a 15 m/km con velocidades bajas son reemplazados automáticamente por este valor, considerado límite. Valores promedios finales superiores a 15 m/km son también remplazados por dicho valor por defecto, para la Base de Datos.

7.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS ESPESORES DE CAPAS DEL PAVIMENTO

7.5.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con los Términos de Referencia de la Licitación, el consultor debería determinar la estructura del pavimento usando apique cada 500 m o cualquier otra tecnología válida. TNM LIMITED presentó como alternativa a la ejecución de los apiques, la utilización de un equipo de Georadar Pulse Radar - Ground Penetrating Radar (GPR) (ver descripción detallada en el numeral 7.5.3.1 del presente documento) de propiedad de la firma GEOCISA, el cual presenta la ventaja de obtener información continua, con un buen rendimiento de operación.

Dadas las ventajas que la información aportada por un equipo de estas características daba al proyecto, con comunicación conjunta del 26 de Enero del 2000 enVíada por TNM LIMITED y por el Consorcio Consultoría Colombiana S. A. – AIM Ltda, se envió al IDU la propuesta técnico – económica para remplazar los apiques por la utilización de este equipo. Con comunicación STDP-4100-1209 del 27 de Marzo del 2000, el IDU aceptó la utilización del Georadar haciendo una lectura continua sobre la red, con interpretación de resultados cada 500m.

El subcontratista GEOCISA desarrolló durante la ejecución del proyecto. Otros programas para mejorar tanto la toma de datos como la interpretación de estos (ver numeral 7.5.4), lo cual permitió que se obtuvieran resultados continuos y no cada 500 m como se había previsto inicialmente.

Sin embargo, una vez tomadas las mediciones y revisados los resultados de espesores arrojados para los pavimentos rígidos, se pudo constatar que estos no eran totalmente confiables, dado que no se conocía la calibración para este tipo de

pavimentos, para los cuales incluso a nivel internacional hay poca experiencia. Por esta razón se decidió ejecutar para las superficies en pavimento rígido los apiques cada 500 m previstos originalmente.

Para los segmentos Viales que se encontraban sin pavimentar, se determinó ejecutar apiques también cada 500 m para determinar espesores y establecer el CBR a través del ensayo de cono de penetración dinámica (DCP).

Por fallas técnicas del equipo Georadar, y con miras a cumplir los plazos establecidos, se realizaron apiques en todo tipo de pavimentos en la localidad de Ciudad Bolívar.

7.5.2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de este procedimiento es documentar la metodología seguida para determinar los espesores de las capas que constituyen la estructura del pavimento en las vías inventariadas. Como alcance para este procedimiento se incluye la determinación de los espesores en cada una de las calzadas preVíamente definidas en el Inventario Geométrico, mediante la utilización del Georadar Pulse Radar Ground Penetrating Radar (GPR) o mediante la realización de apiques. Se incluye también la metodología de cálculo seguida para la determinación de los espesores de acuerdo con los diferentes programas (software) utilizados.

Los datos de los espesores de las capas de la estructura del pavimento, combinados con los datos de la deflexión permiten estimar la capacidad de soporte, predecir el comportamiento estructural y desarrollar estrategias de conservación y rehabilitación de los pavimentos.

7.5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

7.5.3.1 Georadar (GPR)

Para determinar los espesores del pavimento se utilizó un equipo Georadar Pulse Radar - Ground Penetrating Radar (GPR), el cual es un dispositivo que emite un pulso corto de energía electromagnética capaz de determinar la presencia o ausencia de un objeto mediante el examen de la energía reflejada de dicho pulso.

En el caso de una estructura de pavimento la onda electromagnética Víaja hasta que se encuentra con una discontinuidad dieléctrica; esta discontinuidad puede ser debida a un cambio de material (una nueva capa del pavimento), humedad, presencia de cámaras de aire o cualquier otro fenómeno por el que cambie la constante dieléctrica del material.

Una parte de la onda es reflejada por esta discontinuidad y el resto continúa su camino hacia el interior del pavimento. Controlando con gran exactitud el tiempo de Víaje de la onda desde su inicio hasta la recepción de la onda reflejada, es posible la determinación de los espesores de cada capa de pavimento.

Fig. No. 7.16: Fotografía del Equipo Georadar

La velocidad del vehículo durante la realización del ensayo puede ser de hasta 70 km/hora. Se toman 50 lecturas de la estructura del pavimento por cada segundo. El equipo cuenta además con dos antenas y en esta forma se obtienen dos perfiles continuos, uno en cada huella del carril auscultado.

7.5.3.2 Apiques

Dado que el Georadar no resultó adecuado para la toma de espesores en pavimentos rígidos, porque los espesores obtenidos no eran representativos, se determinó, de acuerdo con lo previsto en los Términos de Referencia, ejecutar apiques cada 500 m para las calzadas que presentaran este tipo de superficie, extrapolando la información obtenida para el tramo completo definido a partir de corredores Viales.

Para esto y con el objeto de no producir daños en los pavimentos, se realizaron perforaciones de 3" o 4" con taladros con recuperación de núcleos para determinar el espesor de la losa y mediante el uso de varillas hincadas, se determinó el espesor de la capa granular.

Fig. No. 7.17: Fotografía de Ejecución de Apiques

De otra parte dada la existencia de superficies sin pavimentar, las cuales resultaron ser aproximadamente un 35% del total inventariado en las siete (7) localidades, fue necesario realizar apiques cada 500 m en este tipo de superficie para determinar la capacidad de soporte de la subrasante y establecer posibles intervenciones de pavimentación. Para esto se ejecutaron apiques realizando ensayos de Penetración Dinámica (DCP) en cada uno de ellos para establecer el CBR de la subrasante. En este último caso, la asignación de valores de CBR obtenidos en un apique a los segmentos vecinos, se realizó considerando un área circundante al apique ejecutado.

7.5.4 PROCEDIMIENTO

A continuación se presentan en detalle los procedimientos de campo y de cálculo utilizados para la determinación de los espesores de las capas del pavimento de las vías que componen la malla Vial de las siete (7) localidades inventariadas.

En el proceso de la determinación de los espesores de la estructura del pavimento, para cada uno de los distintos segmentos - calzada que componen la Malla Vial, se utilizaron los siguientes métodos:

1. **Métodos Electrónicos[8]:**
   - Método Pulse Radar.- Proceso de los datos del Georadar utilizando Programa PULSE bajo DOS y hoja electrónica.
   - Método Georadar Milenium.- Proceso de datos del Georadar utilizando los archivos grabados bajo método PULSE, corriéndolos bajo programa Milenium
   - Método Full Radar.- Proceso de datos Georadar, con nuevo software y asignación inmediata de la información.
   - Método Full Radar Mejorado.- Proceso Automático de Interpretación de datos del Georadar
2. **Método Convencional: Ejecución de Apiques.**

La metodología del Georadar, para todos los métodos electrónicos, presenta dos partes:

- Toma de Datos
- Interpretación de Datos

7.5.4.1 Método Pulse Radar Y Método Milenium

Entre estos dos métodos de obtención de los espesores de la estructura, la diferencia básica radica en la manera de interpretar los datos.

[8] GEOCISA. Ensayos no destructivos.

A. TOMA DE DATOS

- La toma de datos fue llevada a cabo por la Empresa GEOCISA, como subcontratista de TNM Limited, empresa con amplia experiencia en este campo, en España, su casa matriz y en Colombia. Para la captación de datos el equipo utilizó el Programa PR 51 de Pulse Radar Inc.
- Con base en los sectores preVíamente definidos del Inventario Geométrico, se estableció la programación de mediciones de Georadar por sectores y por localidad.
- Definidos los sectores en cada una de las localidades, la información en medio duro (planos) era entregada al personal de medición para su revisión.
- Sobre los planos de los sectores el encargado de operar los equipos, se determinó la ruta a seguir.
- Antes de iniciar la toma de lecturas se revisa el equipo, realizando los ajustes que fueran necesarios:
  - Montaje correcto de la antena
  - Conexión de los cables principales a la antena
  - Ajuste de la amplitud y rango de la señal
  - Realizar los archivos de la placa metálica (estática y dinámica). Cada vez que cambia la amplitud y el rango de la señal o si varía considerablemente el clima se hace un nuevo archivo de placa metálica.
- El equipo circula a una velocidad promedio de 30 km/h
- Con el odómetro del equipo se tiene la longitud recorrida. Así mismo, en el tablero de control, presionando ALT+P, se detiene el funcionamiento del odómetro.
- El operador establece las rutas cuya longitud total no debe sobrepasar los 3 kms. Para tramos rectos las rutas pueden ser de hasta 5 km; de esta manera se reducen errores acumulados.

- Por cada ruta medida se abrió un archivo y en un equipo manual se anota la cadena de segmentos.
- Se anotó en observaciones el estado del clima, si el pavimento está húmedo al momento de la medición o si se ha pasado sobre una tapa de cámara. De esta manera se tuvo mayor control sobre datos con valores no representativos.
- Finalizada la tarea asignada al equipo de medición, se descargaron los resultados en medio magnético. La información que Geocisa enVíaba a TNM LIMITED para su procesamiento contuvo:

➢ Hojas de ruta correspondiente a cada archivo, en formato Excel.

➢ Archivo con información del Georadar (GPR) cuya extensión es *.dat. Esta información está organizada según el día de toma de mediciones.

B. INTERPRETACION DE DATOS

- Una vez recibida la información se revisó las hojas de ruta. De la base de datos del inventario geométrico se asignó, a cada segmento, las longitudes reales respectivas, comprobando que la longitud total sea aproximadamente igual a la que indica el archivo *.dat. Como elemento de ayuda, se graficaron las rutas en “ArcView”, visualizando de esta manera la ruta seguida.
- La hoja de ruta se adaptó con más información necesaria indicando el tipo de superficie, el número de calzada respectivo, la longitud de cada segmento y la longitud acumulada de la ruta, con base en la información obtenida en el Inventario Geométrico.

❖ **Método Pulse Radar** .- El archivo *.dat se corrió en el Programa PULSE 3 de Pulse Radar Inc, donde se obtienen dos tipos de datos:

- ➢ Amplitud de onda (en cm) medida directamente de la pantalla
- ➢ Tiempos (en n seg.) de penetración de la onda para la superficie y cada una de las capas.

La información obtenida se procesó mediante una hoja de cálculo de la firma Pulse Radar Inc. y se obtuvieron espesores de cada una de las capas de la estructura existente, asignándolos cada 500m.

- **Método Georadar Millenium.-** El archivo *.dat se corrió en el Programa GEORADAR MILENIUM propiedad de Geocisa.

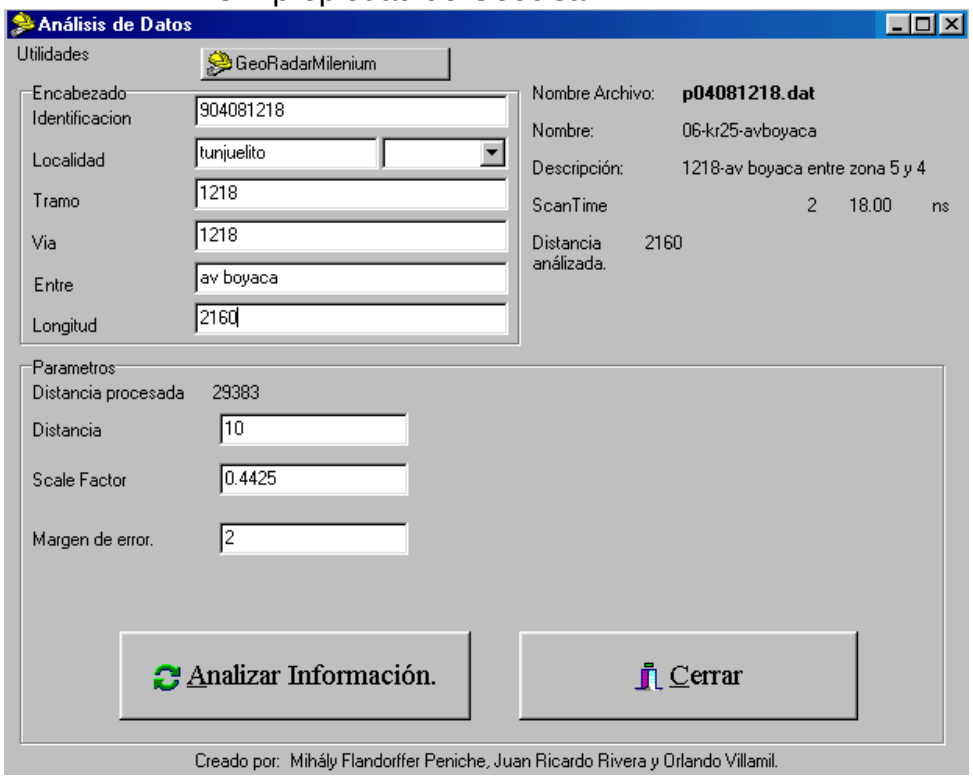


Fig. No. 7.18: Pantalla del Georadar Milenium

La figura no. 7.18 muestra la pantalla de ingreso de la información para correr el archivo capturado con el Programa PR 51 de Pulse Radar. Se detalla:

- La identificación del archivo,
- La longitud de la ruta
- Los parámetros de corrida, en la cual se especifica:
  - La distancia a la que se procesará la información,
  - El factor escala que se lo obtiene abriendo el archivo PULSE, el cual es un dato relativo a la placa metálica.

- Una vez que se analizó la información, ésta se almacenó en un archivo de base de datos “Base de datos Georadar.mdb”. Esta base de datos contiene la información de los espesores de pavimento y de capa granular, en un abscisado correspondiente a la distancia definida en la pantalla principal.
- Con base en la hoja de rutas revisada, se asignó para cada segmento - calzada, los espesores del pavimento y del material granular (TH1 y TH2, respectivamente) correspondientes a la estructura del pavimento.
- La asignación de los espesores se hizo con base a la longitud acumulada de cada segmento (en la hoja de ruta) que correspondía a la abscisa que aparece en la base de datos.

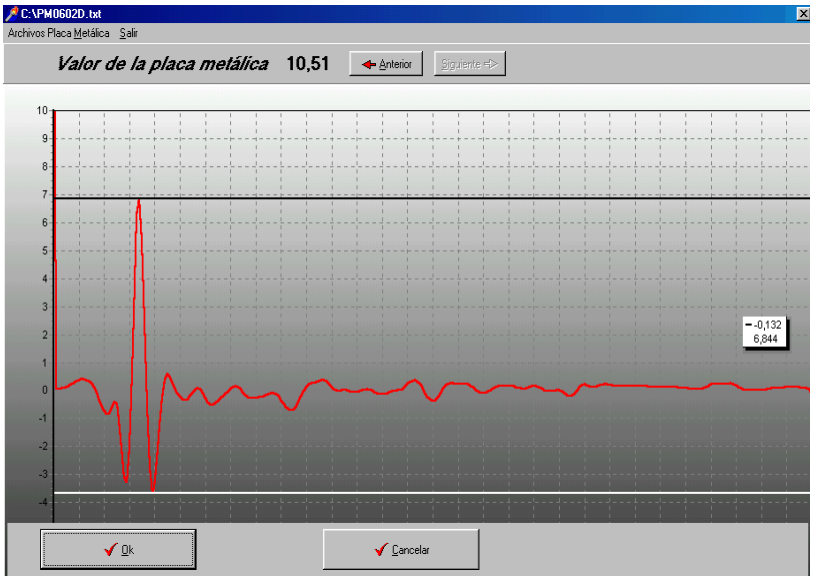
7.5.4.2 Método Fullradar

A. TOMA DE DATOS

- La toma de datos GPR fue llevada a cabo por la Empresa GEOCISA, como subcontratista de TNM LIMITED. Para la captación de datos en el equipo se utilizó un software implementado para optimizar la recopilación de la información.
- Con base en los sectores preVíamente definidos del Inventario Geométrico, se estableció la programación de mediciones del Georadar (GPR) por sectores y por localidad.
- Definidos los sectores en cada una de las localidades, se entregó la información en medio duro (planos) al personal de medición para su revisión.
- Para cada ruta medida se abrió un archivo y se hizo la medición de la placa metálica, la cual se referenció a una patrón establecida.
- Sobre los planos de los sectores el encargado de operar los equipos, determinó la ruta a seguir.
- El equipo tiene un odómetro que indica la longitud recorrida.

- Una vez iniciada la ruta, en el mismo equipo se escribe el número del segmento que se esta midiendo. De esta manera ya no se tienen registros por separado de las rutas, sino que forma parte del archivo de los resultados.
- Se anotaron en observaciones el estado del clima, si el pavimento está húmedo al momento de la medición o si se ha pasado sobre una tapa de cámara. De esta manera se tuvo mayor control sobre datos con valores no representativos. Para esto se dispone de teclas o funciones que facilitan al operador esta labor.
- Finalizada la tarea asignada al equipo de medición, se descargaron los resultados en medio magnético. La información que Geocisa envía a TNM LIMITED para su procesamiento contiene:
  - Una base de datos denominada “Puntos de Interes.mdb”, la cual contiene todos los archivos con su correspondiente ruta
  - Archivo con información del Georadar (GPR) cuya extensión es *.dat. Además se tiene el archivo correspondiente a la placa metálica. Esta información fue organizada según el día de toma de mediciones.

B. INTERPRETACION DE DATOS



- La información recibida se procesó con el programa FullRadar.
- El primer paso fue abrir el archivo de la placa metálica. En la figura No. 7.19 se aprecia la pantalla del proceso.

Fig No. 7.19: Pantalla del FullRadar – Placa Metálica

- El segundo paso fue correr el archivo. En la figura No. 7.20 se observa la pantalla del proceso del archivo.

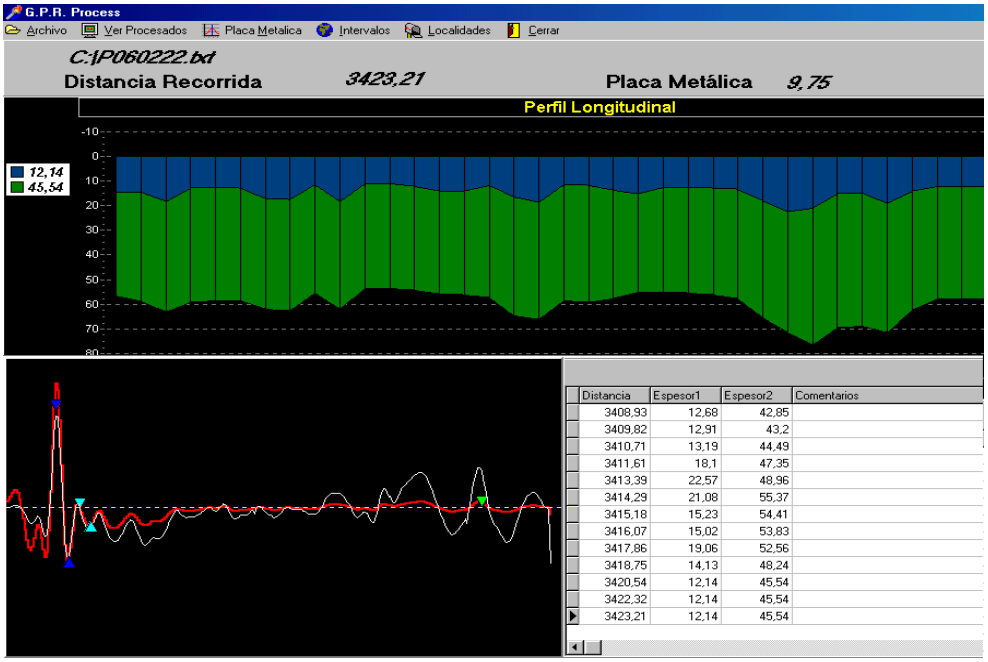


Fig No. 7.20: Pantalla del FullRadar – Proceso del Archivo

- Posteriormente se abre la opción “Ver Procesados”, mediante esta opción se migra la información (tal cual aparece en la figura No. 7.20) a un formato más útil ya que se asigna para cada segmento-calzada los espesores correspondientes a la estructura medida.

7.5.4.3 Método Fullradar Mejorado Con Procesamiento En Campo

Este nuevo método siguió prácticamente los mismos pasos del Método anterior Fullradar, en lo que se refiere la toma de datos. No hubo proceso posterior de Interpretación de datos en la oficina.

Se obtuvo la calibración de la placa metálica a usar, con parámetros visuales. El operario siguió una lista de chequeo, respecto a una medición de placa patrón, evitando así los errores.

Se procedió a la creación de un archivo con nombre único controlado y el sistema se encarga automáticamente de procesar los datos y calcular los espesores; posteriormente la información fue grabada en una base de datos Paradox.

En el proceso de toma de datos, se permitió detener el funcionamiento del odómetro (poner pausa) en cualquier momento de la medición; además se tuvo la opción de introducir los datos de calzada, segmento y comentarios.

Una vez finalizada la tarea de toma de datos, existió un proceso automático de la bajada de información del equipo. Se migró la información de la base de datos tipo Paradox a una base tipo Access o a un medio magnético (CD), en el cual constaba la información tal cual la requería TNM LIMITED para su uso posterior:

- Localidad
- Segmento calzada
- Abscisado
- Espesor TH1 (Espesor de Carpeta o Losa)
- Espesor TH2 (Espesor de Capa Granular)

Este proceso se implementó para eliminar las tareas posteriores a la captura de la información.

Cabe notar que durante los distintos procesos, se buscó mejorar el sistema y optimizar el proceso de obtención de datos.

7.5.4.4 Método Convencional (Apiques)

Los apiques son perforaciones realizadas mediante un método convencional, para determinar los espesores de la estructura existente. Se realizaron apiques de las siguientes características:

a) Apiques de calibración, en el caso de vías pavimentadas se realizaron cada 20 km. Estos apiques fueron utilizados para correlacionar con los valores obtenidos por el Georadar.

b) Apiques de reemplazo de Georadar, se realizaron en vías con pavimento rígido ya que los valores obtenidos con el Georadar no eran confiables; en algunos casos se realizaron también en pavimentos flexibles, esto debido a que el Georadar sufrió un daño que lo tuvo fuera de servicio por un periodo importante. El criterio de ubicación de este tipo de apiques se hace considerando la ejecución de un apique por cada corredor lineal de 500m y luego la información de espesores (TH1 y TH2) tomada se asigna a este sector de 500m.

c) Apiques en superficies sin pavimentar, en el que se determinó el espesor de la capa granular. El criterio de ubicación de este tipo de apiques se hizo considerando un apique por cada área correspondiente a un grupo de segmentos cuya longitud sea 500m. A estos apiques se les realizó un ensayo de penetración dinámica (DCP) para determinar el CBR de la subrasante, esto en consideración a que en estas vías no era posible utilizar el equipo de deflexión para determinar estas variables.

A. TOMA DE DATOS

- Con base a los sectores preVíamente definidos del Inventario Geométrico, se estableció la programación de la ubicación de los apiques por sectores y por localidad; además se identificó el tipo de apique requerido. Definidos los sectores en cada una de las localidades, se entregó la información en medio

duro (planos) al personal para su ejecución. Se especificó el segmento-calzada, la dirección y el tipo de apique a ejecutar.

- Una vez ubicados en el sitio correcto se procedió a la ejecución del apique. En el caso de las superficies pavimentadas esto se realizó con un equipo de perforación con recuperación de núcleo, utilizando una broca de 3" o de 4"; para la determinación del espesor granular se hincó una varilla por la perforación hasta encontrar la subrasante. En las superficies sin pavimentar se ejecutó un apique convencional (una excavación de 0.30 * 0.30 m con una profundidad hasta la subrasante, aprox 1 – 1.50 m) para poder realizar el ensayo de penetración dinámica (DCP).
- Finalizada la tarea de ejecución de apiques, se reportó la información correspondiente en un archivo Excel, indicándose por cada segmento-calzada el espesor de carpeta o losa TH1 (en caso de existir), el espesor de la capa granular TH2, el tipo de apique realizado y el CBR para los de superficies sin pavimentar.

B. INTERPRETACION DE DATOS

Una vez recibida la información y revisada la consistencia de la información, se asignó según el tipo de apique que sea:

1. Apiques de reemplazo de Georadar, por cada corredor lineal de 500m, se asignó el valor de los espesores correspondientes al apique ejecutado para este sector.
2. Apiques en superficies sin pavimentar, por cada área correspondiente a un grupo de segmentos cuya longitud sea 500m, se asignó el espesor y el CBR correspondiente al apique ejecutado para este sector.

En el anexo No. 6 del presente informe se incluye en mayor detalle el PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR ESPESORES DE CAPAS DEL PAVIMENTO TNM-PTE-07 REV.1, elaborado como parte del Plan de Calidad del Proyecto.

7.6 ESTUDIO DE TRÁNSITO[9]

7.6.1 ANTECEDENTES

Los Términos de Referencia establecían la responsabilidad del consultor de realizar conteos de tránsito en 20 ubicaciones por localidad, indicando adicionalmente que el IDU suministraría información acerca de las distintas entidades del Distrito que han llevado a cabo conteos.

Luego de analizar conjuntamente con el Consorcio Consultoría Colombiana S. A. – AIM Ltda, con las dos interventoras de los contratos y con el IDU, se estableció que era más procedente realizar un estudio general a nivel de toda la malla de la ciudad, que contemplando los aspectos físicos, funcionales y operativos de la red, permitiese establecer el valor de tránsito más adecuado a asignar a cada segmento – calzada. Con comunicación conjunta 01-0893-2000 del 24 de Febrero del 2000, TNM LIMITED y el Consorcio Consultoría Colombiana S. A. – AIM Ltda., enVíada al IDU, se solicitó la aprobación para una metodología establecida conjuntamente con el asesor de tránsito Ingeniero Jorge Matiz (ver en detalle la descripción de esta metodología en los siguientes ítems).

Con comunicación STDP-4100-0772 del 13 de Marzo del 2000, la Dirección Técnica de Malla Vial del IDU aceptó la metodología propuesta para el estudio de tránsito.

[9] Ing. Jorge Matiz. Asesor de tránsito.

Luego de revisada la información existente en las diferentes fuentes consultadas, se pudo establecer que no se requería realizar otros aforos o Estaciones Maestras, ya que con la información recolectada se suplían los requerimientos establecidos en la metodología presentada. Por esta razón con comunicación REG-0297-00 del 10 de Agosto del 2000, TNM LIMITED solicitó a la Interventoría y al IDU la eliminación de las estaciones Maestras, y se planteó la necesidad de realizar un estudio para determinar con mayor precisión los factores de daño de los vehículos que realmente transitan por la ciudad de Bogotá, como efectivamente se hizo.

7.6.2 OBJETIVO Y ALCANCE

El estudio de tránsito está orientado a la asignación de volúmenes de tránsito vehicular y su composición, de manera que permita calcular el Número de Ejes Equivalentes a 8.2 ton, base para la definición de las estrategias de intervención y en particular, de los planes de mantenimiento de la red inventariada.

Acorde con este objetivo, la metodología utilizada persigue la caracterización de la red desde el punto de vista físico y funcional, a la cual puedan asociarse rangos de volúmenes de tránsito, que junto con su composición vehicular permitan la asociación a rangos de números de ejes equivalentes a 8.2 ton, para cada uno de los segmentos de la red Vial. Estos rangos son utilizados como un criterio adicional para la identificación de tramos homogéneos, sobre los cuales se formulan los planes y estrategias de intervención de la malla Vial inventariada.

7.6.3 FUENTES DE INFORMACION

Para los efectos de la realización del estudio de tránsito para el proyecto, se tomó como fuente dos tipos de información: Secundaria y Primaria

7.6.3.1 Información secundaria

Para la caracterización de la red Vial y la posterior asignación de volúmenes de tránsito a la misma, se ha recurrido, fundamentalmente, a la información secundaria que considera: identificación de la red principal basada en la jerarquización Vial y la identificación de ejes principales por parte del Plan de Ordenamiento Territorial.

Así, la identificación de la red principal está basada en la jerarquización Vial establecida por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD), Acuerdos 2 de 1980 y 6 de 1990, a partir de la cual se clasifican las vías de V-0 a V-3, tal como se ilustra en la Figura No.7.21 – Malla Vial Principal, incluida a continuación.

Adicional a esta clasificación se han tenido en cuenta la identificación de ejes principales por parte del Plan de Ordenamiento Territorial y su prioridad dentro de la programación de ejecución durante la vigencia del plan, información que se consigna en las Figuras No. 7.22 y No.7.23 – Malla Vial - Plan de Ordenamiento Territorial, también incluidas a continuación.

La anterior información permite establecer la red Vial principal y por lo tanto aquella susceptible de atender los mayores flujos, en tanto que las vías restantes conforman la malla Vial secundaria y la malla Vial local.

Sin embargo esta categorización, establecida fundamentalmente a partir de las características de su sección transversal, no siempre refleja la estructura funcional de la red. Por esta razón se incluye, como uno de los criterios para visualizar la función de los elementos de la red Vial, la utilización que de ésta hace el servicio de transporte público de la ciudad, permitiendo adicionalmente,

destacar algunos tramos de la red secundaria como relevantes para la programación de las intervenciones futuras sobre la malla Vial.

El cubrimiento de la red de transporte público de la ciudad y los ejes Viales utilizados, se basa en la información suministrada por la Secretaría de Tránsito y Transportes de Bogotá (STT) sobre las rutas autorizadas por dicha entidad y su georreferenciación se presenta en la Figura No. 7.24 – Rutas de Transporte Público, en igual forma incluidas en el presente capítulo. Si bien el porcentaje de rutas operando sin autorización es importante en la ciudad, se ha considerado que estas rutas utilizan los mismos corredores de aquellas formalmente establecidas.

La cantidad de rutas sobre cada uno de los tramos Viales, constituye un criterio adicional para establecer la importancia relativa de cada uno de los segmentos de la malla Vial.

Para determinar la magnitud de los flujos sobre la red, se ha utilizado fundamentalmente la información disponible en los aforos de arribos a las intersecciones semaforizadas suministrada por la Dirección de Semaforización Electrónica de la ETB, realizados durante los años 1997, 1998 y 1999. Estos aforos se encuentran dispersos por gran parte de la ciudad y su localización se muestra en la Figura No.7.25 – Localización de Puntos de Aforos de Tránsito.

Por otra parte, se incorporaron aforos obtenidos para la misma entidad en intersecciones susceptibles de ser semaforizadas. En particular, se contó con conteos realizados por las firmas Alfredo Ardila, (años 1997 a 1999) y Projekta Ltda. (años 1998 y 2000)

Además de esta información, se incluyó toda aquella preparada para distintas entidades distritales por diferentes firmas consultoras. De especial importancia resultaron los aforos con cubrimiento de las 24 horas y con registro discriminado del tipo de vehículo de transporte público o de camiones, mediante los cuales fue posible la expresión de los conteos de la ETB en términos de TPDs y la determinación de los factores daño de los vehículos representativos del parque en la ciudad, respectivamente.

Una relación detallada de las intersecciones aforadas se presenta en el Anexo No. 7 del presente documento, pudiéndose destacar las siguientes fuentes complementarias de información:

- Ingetec S. A. - IDU - Estudios y Diseños para la Troncal de la Avenida de Las Américas
- Consorcio Restrepo y Uribe Ltda. - Sesac Ltda - IDU - Estudios y Diseños para la Regulación Vial y Adecuación de la Calle 80 al Sistema Troncal
- Duarte Guterman & Cia Ltda - STT - Estudio para la Expansión de la Señalización – Localidad de Suba
- Consultoría Colombiana S. A. – IDU Estudios y Diseños de Vías de Acceso a Barrios – Localidad de Ciudad Bolívar
- Projekta Ltda. - STT - Estudio para la Expansión de la Señalización – Localidad de Bosa
- Spea – Autostrade - IDU - Estudios y Diseños para la Troncal de la Ave. Centenario
- CEI - IDU - Estudios y Diseños de la Intersección de Los Héroes
- Unión Temporal Vargas - Velandia - La Vialidad Ltda. IDU – Evaluación y Rehabilitación de las Vías Grupo IV
- TNM. Technology and Management Ltd.- IDU - LP-DTMV - 087 - 1999

7.6.3.2 Información Primaria

Dado que mediante la utilización de la información secundaria, la clasificación Vial solo ha quedado definida hasta el nivel de las V-3, para la determinación de los demás tipos de vía se ha recurrido a la información obtenida directamente del inventario, objeto del presente estudio. Para tal efecto se han utilizado las variables: ancho de la sección, número de calzadas y número de carriles por calzada asociadas a los criterios de clasificación estipulados en los Acuerdos 2 de 1980 y 6 de 1990, presentados en el siguiente Cuadro No. 7.3: Clasificación Vial.

Cuadro No.7.3: Clasificación Vial

Cuadro No.7.3:CLASIFICACION VIAL			
TIPO DE VIA*	**ANCHO DE SECCION (m)**	**NUMERO DE CALZADAS**	**DISTRIBUCION DE CARRILES**
VIAS ARTERIAS			
V-0	100	4	6(R) + 6(L)
V-1	60	4	4(R) + 6(L)
V-1P	60	2	6
V-2	40	2	6
V-3	30	2	4
VIAS LOCALES			
V-4	25	2	4
V-5	18	1	2
V-6	16	1	2
V-7	13	1	2
V-8	10	1	2
V-9	8	1	1
V-9E	6	1	1

(R) Calzada rápida
(L) Calzada Lenta

***Fuente: Acuerdos 2/80 y 6/90**

Por otra parte, no obstante el número importante de puntos de aforo, la información de la ETB abarca solamente el período comprendido entre las 6:30 y las 20:30 horas, con distinción de tres intervalos discontinuos dentro de este, cuya duración varía según el año de aforo.

Esta situación hace necesario extrapolar los valores allí registrados a las 24 horas del día, para lo cual, en un principio, se tuvo prevista la realización de conteos en estaciones maestras que, además de cubrir el día completo, registrase la composición vehicular, discriminando entre buses y busetas e igualmente el tipo de camión.

Sin embargo, durante el desarrollo del estudio se pudieron identificar diferentes estaciones maestras, pertenecientes a estudios realizados anteriormente por firmas consultoras. (Ver Anexo 7). Si bien estas estaciones atendían otros objetivos, resultaron útiles para los propósitos del presente estudio, ya fuese por tener el registro de 24 horas continuas de aforo y/o por incluir la discriminación del tipo de camión o de bus.

La existencia de esta información secundaria permitió prescindir de la toma de información primaria, orientando los esfuerzos hacia la determinación más precisa del factor de daño de los vehículos de transporte público, teniendo en cuenta que esta información es bastante precaria para la ciudad.

El Anexo No. 7 se presenta la lista de puntos de aforo, con su localización, fecha de realización de los conteos y fuente con registros diarios, también se incluye en el anexo esta misma información para las estaciones con información detallada de la composición vehicular. La localización dentro de la red de unos y otros se representa en la Figura No. 7.26. Estaciones Maestras Existentes.

7.6.3.3 Criterios de Extrapolación

La información anteriormente mencionada ha permitido el cálculo de los factores de extrapolación de los conteos de tránsito cubiertos durante los aforos de la ETB y demás fuentes secundarias para expresar los volúmenes de tránsito en términos de tránsito promedio diario (TPDs).

El Anexo 7 se presentan los factores de extrapolación obtenidos en cada una de las estaciones maestras existentes, para los diferentes accesos considerados y tipos de vehículo involucrados, calculado para cada año de aforo utilizado por la Dirección de Semaforización Electrónica, teniendo en cuenta que cada uno de ellos presenta un período de registros diferente, así:

AÑO	PERIODO MAÑANA	PERIODO MEDIO DIA	PERIODO TARDE
1997	6:30 – 9:30	11:00 – 16:00	17:30 – 20:30
1998	6:30 – 9:30	11:00 – 15:30	17:00 – 20:00
1999	6:30 – 10:00	10:30 – 16:30	17:00 – 20:00

Al final de este numeral, en el Cuadro No.7.4 se muestra un resumen de los valores medios de los factores calculados como la relación entre el volumen de 24 horas registrado en la estación y el volumen vehicular correspondiente al período registrado por la ETB según el año. Al respecto puede anotarse la poca variación de los factores para los diferentes tipos de vehículo dentro de un mismo año, en tanto que las discrepancias más significativas se derivan de las diferencias de los períodos cubiertos en los distintos años. De esta manera, se ha adoptado utilizar un factor de 1.3 para los aforos correspondientes al año de 1999 y de 1.6 para los realizados en los años 1997 y 1998, basados en los valores medios de los factores encontrados dentro del análisis de la información de las estaciones consideradas. (Ver Anexo No.7)

Cuadro No.7.4: Factores de Extrapolación de los Aforos

CUADRO 7.4:. FACTORES DE EXTRAPOLACION DE LOS AFOROS

	AUTOS	BUSES	BTA	CAMION	TOTAL
AVENIDA DE LAS AMERICAS					
P99-1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3
P98	1.6	1.5	1.5	1.8	1.6
P97	1.5	1.5	1.4	1.7	1.5
CALLE 80					
P99-1	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5
P98	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7
P97	1.4	1.4	1.5	1.7	1.4
AVENIDA SUBA					
P99-1	1.6	1.4	1.4	1.3	1.5
P98	1.8	1.6	1.7	1.6	1.8
P97	1.7	1.5	1.6	1.6	1.7
AVENIDA CENTENARIO					
CALZADA LENTA					
P99-1	1.3	1.5	1.4	1.4	1.3
P98	1.5	1.9	1.8	1.9	1.6
P97	1.5	1.8	1.9	1.6	1.6
CALZADA RAPIDA					
P99-1	1.3	1.3	1.5	2.0	1.3
P98	1.6	1.4	1.7	2.5	1.6
P97	1.5	1.5	1.7	2.3	1.5
LOS HEROES					
P99-1	1.2	1.2		1.2	1.2
P98	1.5	1.4		1.5	1.5
P97	1.4	1.4		1.5	1.4
TUNJUELITO					
P99-1	1.3	1.4		1.3	1.3
P98	1.5	1.7		1.5	1.6
P97	1.6	1.7		1.6	1.6
MARTIRES					
P99-1	1.2	1.4		1.2	1.2
P98	1.4	1.6		1.5	1.4
P97	1.3	1.7		1.4	1.4
SAN CRISTOBAL					
P99-1	1.2	1.4		1.2	1.2
P98	1.4	1.6		1.5	1.5
P97	1.4	1.5		1.5	1.5
RAFAEL URIBE					
P99-1	1.3	1.4		1.3	1.3
P98	1.5	1.6		1.5	1.5
P97	1.5	1.6		1.6	1.5
CIUDAD BOLIVAR					
P99-1	1.4	1.4		1.1	1.4
P98	1.6	1.6		1.3	1.6
P97	1.6	1.6		1.3	1.6
VALORES MEDIOS	**1.3**	**1.4**	**1.4**	**1.3**	**1.3**
FACTOR DE EXPANSION	**1.6**	**1.6**	**1.6**	**1.7**	**1.6**
	1.5	**1.6**	**1.6**	**1.6**	**1.5**
PERIODO ETB	**75.5**	**73.4**	**72.3**	**74.5**	**75.8**
(%)	**64.0**	**62.8**	**60.6**	**59.6**	**63.9**
	66.3	**64.1**	**62.0**	**61.8**	**65.9**

Por otra parte se observa que el patrón de flujos vehiculares se mantiene relativamente estable en la ciudad, pues no se detectan diferencias significativas al considerar la localización de las estaciones de conteo dentro de esta. Por esta razón los factores adoptados se consideran apropiados para el conjunto de localidades objeto del presente estudio.

7.6.3.4 Composición Vehicular

La principal fuente de información sobre la composición vehicular se encuentra incluida en los aforos vehiculares de la Dirección de Semaforización Electrónica, pero esta tan solo discrimina las categorías de Autos, Buses y Camiones.

Para conocer la participación de buses y busetas, así como de cada uno de los diferentes tipos de camión se recurrió a la información de las estaciones existentes que reportan una discriminación detallada del tipo de vehículo. Ver Anexo 7.

Las variaciones encontradas en materia de composición vehicular resultan bastante significativas; sin embargo, al considerar la localización de las estaciones es posible identificar al tipo de vía y los usos del suelo como aspectos determinantes de la participación y tamaño de los camiones. Esta situación lleva a la necesidad de establecer factores de daño, lo cual se maneja dentro del estudio estableciendo una categorización de la red desde el punto de vista de tránsito que contempla tanto los TPDs servidos como su composición.

Por su parte, a la presencia de rutas de transporte público en un determinado corredor explica de gran manera la participación de buses dentro del flujo vehicular. Si bien existen rutas de transporte autorizadas para un exclusivo tipo de transporte, para la distribución entre buses y busetas se ha considerado procedente utilizar la proporción en que estos tipos de vehículos participan dentro

del parque conjunto, la cual se reparte en aproximadamente el 55% buses y el 45% busetas.

En el Anexo 7 se presenta la composición registrada en las estaciones maestras utilizadas en los análisis, pudiéndose observar una participación significativa del camión de dos ejes pequeño y la presencia de vehículos de tres y más ejes, circulando principalmente por aquellas vías destinadas a atender el flujo regional o en zonas de actividad primordialmente industrial. La incidencia de los usos del suelo y del número de rutas de transporte público es ilustrada en los análisis de cada localidad en particular.

7.6.3.5 Tasas de Crecimiento del Tránsito

El requisito de proyectar los volúmenes de tránsito actuales a diferentes años futuros crea la necesidad de adoptar una tasa de crecimiento de dicho tránsito, tasa que se desconoce para la ciudad no solo en términos globales sino también en forma discriminada para cada tipo de vehículo en particular. Por otra parte, no se dispone de series históricas resultantes de un registro sistemático de la información orientado con este propósito.

Partiendo del hecho de que dicha tasa esta íntimamente relacionada con el futuro desarrollo de la ciudad y de las características socioeconómicas de su población se ha recurrido a establecer una tasa de crecimiento del tránsito tomando como referencias los comportamientos pasados y estimativos futuros de variables a las cuales se les reconoce su incidencia sobre los desplazamientos dentro de la ciudad.

Ejercicios de este estilo se han realizado en estudios tales como el Plan Maestro de Transporte (JICA, 1996) y la Actualización de la Demanda del Sistema Integrado de Transporte Público (Cal y Mayor Asociados, 1999) cuyos resultados se presentan en forma resumida en el Cuadro No.7.5. Tasas de Crecimiento Socioeconómico.

Cuadro No.7.5: Tasas de Crecimiento Socioeconómico

TASAS DE CRECIMIENTO SOCIOECONOMICO

FUENTE JICA*

		1995	2020	TASA ANUAL
POBLACION	AREA METROP.	6.811.000	11.074.808	2.0
	BOGOTA	5.995.000	8.646.212	1.5
PEA		2.635.000	4.282.000	2.0
PIB REGIONAL				5.2
PARQUE		497.747	1.350.000	4.0
VIAJES DIARIOS	H. NO MOTORIZADOS	6.922.889	7.404.852	0.3
	H. MOTORIZADOS	4.273.941	10.005.711	3.5
	TOTAL	11.196.830	17.410.563	1.8
VIAJES / VEH	PRIVADO	1.931.032	4.229.016	3.2
	PUBLICO	376.575	493.577	1.1
	TOTAL	2.307.608	4.722.593	2.9
VIAJES T. PUBLICO		8.300.000	11.200.000	1.2

FUENTE METRO**

	PERIODO	TASA ANUAL
POBLACION	1993 - 1998	2.2
PIB REGIONAL	1997	3.6
	1998	1.0
INGRESO PER CAPITA	1985 - 1996	2.0
EMPLEO	1987 - 1996	3.7
EMPLEO TERCIARIO		2.8

*** JICA. Estudio del Plan Maestro de Transporte Urbano de Santa Fe de Bogotá. 1996**
**** Cal y Mayor Asociados. Actualización de la Demanda del Sistema Integrado de transporte Público y Colectivo de Santa Fe de Bogotá. 1999**

El estudio de JICA muestra una tasa de crecimiento de los Víajes diarios del 1.8% anual soportada fundamentalmente en el crecimiento de los niveles de motorización de los hogares, hipótesis que se verá reflejada en una tasa de crecimiento del 2.9% en Víajes/vehículo en donde la correspondiente al transporte público será tan solo del 1.1 %. Esta aproximación a las condiciones futuras de la ciudad contrasta con las tendencias hacia una mayor restricción al vehículo privado, la utilización de modos no motorizados y las necesidades cada vez mayores de estimular los desplazamientos en los servicios de transporte público, con lo cual la tasa del 2.9% anual para el incremento del tráfico en general podría considerarse elevada.

Por otra parte, el optimismo sobre el crecimiento económico considerado en el estudio de JICA (5.2% para el PIB regional) se desvanece ante los resultados recientes con cifras del 3.6 y 1.0 para los años 1997 y 1998, respectivamente.

Con base en las anteriores consideraciones se ha adoptado una tasa de crecimiento del tránsito en general del 2.0% para los propósitos del presente estudio, cifra concordante con la tasa de crecimiento de la población. Esta tasa podría aparecer elevada para el tránsito de buses y busetas, cuyo parque suele crecer más lentamente que el de los demás vehículos; sin embargo ante la carencia de elementos que permitan una mayor discriminación por tipo de vehículo, la falta de claridad sobre el manejo del parque de servicio público una vez se implemente el Programa de Transmilenio y sobre las políticas de reposición de dicho parque, se insiste en considerar una tasa general.

De esta manera, el impacto de cada tipo de vehículo sobre las estrategias de intervención queda gobernada por la composición vehicular actual, salvo en aquellos casos en donde se prevea el cambio del carácter de un determinado eje Vial o la aparición de nuevas vías en el futuro, información que se deriva del POT y su programa de ejecución.

7.6.4 ANALISIS DE LA INFORMACION

7.6.4.1 Criterios de Asignación de Tránsito y su Respectiva Composición Vehicular

Partiendo de la información disponible, una de las primeras actividades consiste en la definición de la estructura Vial de la malla de cada localidad. Esta estructura queda definida en términos de las características físicas de la malla Vial, su utilización considerando los flujos atendidos y la importancia del sistema de transporte público, reflejada en el número de rutas autorizadas por la STT, en cada segmento de la red.

La estructura así definida permite establecer una jerarquización Vial, no solo física sino también funcional, pudiéndose interpretar como categorías Viales, permitiendo que el resultado obtenido sobre un determinado arco, el cual dispone de información, pueda ser utilizado para alimentar la base de aquellos, que al carecer de ella, pertenecen a la misma categoría Vial.

La proyección de los tránsitos utiliza la tasa de crecimiento anteriormente discutida, en tanto que para el Numero de Ejes Equivalente considera el acumulado durante los años del período de análisis.

7.6.4.2 Definición del Bus y Camión Tipo

La razón de identificar un vehículo tipo tanto de transporte público, como de los camiones, estriba en la dificultad de conocer la composición vehicular en forma discriminada para cada uno de los tramos, máxime cuando la información de base de los volúmenes de tránsito solo distingue tres grupos de vehículos: Automóviles, Buses y Camiones.

Teniendo en cuenta que la importancia de dicha discriminación estriba en su incidencia en los factores de daño a los pavimentos, bastará con determinar un factor promedio para los camiones, ponderado por la participación que cada tipo de camión, según su capacidad y nivel de carga, tiene dentro de la composición vehicular anteriormente discutida. Igual anotación puede hacerse para los buses que en el flujo vehicular aparecen operando conjuntamente con las busetas.

La discriminación del tipo tanto de camión como de vehículo de transporte público permite la determinación del factor de daño respectivo y además representativo para la ciudad.

De esta manera, la expansión de los volúmenes a lo largo de toda la malla en la localidad puede llevarse solo al nivel de Automóviles, Buses y Camiones, a sabiendas que estos dos últimos representan un vehículo tipo dentro del conjunto de vehículos de sus respectivas categorías.

7.6.4.3 Determinación del Numero de Ejes Equivalente a 8.2 ton

El paso siguiente consiste en determinar el número de ejes equivalentes a 8.2 ton, sobre las diferentes categorías Viales, actividad que toma los flujos vehiculares diarios, llevados a una base común del año 2000, manteniendo la discriminación por tipo de vehículo en Autos, Buses y Camiones, en donde el bus y el camión representan vehículos de transporte público y de transporte pesado tipos, respectivamente.

Los volúmenes de tránsito y su composición vehicular así planteada permiten el cálculo del Número de Ejes Equivalente y su agrupación por rangos, utilizando los factores de daño de cada tipo de vehículo, según las pautas trazadas por el área

de pavimentos del proyecto, información con la cual es finalmente alimentada la base de datos que soportará las acciones de gestión de la red.

En términos generales, el cálculo del número de ejes equivalente en el año base queda gobernado por la siguiente expresión:

$$N_{2000} = 365*(Vol_Autos_{2000}*Fa + Vol_Buses_{2000}*Fb + Vol_Camiones_{2000}*Fc)$$

Donde, Fa, Fb y Fc indican los factores de daño para automóviles, buses y camiones, respectivamente, los volúmenes vehiculares corresponden a flujos diarios y el factor de daño de los camiones se ha ponderado para los diferentes tipos de camión y varía de acuerdo con la categoría de la vía a la cual pertenezca el segmento considerado.

7.6.4.4 Determinación del Factor Daño

La determinación de los Factores Daño para este proyecto, incluidos en el cálculo del número de ejes equivalentes, se realizó a partir de los resultados del estudio de tránsito en cuanto a distribución del parque automotor y con base en los resultados de pesajes y de recopilación de información sobre el tema.

De acuerdo con los volúmenes y distribución definidos en el estudio de tránsito, las vías incluidas en el inventario Vial y en general las vías que conforman la malla Vial en Bogotá, deben su carga principalmente a los automóviles y a los vehículos de transporte público, es decir buses y busetas; en menor porcentaje, aunque no menos importantes, se encuentran los camiones, en especial los de dos ejes.

El Factor de Equivalencia de Carga, que representa el efecto de una determinada carga expresada en ejes de 8.2 ton, se calculó utilizando el método simplificado de la AASHTO como se indica a continuación:

Eje simple de rueda simple: $$FEC = \left(\frac{C \arg a \text{ eje (ton)}}{6.6} \right)^4$$

Eje simple de rueda doble: $$FEC = \left(\frac{C \arg a \text{ eje (ton)}}{8.2} \right)^4$$

Tándem: $$FEC = \left(\frac{C \arg a \text{ eje (ton)}}{15.0} \right)^4$$

Trídem: $$FEC = \left(\frac{C \arg a \text{ eje (ton)}}{23.0} \right)^4$$

El Factor Daño (FD) se calculó como la sumatoria de los FEC de cada tipo de eje que compone el vehículo.

Para determinar el FD de buses y busetas se realizaron pesajes en la Estación de Siberia de la Concesión Sabana de Occidente, de cada eje de vehículos de este tipo. El FEC se calculó para cada eje considerando el vehículo cargado y descargado y el Factor Daño como la sumatoria de estos valores.

De los cálculos se obtuvo para buses un Factor Daño de 0.29 y para busetas de 1.25, promediando los resultados de los diferentes vehículos pesados. Para obtener un FD para la componente de buses en el cálculo de Número de Ejes Equivalentes (NEE), se tomó un promedio ponderado considerando la composición del parque automotor en la ciudad, indicado en el estudio de tránsito como aproximadamente de 55% buses y el 45% busetas.

Para determinar el FD de camiones se tomaron los valores indicados en el "Estudio de los factores daño de los vehículos que circulan por las carreteras colombianas" de A. Murgueitio (et al), tomando de nuevo un promedio ponderado de acuerdo con la distribución indicada en el estudio de tránsito para los diferentes tipos de camiones (C2P, C2G, C3-C4 y C5), definidos en los diferentes puntos de aforo.

Los valores de Factor Daño finalmente establecidos para este proyecto se indican en el cuadro No.7.6 siguiente.

Cuadro No. 7.6: Factores Daño

Tipo de Vehículo	Factor Daño
Autos	0.001
Buses	0.7
Camiones	2.8

7.6.4.5 Jerarquías de Tránsito

Para clasificar las vías por su jerarquía de tránsito, se calculó el número de ejes equivalentes con el tránsito actual y se agruparon dentro de los siguientes rangos

Cuadro No. 7.7: Rangos de Ejes Equivalentes a 8.2 ton

Tipo	Número de Ejes Equivalentes x 106
T0	<0.02
T1	0.02 – 0.5
T2	0.5 – 1.5
T3	1.5 - 4.0
T4	4.0 – 10.0
T5	>10.0

Las vías del presente inventario se encuentran en su mayoría en los rangos T0, T1, T2 y T3, es decir, vías con menos de 4 millones de ejes equivalentes.

7.6.5 PRODUCTOS DEL ESTUDIO DE TRÁNSITO

Las diferentes capas de información utilizada, así como la integración de estas se desarrolla de manera particular para cada una de las localidades de la ciudad permitiendo obtener como principales resultados, para cada uno de los segmentos de la red los siguientes elementos:

a) Volúmenes vehiculares al año 2000
b) Distribución porcentual del tránsito

Con base en la tasa de crecimiento del tránsito general podrán calcularse tanto los volúmenes vehiculares futuros, como el Numero de Ejes equivalentes a 8.2 ton, para los diferentes períodos de análisis.

7.6.6 VOLUMENES VEHICULARES POR LOCALIDAD

Las anteriores bases metodológicas han sido aplicadas a cada una de las siete (7) Localidades inventariadas, resaltándose solo sus característicos aspectos particulares, resumidas en un conjunto de planos presentados en los informes individuales presentados para cada una de las Localidades.

CAPITULO 8

DISEÑO Y DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS

En este capítulo se definen las Especificaciones Funcionales para el diseño y elaboración de la Base de Datos para el Sistema de Información del Inventario de la Malla Vial desarrollado conjuntamente entre las compañías TNM LIMITED y el Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda., para el Instituto de Desarrollo Urbano de la ciudad de Bogotá.

8.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con el Pliego de Condiciones, TNM LIMITED estará en capacidad de "alimentar la base de datos del Sistema de Administración de Pavimentos con que cuenta el IDU (PAVEMENT VIEW PLUS), o el que el IDU designe.". El mismo pliego aclara posteriormente que "El proponente podrá ofrecer otro Sistema de Administración de Pavimentos, sin costo para el IDU, siempre y cuando cumpla como mínimo con las características del Pavement View Plus. No obstante lo anterior, el IDU se reserva el derecho de aceptarlo o no".

TNM LIMITED diseñó y desarrolló su propia Base de Datos con el objeto de almacenar y procesar los Datos del Inventario Vial. Luego, vino el compromiso del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. para la entrega del modelo y diseño de la Base de Datos final que se entregaría al IDU. Por ello, se programaron y realizaron reuniones conjuntas entre las dos empresas que condujeron al diseño y construcción de la Base de Datos que se entrega con este proyecto.

8.2 OBJETIVO Y ALCANCE

La Base de Datos tiene como objetivo, almacenar en medio magnético los datos obtenidos de los segmentos inventariados y reflejar el estado y contenido de cada uno de los elementos integrantes. Ésta Base de Datos es alimentada desde la Base de Datos central de TNM LIMITED, previo el proceso de captura, validación y depuración de la información tomada en campo, de acuerdo con los procedimientos explicados en el Capitulo Siete del presente Documento Maestro.

La actualización de la información, referente a los cambios que puede tener cualquier elemento de la calzada, permitirá visualizar la transformación y estado de cada segmento.

8.3 PROCEDIMIENTO

Mediante reuniones conjuntas entre el Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. y TNM LIMITED, se diseñó la Base de Datos. Se analizó el contenido de cada una de las tablas, estandarizando el nombre de cada campo de datos, sus atributos como su tipo (numérico, alfanumérico, etc.), longitud y validación, así como las relaciones existentes con otras tablas.

Igualmente, se definieron: a) los campos de uso obligatorio, es decir, aquellos que deben tener un contenido; b) los campos de uso exclusivo para una u otra compañía debido a la forma como se capturaron o interpretaron los datos y c) los campos que posteriormente serán llenados por los contratistas que realicen intervenciones en las calzadas. Posteriormente se determinó cuales tablas contendrán información del inventario Vial y cuales información para el mapa digital.

Algunos campos de datos, como las longitudes y abscisas horizontales son de uso exclusivo del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. y las longitudes y abscisas inclinadas son de uso exclusivo de TNM LIMITED debido a la metodología del inventario geométrico. Otros campos de datos, como Nro_Tubos en la tabla ALCANTARILLA ó el campo DOL en la tabla CONDICIÓN_ESTRUCTURAL no fueron inventariados o calculados por TNM debido también a las metodologías utilizadas. Los campos de datos asociados directamente con el mapa digital tampoco fueron actualizados por TNM debido a que el Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. lo hará una vez finalice las correcciones y actualizaciones que ellos están realizando sobre el mapa digital.

El desarrollo y construcción de las tablas se hizo también de manera conjunta, mediante diferentes versiones, mejoras y adecuaciones hasta llegar a la versión que se presenta en este informe. Cada empresa desarrolló sus propios programas y procedimientos para alimentar y llenar la Base de Datos, validando y verificando su contenido.

En la figura No.8.1 se puede observar la estructura de la Base de Datos y las relaciones (enlaces) de las diferentes tablas que la componen. La estructura principal se encuentra en las tablas de SEGMENTO, ELEMENTO_SECCION y CALZADA. Desde ahí se enlazan los diferentes elementos como Alcantarillas, Bahías, Bermas, Box Coulberts, Cunetas, Demarcaciones, Fallas Señales, Sumideros y las Condiciones de Tránsito, Servicio y Estructural asociadas a la Calzada.

La Funcionalidad del Segmento determina si la vía es vehicular o peatonal. Con esta Funcionalidad, también se puede determinar si el segmento corresponde a frontera o límite entre dos o más localidades, en cuyo caso la información se debe ubicar en la localidad adyacente.

8.4 ESTRUCTURAS DE INFORMACIÓN

El presente capítulo, relaciona el contenido de la Base de Datos entregada, donde se utiliza la siguiente nomenclatura para su interpretación. Primero se especifica el Nombre de la Tabla y a continuación los campos de datos que la conforman. Por cada campo se relaciona el Nombre del Campo, su Descripción, Tipo y Longitud.

El Tipo del Campo de Datos puede ser:

NES = Numérico Entero Sencillo

NED = Numérico Entero Doble

NFL = Numérico Flotante (con decimales)

TXT = Texto o Carácter

SiNo = Si ó No

La Longitud, especifica la cantidad de bytes ocupados. Cuando corresponde a un campo tipo NFL, los dígitos después de la coma significan la cantidad de decimales en esa Longitud total.

Cuando el nombre del campo de datos se presenta resaltado en negrilla, significa que constituye la clave de acceso al registro. Ésta clave puede estar conformada por más de un campo.

8.4.1 TABLAS DE VALIDACIÓN

Se definen bajo esta característica, aquellas tablas que se utilizan para ajustar el contenido de algunos campos de datos a éstos valores. Tienen una relación directa con otras tablas y se asocian por el nombre del campo de datos.

- Tabla : **TIPO_ALCANTARILLA**

  Define los diferentes Materiales con los que están construidas las Alcantarillas.

  Tipo_Material_Alcantarilla: Código del Material de Revestimiento, NES(2).

  Descripción_Alcantarilla: Descripción del Material de construcción de la Alcantarilla, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_CUNETA**

  Define los diferentes tipos de Cunetas. Conformada por:

  Tipo_Cuneta: Código del Tipo de Cuneta, NES(2).

  Descripción_Cuneta: Descripción del Tipo de Cuneta, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_DEFLECTOMETRÍA**

  Define los diferentes métodos utilizados para registrar la medición de las deflexiones. Conformada por :

  Tipo_Deflectometría: Código del Método de Medición de Deflexión, NES(2).

  Descripción_Tipo_Deflectometría: Descripción del Método de Medición, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_DEMARCACIÓN**

  Agrupa los diferentes demarcaciones, marcas y letreros en la superficie de una calzada.

  Tipo_Demarcación: Código del Tipo de Demarcación, NES(2).

  Descripción_Demarcación Descripción del Tipo de Demarcación, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_ELEMENTO**

  Define los elementos que constituyen la sección transversal de un segmento. Conformada por:

  Tipo_Elemento: Código del Tipo de Elemento, NES(2).

  Descripción_Elemento: Descripción del Tipo de Elemento, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_FALLA**

  Contiene los diferentes tipos de daño que se pueden presentar en la superficie de una Calzada.

  Tipo_Falla: Código del Daño, NES(2).

  Descripción_Falla: Descripción del Daño, TXT(30).

  Peso: Peso MDR, NFL(5,2).

- Tabla : **TIPO_FUNCIONALIDAD**

  Define el uso y función que tiene un segmento.

  Tipo_Funcionalidad: Código del Tipo de Funcionalidad, NES(2).

  Descripción_Funcionalidad: Descripción de la Funcionalidad del segmento, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_GEORADAR**

  Relaciona los diferentes métodos utilizados para tomar las mediciones de Estructura del Pavimento.

  Tipo_Georadar: Código del Método de Medición de la Estructura del Pavimento, NES(2).

  Descripción_Tipo_Georadar: Descripción del Método de Medición, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_IRI**

  Relaciona los diferentes métodos utilizados para tomar las mediciones de Rugosidad de la Superficie de la Calzada.

  Tipo_IRI: Código del Método de Medición de la Rugosidad de la Superficie, NES(2).

  Descripción_Tipo_IRI: Descripción del Método de Medición de la Rugosidad, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_MATERIAL_ANDÉN**

  Define los diferentes Materiales con los que están construidos los Andenes y Separadores.

  Tipo_Material_Andén: Código del Tipo de Material del Andén ó del Separador, NES(2).

  Descripción_ Material_Andén: Descripción del Material de construcción del Andén o Separador, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_MATERIAL_CUNETA**

  Relaciona los diferentes Materiales con los que se revisten las drenajes tipo Cuneta.

  Tipo_Material_Cuneta: Código del Material de Revestimiento de la Cuneta, NES(2).

  Descripción_Material_Cuneta: Descripción del Material de Revestimiento de la Cuneta, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_RANGO_PENDIENTE**

  Contiene los diferentes Rangos en los que se clasifican las Pendientes de una Calzada.

  Rango_Pendiente: Código del Tipo de Rango Pendiente, NES(2).

  Descripción_Pendiente: Descripción del Tipo de Pendiente, incluyendo los valores correspondientes, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_SEÑAL**

  Relaciona las diferentes señales de tránsito.

  Tipo_Señal: Código del Tipo de Señalización, NES(2).

  Descripción_Señal: Descripción del Tipo de Señalización, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_SUMIDERO**

  Define los diferentes drenajes clasificados como sumideros.

  Tipo_Sumidero: Código del Tipo de Sumidero, NES(2).

  Descripción_Sumidero: Descripción del Tipo de Sumidero, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_SUPERFICIE**

  Relaciona los diferentes materiales con los que se encuentran construidas las Calzadas.

  Tipo_Superficie: Código del Tipo de Superficie, NES(2).

  Descripción_Superficie: Descripción del Tipo de Superficie, TXT(30).

- Tabla : **TIPO_VÍA**

  Es la clasificación o categoría de las vías.

  Tipo_Vía: Código del Tipo de Vía, NES(2).

  Descripción_Vía: Descripción del Tipo de Vía, TXT(30).

8.4.2 TABLAS DE CONTROL

Las siguientes tablas se utilizan para definir la estructura básica de la Base de Datos y para controlar los diferentes estados de inventario realizados.

- Tabla : **LOCALIDAD**

  Contiene las Descripciónes de las localidades que conforman el Distrito Capital.

  Cod_Localidad: Código de la Localidad, NES(2).

  Descripción_Localidad_ Descripción ó nombre de la Localidad, TXT(30).

  Cod_Zona: Código de la Zona donde esta ubicada esa localidad, NES(2).

- Tabla : **SEGMENTOS**

  Se define como segmento, el espacio comprendido entre dos (2) nodos en el Mapa Digital.

  Cc_Id: Código del Segmento, NED(8). Es el resultado de aplicar la siguiente fórmula: (Cod_Localidad * 1.000.000). + Número del Segmento (como se identificaba en el Mapa Digital).

  Nom_Extremo_Inicial: Código de la Nomenclatura con el que inicia el segmento, TXT(12).

  Nom_Extremo_Final: Código de la Nomenclatura con la que finaliza el segmento, TXT(12).

  Cantidad de Rutas: Cantidad de Rutas Oficiales de Transporte Urbano que pasan por el segmento, NES(2).

Tipo_Vía: Código Tipo de Clasificación Vial, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_VÍA.

Nom_Vial: Nombre de la Vía, TXT(10).

Nomem_Generadora: Código de la Nomenclatura Generadora del Segmento, TXT(10).

Nombre_Comun: Nombre Común con el que se identifica el segmento, TXT(100).

Lpolígono: Número del Polígono Izquierdo, NED(6). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED. El Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. lo actualizará una vez corrija los ejes y nodos del mapa digital.

Rpolígono: Número del Polígono Derecho, NED(6). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED. El Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. lo actualizará una vez corrija los ejes y nodos del mapa digital.

Fnodo: Número del Nodo Anterior, NED(6). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED. El Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. lo actualizará una vez corrija los ejes y nodos del mapa digital.

Tnodo: Número del Nodo Siguiente, NED(6). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED. El Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. lo actualizará una vez corrija los ejes y nodos del mapa digital.

XMin: (Ver desarrollo del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.)

YMin: (Ver desarrollo del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.)

XMax: (Ver desarrollo del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.)

YMax: (Ver desarrollo del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.)

Placa: (Ver desarrollo del Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.)

- Tabla : **ELEMENTO_SECCIÓN**

  Se utiliza esta tabla para relacionar las partes integrantes de un segmento.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6).

  Cod_Histórico_G: Código del Histórico Geográfico al que corresponde el Inventario, NED(6).

  Cc_Id: Código del Segmento, NED(6). Relacionado con la tabla SEGMENTOS.

  Orden_Elemento: Número de Orden del Elemento, NES(2). Los elementos se numeran de izquierda a derecha, incluyendo Andén, Calzada, Separador, Calzada, como se explica en detalle en el Capitulo 6 de este Informe Final.

  Tipo_Elemento: Código del Tipo de Elemento, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_ELEMENTO.

- Tabla : **CALZADAS**

  Esta tabla relaciona la zona de la vía, dedicada exclusivamente al tránsito.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCIÓN.

  Tipo_Funcionalidad: Código Tipo de Funcionalidad del Segmento, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_FUNCIONALIDAD.

  Tipo_Superficie: Código del Tipo de Superficie de la Calzada, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_SUPERFICIE.

  Longitud_I: Longitud Real Inclinada de la Calzada, NFL(5,2).

  Ancho_Calzada: Ancho de la Calzada, NFL(5,2).

  No_Carriles Número de Carriles de la Calzada, NES(2). Este valor se calcula de acuerdo con el Ancho de la Calzada y el siguiente algoritmo:

No.CARRILES = 1 SI ANCHO DE CALZADA <= 4.20

No.CARRILES = 2 SI ANCHO DE CALZADA > 4.20 Y <= 8.40

No.CARRILES = 3 SI ANCHO DE CALZADA > 8.40 Y <= 11.40

No.CARRILES = 4 SI ANCHO DE CALZADA > 11.40

Sentido_Tránsito Código del Sentido de Tráfico, NES(2). Los valores posibles son:

1 = Con Nomenclatura

2 = Contra Nomenclatura

3 = Ambos Sentidos

Rango_Pendiente: Código del Tipo Pendiente por Rango, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_RANGO_PENDIENTE.

Pendiente: Valor Real de la Pendiente, NES(3). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED.

Ano_Intervención: Año de la Última Intervención aplicada a la Calzada, NES(4). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED.

Tiempo_Garantía Tiempo de Garantía de la Obra en Años, NES(2). Campo No Obligatorio para TNM LIMITED.

Múltiple_Superficie: Calzada con Múltiples Superficies? SiNo(1).

Longitud_H: Longitud Real Horizontal de la Calzada, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

- Tabla : **HISTÓRICO_E_ELEMENTOS**

Maneja la relación de los diferentes inventarios que ha tenido un elemento del segmento en el tiempo.

Cod_Histórico_E: Código del Histórico de Elementos, NED(6).

Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6).

- Tabla : **HISTÓRICO_ESTADO**

  .Asocia las tablas HISTÓRICO_ELEMENTOS y CONTRATOS_HISTÓRICOS. Diferencia en el tiempo las Fallas de la calzada y las condiciones de tránsito, servicio y estructura de la misma.

  Cod_Histórico: Código del Histórico de Elementos, NED(6).

  Descripción : Descripción del Histórico, TXT(30).

- Tabla : **CONTRATOS_HISTÓRICOS_ESTADO**

  Relaciona los diferentes contratos que conforman el Histórico de Inventarios. Incluye los contratos de Mantenimiento e Intervenciones de la Calzada.

  Cod_Histórico_E: Código del Histórico Elementos, NED(6).

  Contratos: Número del Contrato de Inventario, TXT(10).

- Tabla : **HISTÓRICO_GEOGRÁFICOS**

  Maneja la relación de los diferentes inventarios que ha tenido un elemento del segmento en el espacio.

  Cod_Histórico_G Código del Histórico Geográfico, NED(6).

  Descripción : Descripción del Contrato, TXT(30).

- Tabla : **CONTRATOS_HISTÓRICOS_G**

  Relaciona los diferentes contratos que conforman el Histórico de Inventarios en el espacio.

  Cod_Histórico_G Código del Histórico Geográfico, NED(6).

  Contratos Número del Contrato de Inventario, TXT(10).

8.4.3 TABLAS DE RESULTADO

En las siguientes tablas se reflejan los resultados de la toma del Inventario en cada calzada y la evaluación del estado de la misma.

- Tabla : **ANDÉN_SEPARADOR**

  Contiene esta tabla los elementos Andénes y Separadores de las Calzadas

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Tipo_Material_Andén: Código del Tipo de Material del Andén ó del Separador, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_MATERIAL_ANDÉN.

  Ancho_Andén: Ancho del Andén ó Separador, NFL(5,2).

  Altura_Andén: Altura del Andén ó Separador, NFL(5,2).

  Confina: Indica se el Elemento es un Confinamiento, SiNo(1).

- Tabla : **ALCANTARILLAS**

  Se registran en esta tabla, los drenajes tipo alcantarilla que tiene una calzada.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Sumidero: Número Consecutivo del Sumidero en la Calzada, NES(2).

  Costado_Drenaje Código del lado de Ubicación de la Alcantarilla, NES(2).

  I = Izquierdo

  D = Derecho

  Abscisa_Inicial_I: Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

  Abscisa_Inicial_H: Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

  Tipo_Material_Alcantarilla: Código del Tipo de Alcantarilla, NES(2). Relacionada con la tabla TIPO_ALCANTARILLA.

  Diámetro: Diámetro de la Alcantarilla, NFL(5,2).

  Estado_Colmatación Código del Estado de Colmatación, NES(2). Sus valores son:

  B = Bueno

  M = Malo

Estado_Funcionalidad: Código del Estado de Funcionalidad de la Alcantarilla, NES(2). Sus valores son:

B = Bueno

M = Malo

Nro_Tubos: Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

- Tabla : **BAHÍAS**

  Se incluyen en esta tabla, las bahías de estacionamiento asociadas a la calzada

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Bahia: Número Consecutivo de la Bahía en esa calzada, NES(2).

  Costado_Bahía: Código del Lado de Ubicación, TXT(1).

  I = Izquierdo

  D = Derecho

  Abscisa_Inicial_I: Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

  Abscisa_Final_I: Abscisa Final Inclinada, NFL(5,2).

  Ancho_Bahía: Ancho de la Bahía, NFL(5,2).

  Abscisa_Inicial_H: Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

  Abscisa_Final_H: Abscisa Final Horizontal NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

- Tabla : **BERMA**

  Contiene esta tabla, la parte exterior de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada o para estacionamiento temporal.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Berma: Número Consecutivo de la Berma en la calzada, NES(2).

Costado_Berma: Código del Lado de Ubicación, TXT(1).

I = Izquierdo

D = Derecho

Abscisa_Inicial_I: Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

Abscisa_Final_I: Abscisa Final Inclinada, NFL(5,2).

Ancho_Berma: Ancho de la Berma, NFL(5,2).

Tipo_Superficie: Código del Tipo de Superficie, NES(2). Relacionada con la tabla TIPO_SUPERFICIE.

Confina: Indica si el Elemento es un Confinamiento, SiNo(1).

Abscisa_Inicial_H: Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

Abscisa_Final_H: Abscisa Final Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

- Tabla : **BOX_COULBERT**

Se incluyen en esta tabla, todos los drenajes tipo Box que tiene cada calzada.

Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

Cod_Box: Número Consecutivo del Box en esa calzada, NES(2).

Costado_Box: Código del lado de Ubicación, NES(2).

I = Izquierdo

D = Derecho

C = Centro

T = Transversal

Abscisa_I : Abscisa Inclinada, NFL(5,2).

Abscisa_H : Abscisa Horizontal NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

Ancho_Box: Ancho del Box_Coulbert, NFL(5,2).

Altura_Box : Altura del Box_Coulbert, NFL(5,2).

Estado_Colmatación: Código del Estado de Colmatación, NES(2).

B = Bueno

M = Malo

Estado_Funcionalidad: Código del Estado de Funcionalidad, NES(2).

B = Bueno

M = Malo

- Tabla : **CONDICION_ESTRUCTURAL**

Contiene los resultados de la condicion de la estructura de cada calzada.

Cod_Histórico_E Código del Histórico del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla HISTÓRICO_ESTADO.

Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

TH1: Espesor de la Carpeta, NFL(5,2).

TH2: Espesor del Material Granular, NFL(5,2).

D0: Valor de la Deflexión Central, NFL(5,2).

D25: Valor de la Deflexión a 25 cm, NFL(5,2).

D30: Valor de la Deflexión a 30 cm, NFL(5,2).

D60: Valor de la Deflexión a 60 cm, NFL(5,2).

D90: Valor de la Deflexión a 90 cm, NFL(5,2).

D120: Valor de la Deflexión a 120 cm, NFL(5,2).

D150: Valor de la Deflexión a 150 cm, NFL(5,2).

D180: Valor de la Deflexión a 180 cm, NFL(5,2).

Temperatura: Valor de la Temperatura de la calzada en el momento de registrar la Deflexión, NFL(5,2).

Radio_Curvatura: Valor del Radio de la Curvatura en la Deflexión, NFL(5,2).

Carga_Central: Valor Carga Central Deflexión, NFL(5,2).

SN: Valor Número Estructural, NFL(5,2).

CBR: Valor C.B.R., NFL(5,2).

Módulo Subrasante: Valor del Módulo de la Subrasante en la Deflexión, NFL(5,2).

Tipo_Deflectometría: Código del Tipo Medición de la Deflexión, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_DEFLECTOMETRIA.

Tipo_GeoRadar: Código del Tipo de Medición de la Estructura del Pavimento, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_GEORADAR.

K: Módulo de Reacción de la Subrasante, NFL(5,2)

DOL: Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

- Tabla : **CONDICION_SERVICIO**

  Contiene los resultados de la serviciabilidad de la calzada.

  Cod_Histórico_E Código del Histórico del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla HISTÓRICO_ESTADO.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  IRI: Valor del Índice de Rugosidad de la calzada, NFL(5,2).

  Tipo_IRI: Código del Tipo de Medición de la Rugosidad, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_IRI.

- Tabla : **CONDICION_TRANSITO**

  Contiene los resultados del transito asociado a una calzada.

  Cod_Histórico_E: Código del Histórico del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla HISTÓRICO_ESTADO.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  TPD_AUTOS: Valor del Tránsito Promedio Diario de Autos, NFL(5,2).

  TPD_BUSES_BUSETAS: Valor del Tránsito Promedio Diario de Buses y Busetas, NFL(5,2).

  TPD_CAMIONES : Valor del Tránsito Promedio Diario de Camiónes, NFL(5,2).

- Tabla : **CUNETAS**

  Se incluye en esta tabla, los drenajes tipo Cuneta que tiene la calzada.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Cuneta: Número Consecutivo de la Cuneta en esa calzada, NES(2).

  Tipo_Material_Cuneta: Código del Material de Revestimiento de la Cuneta, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_MATERIAL_CUNETA.

  Tipo_Cuneta: Código del Tipo de Cuneta, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_CUNETA.

  Costado_Cuneta: Código del lado de Ubicación, TXT(1).

  I = Izquierdo

  D = Derecho

  Abscisa_Inicial_I: Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

  Abscisa_Final_I: Abscisa Final Inclinada, NFL(5,2).

  Abscisa_Inicial_H: Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

  Abscisa_Final_H: Abscisa Final Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

  Ancho_Cuneta: Ancho de la Cuneta, NFL(5,2).

  Distancia_Eje: Distancia al Eje **del Segmento**, NFL(5,2).

  Profundidad: Profundidad de la cuneta, NFL(5,2).

  Estado_Colmatación: Código del Estado de Colmatación, TXT(1).

  B = Bueno

  M = Malo

  Estado_Funcionalidad: Código del Estado de Funcionalidad, TXT(1).

  B = Bueno

  M = Malo

  Confina: Indica se el Elemento es un Confinamiento, SiNo(1).

- Tabla : **DEMARCACIONES**

  Relaciona las demarcaciones de cada calzada.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Demarcación Número Consecutivo de la Demarcación en la calzada, NES(2).

  Costado_Demarcación: Código del lado de Ubicación, NES(2).

  I = Izquierdo

  D = Derecho

  C = Centro

  T = Transversal

  Abscisa_Inicial_I : Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

  Abscisa_Final_I: Abscisa Final Inclinada, NFL(5,2).

  Tipo_Demarcación: Código del Tipo de Demarcación, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_DEMARCACION.

  Estado_Demarcación Código del Estado de la Demarcación, TXT(1).

  B = Bueno

  M = Malo

  Abscisa_Inicial_H : Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2).

  Abscisa_Final_H: Abscisa Final Horizontal, NFL(5,2).

- Tabla : **FALLAS**

  Contiene los registros de cada uno de los daños en la superficie de una calzada.

  Cod_Histórico_E: Código del Histórico del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

Tipo_Falla: Código del Tipo de Daño en la Superficie de la calzada, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_FALLA.

Severidad: Código del Tipo de Severidad, NES(2).

A = Alta

M = Media

B = Baja

Extensión: Extensión del Daño, como porcentaje del área de la calzada, NES(3)

- Tabla : **NOMENCLATURA**

Contiene la identificación de nomenclatura para generar el Mapa Digital.

Cc_Id: Código del Segmento, NED(6). Relacionado con la tabla SEGMENTO.

Versión: Código de la Versión de Inventario, NES(4). Asignado por defecto como 2000. **Fuente**: Fuente de Origen de Información, TXT(30).

CATASTRO cuando el segmento viene del ArcView

T.N.M. cuando sean segmentos nuevos

Nombre_Comun: Nombre Común de la Vía, TXT(100).

Nom_Ppal: Nombre Principal, TXT(10).

Nomen_Generadora: Nombre de la Vía Generadora, TXT(10).

Nom_Vial: Nomenclatura Vial, TXT(30).

Tipo_Vial : Código IDU Tipo de Vía TXT(2).

KR = Carrera

CL = Calle

AV = Avenida

AK = Avenida Carrera

AC = Avenida Calle

TV = Transversal

DG = Diagonal

- Tabla : **SUMIDEROS**

  Contiene los drenajes tipo Sumidero que tiene una calzada.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

  Cod_Sumidero: Número Consecutivo del Sumidero en la calzada, NES(2).

  Costado_Sumidero: Código del lado de Ubicación, TXT(1).

  I = Izquierdo

  D = Derecho

  Abscisa_Inicial_I : Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

  Tipo_Sumidero: Código del Tipo de Sumidero, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_SUMIDERO.

  Long_Sumidero: Longitud del Sumidero, NFL(5,2).

  Distancia_Eje: Distancia al Eje del segmento, NFL 5,2

  Estado_Funcionalidad: Código del Estado de Funcionalidad, TXT(1).

  B = Bueno

  M = Malo

  Estado_Caja: Código del estado de la Caja, TXT(1).

  B = Bueno

  M = Malo

  Estado_Rejilla: Código del Estado de la Rejilla, TXT(1).

  B = Bueno

  M = Malo

  Abscisa_Inicial_H: Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

- Tabla : **SEÑALES**

  Se incluyen en esta tabla, las señales verticales que tiene cada calzada.

  Cod_Elemento: Código Consecutivo del Elemento, NED(6). Relacionado con la tabla ELEMENTO_SECCION.

Cod_Senal: Número Consecutivo de la Señal en la calzada, NES(2).

Costado_Señal: Código del lado de Ubicación, NES(2).

I = Izquierdo

D = Derecho

C = Centro

T = Transversal

Abscisa_Inicial_I: Abscisa Inicial Inclinada, NFL(5,2).

Tipo_Señal: Código del Tipo de Señalización, NES(2). Relacionado con la tabla TIPO_SENAL.

Estado_Señal: Código del Estado de la Señal, NES(2).

B = Bueno

M = Malo

Abscisa_Inicial_H: Abscisa Inicial Horizontal, NFL(5,2). Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda.

8.4.4 TABLAS NO UTILIZADAS.

Las siguientes tablas no son actualizadas por TNM LIMITED. y las utiliza el Consorcio Consultoría Colombiana S.A. - AIM Ingenieros Civiles Ltda. para efectos de elaborar la actualización del Mapa Digital y para el visualizador:

- Tabla : **BARRIOS**
- Tabla : **POLIGONOS**
- Tabla : **NODOS**
- Tabla : **VERTICES**
- Tabla : **CONSULTA**
- Tabla : **CONSULTA_ELEMENTOS**
- Tabla : **PLANCHAS**

Las siguientes tablas tampoco son actualizadas por TNM LIMITED. por no estar relacionadas con el Inventario Vial y se utilizarán por los contratistas que efectúen futuras intervenciones en las calzadas:

- Tabla : **CONTRATO_CALZADA**
- Tabla : **CONTRATOS**
- Tabla : **CONTRATISTA**
- Tabla : **INTERVENTOR**
- Tabla : **COMPANIAS**
- Tabla : **COORDINADORES**

8.4.5 UNIDADES DE MEDIDA

Se relacionan a continuación las unidades de medida en las que se deben interpretar las magnitudes de los campos dimensionables en la base de datos.

TABLA	CAMPO DE DATOS	UNIDAD DE MEDIDA
SEGMENTOS	CANTIDAD_RUTAS	UNIDADES
CALZADAS	LONGITUD_I	METROS CON 2 DECIMALES
	LONGITUD_H	METROS CON 2 DECIMALES
	ANCHO_CALZADA	METROS CON 2 DECIMALES
	NO_CARRILES	UNIDADES
	PENDIENTE	PORCENTAJE
ANDÉN_SEPARADOR	ANCHO_ANDEN	METROS CON 2 DECIMALES
	ALTURA_ANDEN	METROS CON 2 DECIMALES
ALCANTARILLAS	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_INICIAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
	DIAMETRO	METROS CON 2 DECIMALES
	NRO_TUBOS	UNIDADES
BAHÍAS	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ANCHO_BAHÍA	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_INICIAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
BERMA	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ANCHO_BERMA	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_INICIAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
BOX_COULBERT	ABSCISA_I	METROS CON 2 DECIMALES

	ABSCISA_H	METROS CON 2 DECIMALES
	ANCHO_BOX	METROS CON 2 DECIMALES
	ALTURA_BOX	METROS CON 2 DECIMALES
CONDICION_ESTRUCTURAL	TH1	CENTÍMETROS
	TH2	CENTÍMETROS
	D0	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D25	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D30	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D60	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D90	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D120	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D150	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	D180	MILÉSIMAS DE MILÍMETRO
	TEMPERATURA	GRADOS CENTÍGRADOS
	RADIO_CURVATURA	METROS
	CARGA_CENTRAL	KILONEWTONS
	SN	ADIMENSIONAL
	CBR	PORCENTAJE
	MÓDULO_SUBRASANTE	KGS./CM2
	K	KGS./CM3
	DOL	CENTÍMETROS
CONDICION_SERVICIO	IRI	METROS/KILOMETRO
CONDICION_TRANSITO	TPD_AUTOS:	UNIDADES
	TPD_BUSES_BUSETAS	UNIDADES
	TPD_CAMIONES	UNIDADES
CUNETAS	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_INICIAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
	ANCHO_CUNETA	METROS CON 2 DECIMALES
	DISTANCIA_EJE	METROS CON 2 DECIMALES
	PROFUNDIDAD	METROS CON 2 DECIMALES
DEMARCACIONES	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_FINAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
FALLAS	EXTENSIÓN	PORCENTAJE
SUMIDEROS	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	LONG_SUMIDERO	METROS CON 2 DECIMALES
	DISTANCIA_EJE	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_INICIAL_H	METROS CON 2 DECIMALES
SEÑALES	ABSCISA_INICIAL_I	METROS CON 2 DECIMALES
	ABSCISA_INICIAL_H	METROS CON 2 DECIMALES

En el anexo No. 8 se relacionan por cada tabla los valores que se tomaron como base para las validaciones y relaciones con las tablas de parámetros.

CAPITULO 9

SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE VÍAS URBANAS

9.1 INTRODUCCION

Las vías que componen la red urbana de toda ciudad representan el activo físico de mayor cuantía, como resultado de las inversiones en infraestructura de transporte, tanto una ciudad e incluso para el país. Por lo tanto, las decisiones respecto al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de las vías no sólo tienen incidencia en la parte económica sino también en el fortalecimiento del patrimonio de la ciudad.

Tradicionalmente el proceso de decisión para la administración de vías urbanas ha estado basado en la experiencia local y empírica y no siempre ha estado definida en fundamentos técnicos, económicos y financieros, conjuntamente.

Los pavimentos durante su tiempo en servicio presentan diferentes deterioros (agrietamientos, deformaciones, desintegraciones, entre otros daños) causados por las acciones combinadas del tránsito y los factores climáticos y ambientales. Estas condiciones y características de las vías son de obligatorio conocimiento por parte de las Entidades Gubernamentales y de los profesionales afines con la gestión de pavimentos, quienes deben sensibilizarse en la interpretación de los aspectos funcionales y estructurales de las vías para orientar la planeación de las intervenciones hacia la adecuada conservación del patrimonio Vial.

Si bien en Colombia, en los últimos años, se comenzó a pensar en el mantenimiento y conservación de las vías, hoy este cambio cultural requiere una disposición decisiva de todos, ya que los usuarios de las vías comienzan a interpretar y exigir la seguridad y confort que ellas deben ofrecer. Es decir, no solamente se requiere que las vías tengan un índice de servicio conveniente sino que además, como en cualquier modelo económico, la inversión para lograrlo ofrezca, por ejemplo, la mejor tasa de retorno.

Tanto los Administradores como los Ingenieros, deben planificar inversiones Viales soportadas en las condiciones funcionales y estructurales de las vías existentes y en los requerimientos del tránsito futuro; sólo así se debe esperar que los usuarios interpreten que las acciones de mantenimiento y conservación de las vías se realizan pensando en una adecuada serviciabilidad y para un período de tiempo determinado.

En vista de estas necesidades, el IDU ha contratado como parte del proyecto de Inventario de la Malla Vial para la ciudad de Bogotá, el desarrollo e implementación de un programa (software) para la gestión de aproximadamente 5.500Km/calzada que componen la red Vial urbana, mediante el **Sistema de Administración de Vías Urbanas** (S.A.V.U.). Este sistema considera aspectos técnicos para la gestión de pavimentos y las actividades de mantenimiento, y a la vez proyecta la inversión de los recursos económicos optimizándolos a corto y largo plazo.

En el presente capitulo se dará una explicación de los subsistemas que conforman el programa, tanto para la gestión como para el mantenimiento; y del modulo de mapas que permite evaluar visualmente los resultados de la red.

El Manual del Usuario del Sistema de Administración de Vías Urbana será incluido como un libro adicional al presente Documento Maestro.

9.2 GENERALIDADES

El Sistema de Administración de Vías Urbanas viene a dar respuestas a tres interrogantes básicas: **QUE, CUANDO y CUANTO** se debe invertir en los pavimentos de la red Vial bajo un presupuesto limitado:

- **QUE HACER**, significa identificar el tipo de intervención que requiere cada uno de los segmentos, según su nivel de servicio actual.
- **CUANDO**, significa definir el momento para realizar las inversiones en cada segmento de vía, según las prioridades establecidas.
- **CUANTO CUESTA**, significa conocer el presupuesto de los trabajos o tratamientos que deben realizarse.

El programa S.A.V.U considera estas premisas tanto para la gestión como para el mantenimiento de la red urbana. El organigrama del sistema muestra las etapas del alcance contemplado en este proyecto los cuales se describen a continuación:

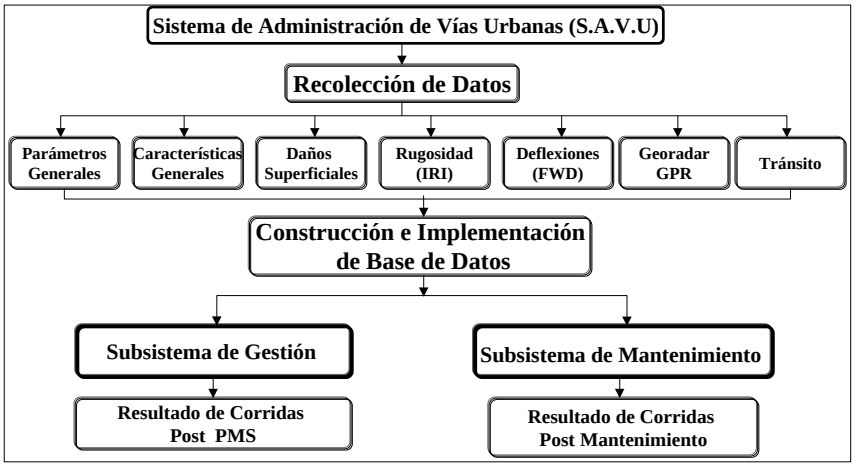


Fig. No. 9.1: Organigrama del Sistema de Administración de Vías Urbanas

- **Recolección de Datos**.- La información es relevada para cada segmento de vía y contempla datos relacionados a las características generales de la vía, condición superficial, estructural y datos de tránsito.
- **Construcción de una Base de Datos**.- A partir de la información recopilada se construye la base de batos, con la correspondiente información por segmento de la red Vial inventariada, la cual alimentará al sistema.
- **Procesamiento de la Información**.- Una vez construida la base de datos, se procede a la corrida de los módulos que componen el programa: Subsistema de Gestión y Subsistema de Mantenimiento.

  El Subsistema de Gestión presenta el estado actual de la red y calcula un plan de trabajo e inversión para la mejor alternativa de rehabilitación y/o construcción, en el caso de vías actuales sin pavimentar.

  El Subsistema de Mantenimiento presenta un presupuesto y cantidades de las actividades a ejecutar para mantener la red a un nivel de servicio mínimo aceptable.
- **Análisis de resultados**.- Mediante los reportes se puede identificar los segmentos prioritarios y mediante el módulo de mapas se puede evaluar visualmente la distribución de los resultados e inventario.

9.3 RECOPILACION DE DATOS

El objetivo del inventario de la red Vial urbana de la ciudad fue reunir toda la información referente a las características físicas y la condición estructural de las vías.

Uno de los principales problemas que generalmente se presentan en los programas de administración de pavimentos, es la dificultad de contar con una

metodología y medios rápidos y confiables para la recopilación de información necesaria para una adecuada evaluación de la red en estudio.

Por tal razón, se ha encaminado el estudio empleando la más alta tecnología en equipos, sistemas y metodologías que permita superar cualquier obstáculo propio de la recolección de datos. La toma de la información se hizo con base a cada segmento de vía. Cabe notar, que se define como segmento o cuadra a aquella parte de la vía a inventariar, con longitud variable delimitada por dos nodos. La ubicación de ciertos elementos de la vía tales como drenajes, señales, etc., están georeferenciados respecto al sentido de avance de la nomenclatura, fijada como convención.

Se recopiló datos sobre los siguientes campos de información, que corresponden a aquellos definidos en la base de datos del Sistema de Administración de Vías Urbanas, cuya explicación detallada se encuentra en capítulos anteriores de este documento, y se mencionan a continuación:

- Características Generales de la vía (Ver ítem 7.1)
- Relevamiento de Fallas Superficiales y Estado de Drenajes (Ver ítem 7.2)
- Estudio Deflectométrico (Ver ítem 7.3)
- Medición de la rugosidad (IRI) (Ver ítem 7.4)
- Determinación de los espesores de las capas de la estructura existente (Ver ítem 7.5)
- Estudio de Transito (Ver ítem 7.6)

Con base en la información recopilada, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para obtener los índices relativos a la condición del pavimento y subrasante; entre ellos tenemos:

- Determinación del Indice de Fallas Superficiales (MDR) (Ver ítem 7.2.4)
- Determinación del Indice de Condición Global del Pavimento (OPI) (Ver ítem 7.2.5)
- Determinación del Módulo de la Subrasante (Mr) (Ver ítem 7.3.4)
- Determinación del Número Estructural Efectivo (SN) (Ver ítem 7.3.5)
- Determinación del Módulo de Reacción de la Subrasante (k) (Ver ítem 7.3.6)

9.4 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

Una vez recopilada toda la información del inventario y aquella relativa al sistema de administración de pavimentos, se integra la base de datos que se ha desarrollado conjuntamente con Consultoría Colombiana para alimentar la Base de Datos General del IDU.

De este banco de datos IDU se extrae la base relativa al programa de Gestión que permitirá el análisis, es decir, será la base en la que se podrá correr los módulos del Sistema de Administración de Vías Urbanas.

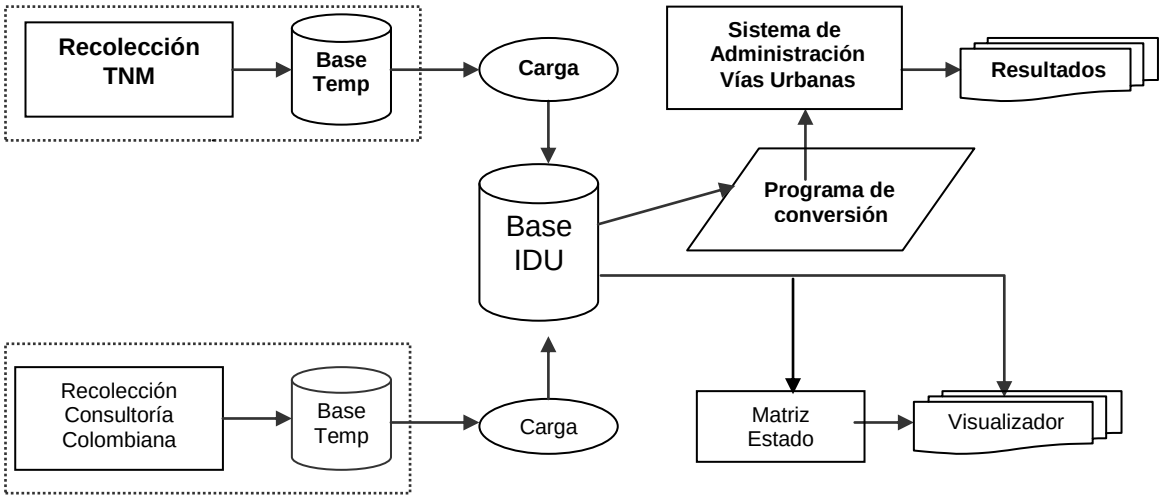
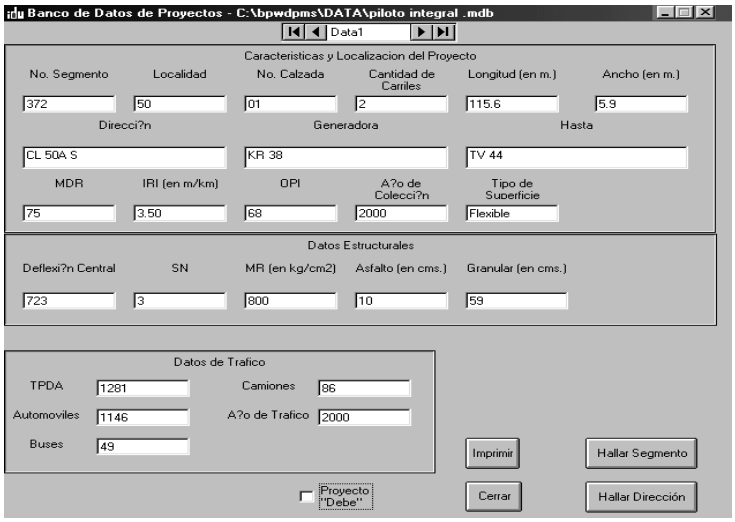


Fig No. 9.2: Diagrama de creación de Base de Datos para utilizar en Sistema de Administración de Vías Urbanas.

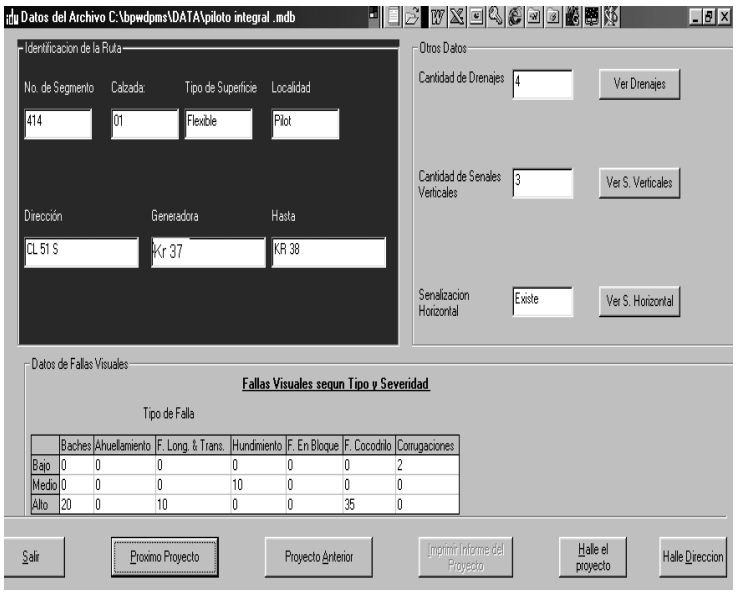
En el diagrama de la Fig. No. 9.2 se puede apreciar que para la conformación de la Base de Datos General del IDU se requiere de información tanto de Consultoría así como de T.N.M. Toda la información recopilada en el Inventario es procesada e integra esta base de datos IDU, con información correspondiente a cada segmento. De esta base IDU se creará mediante un programa "convertidor", la base de datos que se utilizará en el S.A.V.U.

En el programa existen opciones que permiten visualizar la información contenida en la base de Datos que se empleará en el análisis.



La figura No.9.3 muestra la pantalla del banco de datos que se encuentra en el Subsistema de Gestión del Programa con el sistema de búsqueda de fácil acceso**.**

Fig No. 9.3: Pantalla tipo de información por segmento del Banco de Datos del Sistema de Administración de Vías Urbanas. Subsistema de Gestión.



La figura No.9.4 muestra la pantalla del Subsistema de Mantenimiento con información relacionada a la identificación y ubicación del segmento y detalle de las fallas superficiales, pudiéndose acceder a datos relacionados a los drenajes y a la señalización.

Fig. No. 9.4: Pantalla del Banco de Datos del Subsistema de Mantenimiento con información detallada de fallas superficiales.

La figura No.9.5 muestra tres pantallas con información relativa a los drenajes y a la señalización en detalle por segmento, discriminando el tipo, su ubicación y el estado de los mismos.

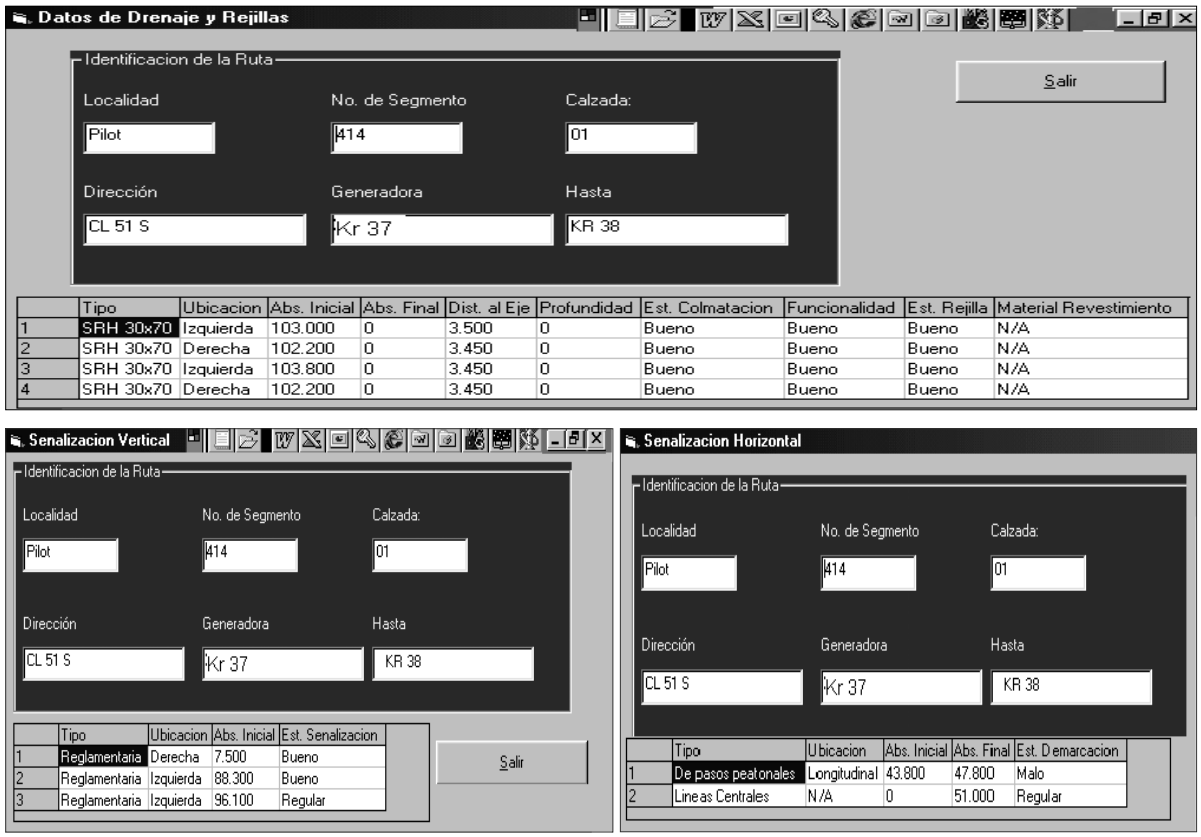


Fig. No. 9.5: Pantallas del Banco de Datos del Subsistema de Mantenimiento con información detallada por segmento de Drenaje y Señalización existente.

9.5 ELABORACION DE LOS SUBSISTEMAS DE GESTION Y MANTENIMIENTO

El sistema de Administración de Vías Urbanas (S.A.V.U) fue desarrollado para cubrir las necesidades de la entidad administradora de la malla Vial de Bogotá, el I.D.U., con el objeto de mejorar la red deteriorada, para elevarla a un nivel de servicio aceptable, tener un plan de trabajo y mantenimiento y estimar la inversión necesaria. Este sistema considera los siguientes aspectos:

- Base de datos de la malla Vial urbana a gestionar
- Las Condiciones actuales del pavimento
- La predicción del desempeño del pavimento
- Las Condiciones actuales de la red
- La efectividad de varios tratamientos (costo, vida y retorno económico)
- El nivel de servicio deseable
- El presupuesto disponible
- Otras restricciones externas (consideraciones políticas o sociales)
- Análisis beneficio/costo para priorizar intervención
- Actividades de mantenimiento Vial

El programa contempla dos módulos o subsistemas a ejecutarse para procesar la información, que son:

- Subsistema de Gestión de Pavimentos (PMS)
- Subsistema de Mantenimiento

9.5.1 SUBSISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS (PMS)

Mediante el módulo de gestión de pavimentos se permite la planificación a corto, mediano y largo plazo; dando soluciones de rehabilitación y la justificación económica de las inversiones. Este Subsistema procesa los datos para determinar las alternativas factibles para la rehabilitación.

Como primera utilidad del módulo de gestión, se tiene que es una herramienta para el conocimiento del estado de la red, ya que presenta gráficas estadísticas de valores de rugosidad (IRI), número estructural efectivo (SN), índice de fallas de la superficie del pavimento (MDR), índice de condición global del pavimento (OPI). Mediante este módulo se ejecutaron los cálculos correspondientes a los planes de

trabajo, inversión y espesores de recapeo (estructura faltante en concreto asfáltico) de las alternativas de rehabilitación.

Cabe recalcar que los espesores de recapeo corresponden a espesores tentativos de una estructura propuesta y no constituyen un diseño definitivo. Estos resultados de estructura faltante, se expresan en centímetros de concreto asfáltico y dan un orden de las cantidades de obra que se requieren para el cálculo del presupuesto del año correspondiente.

9.5.1.1 Curvas de Deterioro

En todo sistema de gestión de pavimentos es requisito fundamental poder definir un modelo del comportamiento de las estructuras de pavimentos, bajo la acción de las cargas transmitidas por el tránsito y factores medioambientales, en función del tiempo, con el objeto de predecir el tipo de intervención a ejecutar y su periodicidad, en el futuro.

La proyección del comportamiento en el tiempo, de una estructura de pavimento, se define mediante Curvas de Deterioro. Es decir, a través de un modelo matemático que indique cómo se va a ir deteriorando la vía lo largo de los años. Para la Gestión de Pavimentos se utilizaron curvas de deterioro que se construyen a partir de información existente propia de Bogotá, que incluye: año de construcción o intervención (OPI=100) y estado actual, en términos de OPI.

Mediante estudios realizados, se ha encontrado que en función del tiempo, el comportamiento de los pavimentos es diferente en la medida en que estos se encuentren afectados por diversas condiciones de tránsito, geotécnicas o de diseño.

Por lo tanto, si las estructuras de pavimento se agruparan bajo ciertas características comunes, se tendría modelos de comportamiento similares. Las características consideradas en la creación de familias de curvas de deterioro son:

-Potencia Estructural (SN o Def): Alta, media o baja
-Tránsito (W18) anual: LiVíano, medio, pesado
-Tipo de Subrasante (CBR): Débil o fuerte

Familias de Curvas de Deterioro.- El sistema incluye un módulo para la creación de las Familias de Curvas de Deterioro, calibradas para condiciones locales, a partir de información histórica de las vías que conforman la Malla Vial de la ciudad.

Se define como familia a un grupo de combinaciones de las características comunes que asocian a los pavimentos. Cabe mencionar que para la presente calibración no se consideraron variaciones en las características climáticas o regionales, ya que por estar orientados para una ciudad, no se presentan diferencias de este tipo. Se ha ubicado a la ciudad como una zona de clasificación “húmeda”, con temperatura “moderada – fría”.

La cantidad de familias es producto de las combinaciones de las diferentes alternativas de las tres características comunes, consideradas para el cálculo de su regresión. Por cada característica se establecieron rangos de valores, según el histograma de resultados obtenidos para estas variables en Bogotá. Por ejemplo, una combinación de 3 alternativas de potencia estructural x 2 de tipo de subrasante x 3 posibles rangos de tránsito, resultarían en 18 posibles familias de curvas de deterioro, para cada tipo de pavimento, que son las que el programa presenta.

Las tres características comunes con sus respectivos rangos de selección, para la creación de las familias de curvas de deterioro, son:

a) Potencia Estructural:

En pavimentos flexibles se estableció la capacidad soporte del pavimento mediante el Número Estructural – SN (adimensional), para lo cual se fijaron los siguientes rangos:

SN 0 – 2: Capacidad Estructural Baja

SN 2 – 4: Capacidad Estructural Media

SN >4: Capacidad Estructural Alta

En pavimentos rígidos se estableció la capacidad estructural de la losa a sobrellevar tránsito futuro mediante el espesor efectivo. Este se determina mediante el espesor existente (en cm) afectado por un coeficiente de estado, que representa el estado de fisuración de la losa. Se establecieron tres rangos:

Def 0 – 10: Espesor Efectivo Bajo

Def 10 – 20: Espesor Efectivo Medio

Def >20: Espesor Efectivo Alto

b) Tipo de Subrasante:

Se estableció los límites, en valores de CBR, para catalogar la capacidad soporte de la subrasante, se tiene:

CBR < 5%: Subrasante Débil

CBR > 5%: Subrasante Fuerte

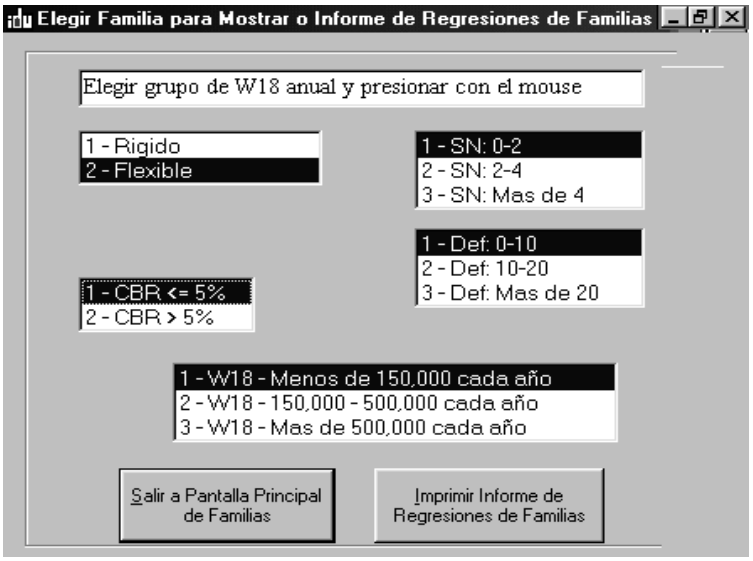
c) Tránsito anual:

Se estableció los rangos de las solicitaciones posibles, en valores de ejes equivalentes a 8.2 ton o 18 kips (W18):

W 18 - <150.000: Tránsito liViano

W 18 - 150.000-500.000: Tránsito medio

W 18 - >500.000: Tránsito pesado



La figura No. 9.6 muestra la pantalla del Sistema en la cual se hace la elección de las características comunes para la creación de las familias de curvas de deterioro.

Fig. No. 9.6: Pantalla del S.A.V.U., para la elección de parámetros para la creación de la Familias de Curvas de Deterioro.

Criterio de Selección.- En la medida de que se disponga de suficiente información para poder graficar regresiones representativas, se podrán elegir las familias de curvas de regresión calculadas en el programa.

En la figura No.9.7, se muestra la pantalla de la gráfica de la familia elegida. En esta pantalla se dispone de la opción de utilizar curvas de deterioro por defecto, cuando se considere que no se posee de suficientes datos para calcular una regresión particular.

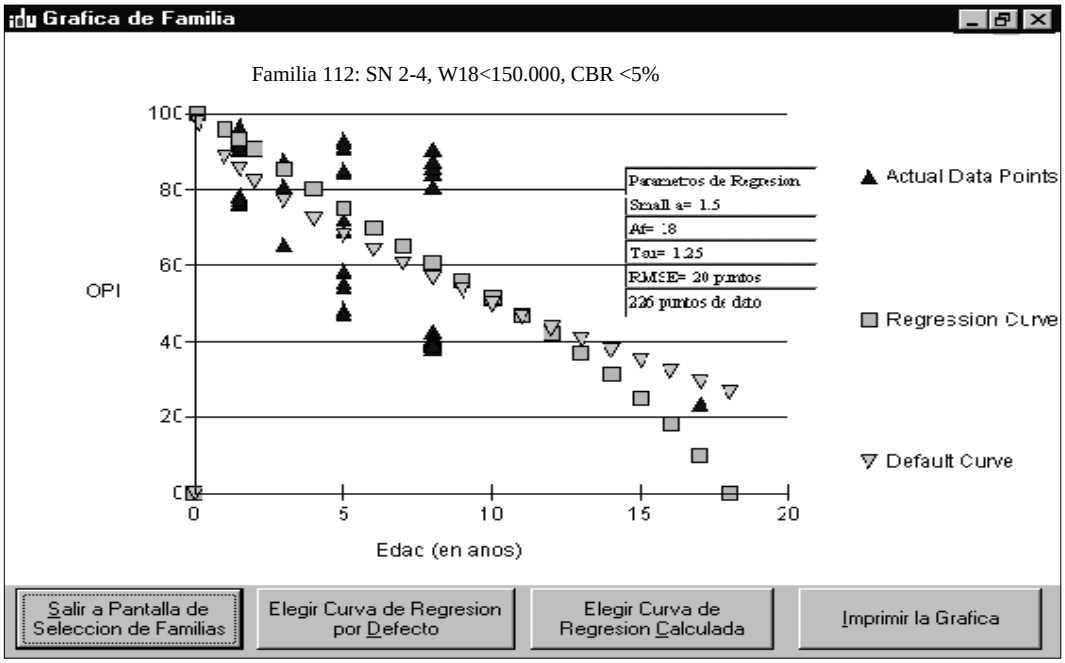


Fig. No. 9.7: Pantalla Ejemplo de Familia de Curva de Deterioro

9.5.1.2 Niveles Límites de Servicio del Pavimento: Niveles "Debe" y "Puede"

Con propósito de fijar niveles límites de servicio del pavimento, para tener un campo de acción para la gestión de una red, se establecen umbrales superior e inferior de niveles para la red, en función del índice de condición global del pavimento (OPI).

El nivel "Debe" o limite inferior es el índice mínimo asignado bajo el cual la intervención para la rehabilitación de un segmento es obligatoria.

El nivel "Puede" es el límite superior bajo el cual la rehabilitación del segmento es aconsejable mas no obligatoria. Indices OPI superiores a éstos indicarán no considerar intervención alguna.

Las alternativas de intervención se desarrollarán entre estos dos niveles, de acuerdo a la optimización y consideraciones elegidas para la gestión.

9.5.1.3 Criterios de Optimización

La priorización de las vías a intervenir, para la selección de la mejor alternativa, responde a tres criterios de optimización:

Optimización IBC (Beneficio Costo Incrementado):

Mediante esta optimización se obtiene la mejor alternativa de intervención por segmento, considerando los incrementos beneficio/costo de los proyectos; siendo este el criterio de priorización de las vías a intervenir.

La intervención de los proyectos está en orden descendente con respecto a su razón de beneficio/costo. Es decir, se intervienen primero los de mayor relación beneficio/costo. Los beneficios se refieren a los ahorros en costos operativos de los usuarios a lo largo de la vida del tratamiento. Los costos son la inversión para el tratamiento seleccionado, incluyendo supervisión o monitoreo.

Para llegar a la optimización Multianual, bajo un presupuesto limitado, se utiliza el Método de INCREMENTO DE BENEFICIO COSTO (IBC). Este sistema permite ordenar los proyectos factibles de acuerdo al proyecto que tiene el mayor IBC y que su costo entra dentro de las limitantes del Presupuesto, este será el primero en ser ejecutado; si queda presupuesto, se analiza los siguientes proyectos cuyo IBC es positivo (lo que significa que el Beneficio es más alto que los Costos) y así sucesivamente hasta agotar el presupuesto en el horizonte planificado.

Optimización Costo de Agencia

Mediante esta optimización el programa arroja la alternativa de intervención por segmento más económica para la entidad contratante sin considerar los beneficios.

La figura No.9.8 muestra la pantalla en la cual se definen los niveles Debe y Puede previo a una Optimización bajo el criterio de Costo de Agencia. En este caso la Entidad fija los niveles límites entre los cuales se desarrollarán todas las actividades de intervención de los pavimentos.

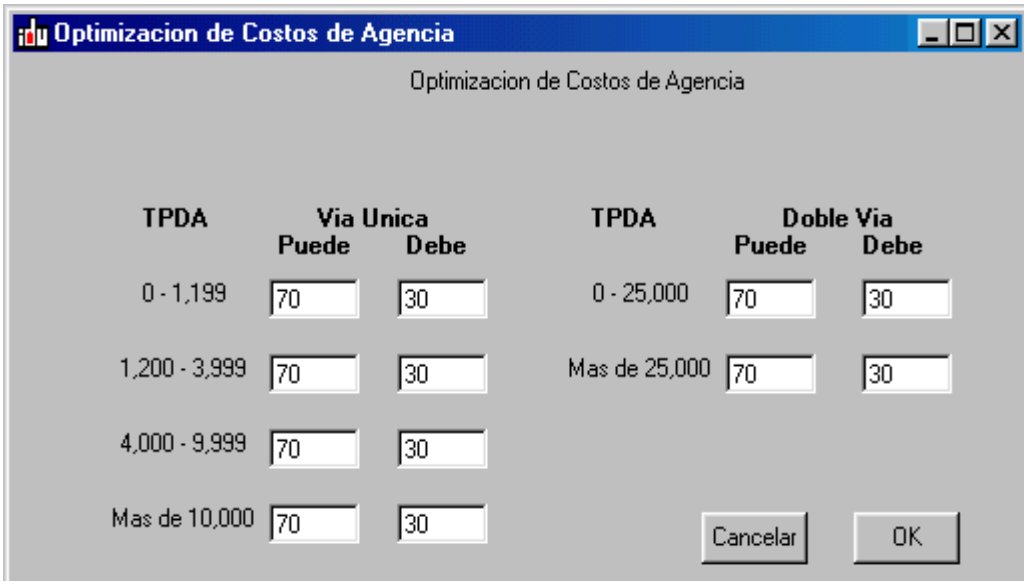


Fig. No. 9.8: Pantalla para definición de Niveles de Servicio "Debe" y "Puede" para Optimización por Costo de Agencia.

Optimización OPI (Indice Promedio de Condición Global del Pavimento en la red)
Mediante esta optimización el programa determina la mejor alternativa de intervención por segmento, con el objeto de alcanzar anualmente, niveles de condición de pavimento en términos OPI promedio, los cuales se han predeterminado para la red urbana a gestionar.

La figura No. 9.9 muestra la pantalla en la cual se define el período de tiempo y los niveles de servicio promedio de la condición global del pavimento, para los años o en el cual se desea hacer la gestión de la red, bajo una optimización OPI. Una vez establecida la cantidad de años, se especificará para cada uno de estos, la

condición de pavimento que en promedio se desea para la red. Esto se expresará en términos de OPI, y será "la meta" a la cual se quiere llegar anualmente para representar la condición de los segmentos gestionados.

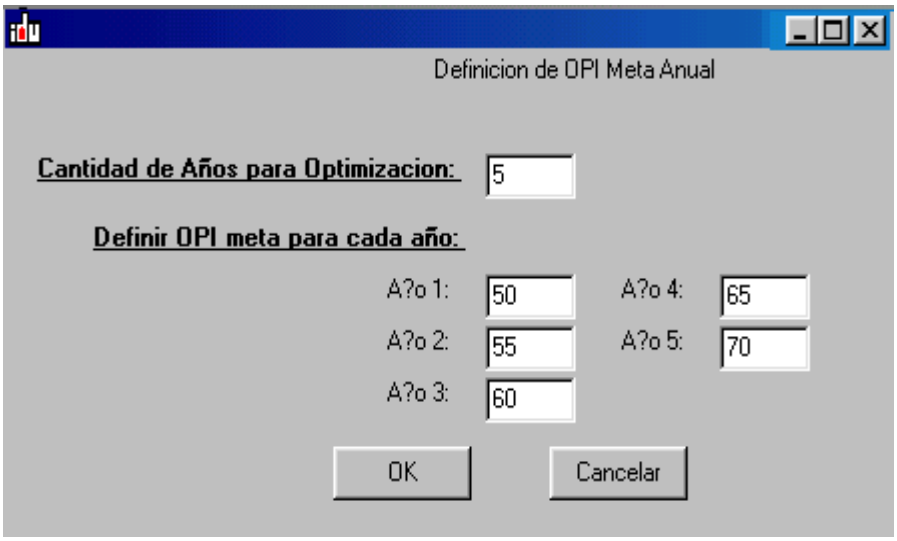


Fig. No. 9.9: Pantalla para definición de Período y Niveles de Servicio Promedio para Optimización por OPI

9.5.1.4 Parámetros Generales

Para el proceso de gestión de pavimentos, el programa no sólo requiere de datos relativos a las características y condiciones del pavimento. Es necesario además poseer cierta información adicional de características de índole económico y social. Previo a las corridas del programa es necesario recabar información de datos generales para cubrir los siguientes aspectos:

Presupuesto Anual.- Permite definir el presupuesto multianual, bajo condiciones limitadas o ilimitadas. Lo fijará la Entidad con relación al presupuesto disponible.

Construcción.- Se fijan los costos de Insumos para Tareas de Rehabilitación, parámetros de construcción y parámetros laborales para el personal:

- Precio del concreto asfáltico, incluidas todas las actividades de rehabilitación, en miles de pesos por metro cúbico. Según base de datos de precios del Instituto de Desarrollo Urbano, IDU.
- Compensación por trabajos nocturnos, según rigen las leyes del código laboral. Para días normales, el 1,25% de la hora normal.
- Ancho estándar del carril, en metros
- Días de construcción de 1 km, según información del IDU.
- Jornada de trabajo, en horas, establecidas de acuerdo al código laboral.
- Coeficiente estructural del concreto asfáltico, por pulgada. Según AASHTO, se tiene un rango entre 0.35 y 0.44 por pulgada, y se deberá elegir el coeficiente más apropiado de acuerdo al módulo de la carpeta asfáltica empleada. Se sugiere 0.35 por pulgada, para una carpeta de módulo elástico de 19.000 kg/cm2
- Período de diseño, en años. Lo establece la entidad y puede oscilar entre 10 – 20 años.

Niveles Debe y Puede.- Se establecen los niveles de servicio límites de la condición del pavimento, en términos de OPI, definidos en función de rangos de TPDA.

Costos de Demora.- Se establecen los siguientes parámetros:

- Tiempo de Demora, en minutos, definidos en función de rangos de TPDA y de la cantidad de carriles en la calzada. Establece el tiempo de demora por vehículo debido a actividades de construcción. Estos valores provienen de un profundo estudio de tránsito, por lo cual no se recomienda cambiar los valores propuestos.
- Ocupación Vehicular, es la cantidad de pasajeros que en promedio ocupan los diferentes tipos de vehículos.

- Valor del tiempo, en miles de pesos por hora. Se refiere al costo horario, en función del salario mínimo.
- Crecimiento Anual del Valor del Tiempo, es el porcentaje anual de incremento salarial.

Parámetros del Costo de Operación de Vehículos.- Establece los coeficientes de la función de regresión para el cálculo del Costo de Operación de Vehículos - VOC (Autos - Buses - Camiones) ajustados para condiciones urbanas y locales, según el modelo del Banco Mundial HDM-4.[1]

El VOC se calcula con base en estos coeficientes definidos, que afectan las variables involucradas como el Volumen/Capacidad (V/C) de la vía, y la incidencia de la rugosidad, para cada segmento; se expresa en pesos/km.
No se recomienda cambiar estos valores, ya que son producto de un estudio particular y profundo.

Parámetros de Velocidad.- Establece los coeficientes de la función de regresión establecida para el cálculo de la velocidad (en km/h) para cada tipo de vehículo, considerando la incidencia del tiempo de espera que los vehículos tienen en las intersecciones. Esta regresión toma como variables la relación Volumen/Capacidad (V/C) de la vía, y la incidencia de la rugosidad.
No se recomienda cambiar estos valores, ya que son producto de un estudio particular y profundo.

Parámetros de Vehículos.- Para cada tipo de vehículo se establece:

- La cantidad de días de Víaje que en promedio se puede tener en un año.
- La tasa crecimiento para cada tipo de vehículo.

Otros Parámetros.- Se establecen los siguientes datos:

- Tasa de Interés: Se establece la tasa de interés de los proyectos de inversión.
- Año de Corrida: El año en el cual se ejecuta la gestión
- Parámetros de Optimización: Se establecen los porcentajes que se tendrán en consideración de los beneficios y/o costos que intervienen en los cálculos de la gestión:
  - Costos de Operación de Vehículos.- Son los costos relativos al uso del vehículo que circula por la vía.
  - Valor Restante.- Considera la vida residual de un pavimento.
  - Costos de Demora.- Considera el costo del tiempo del usuario en la etapa de la construcción
  - Costos de Rehabilitación.- Son los costos directos de construcción
  - Costos de Preparación.- Son los costos relativos al acondicionamiento del pavimento previo a los trabajos de construcción o rehabilitación.

Estos porcentajes serán fijados por la Entidad, en función de los intereses particulares al ejecutar la gestión de parte de la Malla Vial o de su totalidad.

La figura No. 9.10 muestra la pantalla de la opción “Parámetros” que existen en el programa, donde se definen los valores comentados anteriormente.

[1] “Rules for VOC in the City-Dealing with intersections” Technology and Management – TNM, 2000.

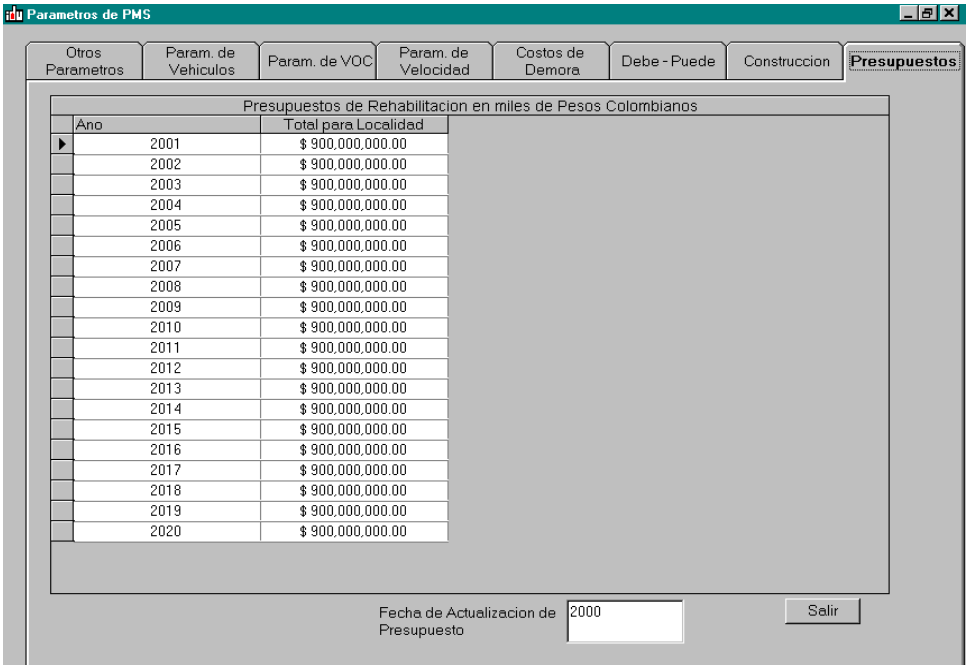


Fig. No. 9.10: Ejemplo de pantalla del programa con los Parámetros de Presupuesto

9.5.1.5 Alternativas de Intervención

Es importante destacar que para cada segmento se analizan varias alternativas de intervención, considerando distintos niveles de serviciabilidad final en términos OPI y factores de espesor o ciclos de rehabilitación. El sistema escoge la alternativa más adecuada, según el criterio de optimización elegido para la gestión de la red.

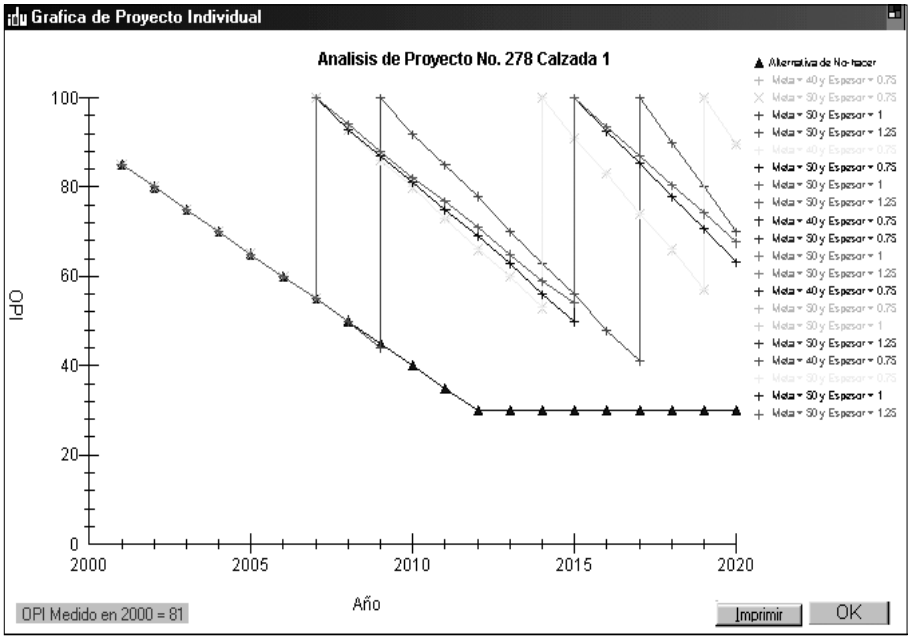


Fig. No. 9.11: Pantalla del análisis individual de un segmento según distintos ciclos de Intervención y niveles de servicio final.

En la figura No. 9.11 se muestra una gráfica del análisis individual de cada segmento efectuado para la gestión de la vía.

Para el efecto, se han tenido en cuenta los siguientes puntos:

- Análisis individual para cada segmento – calzada como un proyecto particular.
- Curva de Deterioro bajo el supuesto de “no hacer”; es decir, sin intervención, considerando que a lo largo de la vida del pavimento no se ha efectuado ninguna rehabilitación. Esto se fija para poder efectuar las comparaciones relativas a otras alternativas.
- Factor de espesor (β) que puede oscilar entre 0.75 –1 –1.25. Este factor afecta al espesor faltante obtenido como variante de las alternativas de intervención, para elegir la más adecuada.
- La Meta que es el nivel de condición del pavimento en OPI, en el cual el pavimento será rehabilitado. Las metas pueden variar desde un OPI=70 hasta un OPI= 30, con incrementos de 10.

9.5.1.6 Cálculo de Espesores de Recapeo

Pavimentos Flexibles:

El cálculo del espesor faltante esta basado en la metodología AASHTO[2] para pavimentos flexibles, con base en los siguientes puntos:

- Determinación de la estructura del pavimento existente y datos de los materiales de la estructura.

  La determinación de los espesores de la estructura del pavimento existente se efectúa mediante la ejecución de apiques (método convencional) o utilizando la técnica del Georadar (método alternativo). Ver ítem 7.5 de este informe.

  El cálculo del módulo resiliente de la subrasante es realizado por retrocálculo a partir de las deflexiones. (Ver ítem 7.3.5 de este informe). Una vez analizados los datos de deflexiones respecto a los valores provenientes de la información de campo, se procede a calcular el módulo de la subrasante mediante la siguiente fórmula[3]:

$$D_6 = 97480 * Mr_{subrasante}^{(-1.055)}$$

  Donde:

  D_6 = Deflexión en el sensor ubicado a 180mm del centro del plato de carga.

  $Mr_{subrasante}$ = Módulo resiliente de la subrasante retrocalculado a partir de deflexiones.

- Análisis de tránsito, determinando la cantidad de ejes equivalentes para el período de diseño.
- Determinación de la condición del pavimento, expresado en términos de OPI.
- Cálculo del número estructural requerido (SNr) para un ciclo determinado y nivel de servicio final considerado.

---

[2] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
[3] Paper No. 1374, Transport Research Board-1992

Para el cálculo del SNr teórico requerido, además del valor del módulo de la subrasante en unidades PSI y del tránsito de diseño en términos de W_{18}, se adoptaron los siguientes parámetros basados en la metodología de diseño AASHTO[2]:

- Confiabilidad (R) = 70%, por tratarse de vías urbanas. La metodología AASHTO presenta valores de confiabilidad sugeridos de acuerdo a la funcionalidad de las vías; así, para vías urbanas locales, recomienda un rango entre 50 – 80% como nivel de confiabilidad.
- DesVíación estándar (S_o) = 0.44. La metodología AASHTO propone este valor, para pavimentos flexibles sin considerar variación en el tránsito futuro proyectado.
- En lo referente a la serviciabilidad del pavimento, se hace una correlación en función del índice de condición global - OPI.[4] Así:

  OPI = 100 : Pavimento en perfecto estado

  OPI = 0 : Pavimento en pésimo estado

Siendo la ecuación básica empleada por AASHTO[2] para dicho cálculo:

$$\log W_{18} = Z_R _ S_o + 9.36\ x \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\frac{\log(1-(OPI/100))}{\log(10)}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\ x \log M_R - 8.07$$

- Cálculo del número estructural existente o efectivo (SNe), utilizando la curva de deflexión determinada mediante estudio deflectométrico con FWD y el espesor del pavimento. Ver ítem 7.3.6 de este informe.

[4] "Calibraciones desarrolladas en la Implementación del Sistema de Administración de Vías Urbanas para condiciones locales de Bogotá". Technology and Management - TNM, 2000.

El Número Estructural (SNe) efectivo se estima por retrocálculo a partir de las deflexiones empleando la metodología Rohde.[5] Este propone en su hipótesis que, al relacionar el valor de la deflexión producida a 1.5 veces el espesor total (h_t) de la estructura de pavimento, con el valor de la deflexión central (bajo el plato de carga), se puede encontrar un "índice" asociado con la magnitud de la deformación que ocurre dentro de la estructura de pavimento y se define así:

$$SIP = D_o - D_{1.5*Ht}$$

Donde:

SIP = Indice estructural del pavimento,

D_o = Deflexión central, bajo el plato de carga bajo una carga de 40Kn (9000lb)

$D_{1.5*Ht}$ = Deflexión medida en la superficie del pavimento bajo una carga de 40Kn(9000lb) a una línea imaginaria de 1.5 veces el espesor total (h_t) de la estructura de pavimento.

H_t = Espesor total del pavimento en pulgadas.

Bajo la hipótesis de que el índice SIP debe estar relacionado directamente con la rigidez de la estructura de pavimento y por consiguiente a su Número Estructural (SN), se desarrolló una correlación luego de analizar un gran número de estructuras utilizando la teoría elástica. Los cálculos del número estructural de las diferentes estructuras se realizaron mediante la ecuación de la AASHTO[2] y como resultado se obtiene la siguiente expresión:

$$SNe = k_1 * SIP^{k_2} * H_p^{k_3}$$

Donde:

SNe = Número Estructural Efectivo

SIP = Indice del pavimento, calculado previamente.

[5] "Dertermining a pavement`s structural number from FWD testing". Gustav T. Rohde

H_p = Espesor total del pavimento en mm.

K_1, k_2 y k_3 = Coeficientes. (Ver ítem 7.3.6)

- Con base en la diferencia del número estructural requerido menos el existente o efectivo, se establece el número estructural faltante (SNf), el cual se transforma a un espesor de recapeo teórico en cm de concreto asfáltico.[6] Así:

$$z_\alpha = \beta * \left(\frac{SNf}{a_{01}} \right) * 2.54$$

Donde,

z_α = espesor de recapeo en cm de concreto asfáltico

β = ciclo o factor de tamaño. Hay tres posibles alternativas para el tratamiento de recapeo:

a) La primera, cuyo deterioro simula la misma curva de deterioro. En este caso β =1. Es decir, se adopta directamente el espesor resultante del cálculo

b) La segunda, en el que se considera poner menos asfalto, y el proyecto se deteriorará más rápidamente. En este caso β = 0.75. Este factor se aplica generalmente cuando se optimiza bajo el Criterio Costo de Agencia. Es decir, no se considera los beneficios adicionales que implicaría obtener un mayor espesor de carpeta.

c) La tercera alternativa considera colocar más asfalto y el proyecto se deteriorará más lentamente. En este caso β = 1.25. Es muy común encontrar este factor dentro de la alternativa elegida, cuando se optimiza bajo el criterio de IBC.

SNf = SNr – CF *Sne = Número estructural faltante para la rehabilitación.

[6] "Programming Specifications of the Israeli PMS". Technology and Management – TNM.

$$CF = \left(0.3333 * \ln\left[1 - \frac{OPI}{100} \right] \right)^{0.165}$$

CF[(6)]= Factor de condición del pavimento, calculado en función del OPI. Considera la afectación del SNe obtenido por estudio deflectométrico en función de las fallas superficiales existentes. Tiene en cuenta que la medición se realiza en el centro del carril sector que generalmente se encuentra en mejor estado frente a las mediciones en las huellas.

a_{01} = coeficiente estructural del concreto asfáltico en pulgadas^{-1}. Se define por el usuario. Ver ítem 9.5.1.4 Parámetros Generales

2.54 = coeficiente para transformar de pulgadas a centímetros.

Pavimentos Rígidos:

En pavimentos rígidos, el espesor faltante de losa, expresado en cm de concreto asfáltico, se determinó considerando la metodología AASHTO[2], con base en los siguientes puntos:

- Determinación de espesores del pavimento existente. ($D_{existente}$)
- Análisis de Tránsito, determinando la cantidad de ejes equivalentes para el período de diseño.
- Determinación de la condición superficial de las losas, esto es, establecer el MDR de cada segmento.
- Determinación del módulo de reacción de la subrasante - k dinámico a partir del estudio de las deflexiones. (Ver ítem 7.3.7 Se efectúa el retrocálculo considerando los siguientes puntos:

1. Cálculo del área del cuenco producido por deflexiones según FWD

El cálculo del área (A), equivale al cuenco producido bajo la losa luego de aplicar la carga del FWD. Se usa la siguiente expresión, según la metodología AASHTO[2] :

$A = 6* [1+(2*d_{30}/d_o) + (2*d_{60}/d_o) + (d_{90}/d_o)]$,

Donde d_{30}, d_{60} y d_{90} son las deflexiones producidas a 30 60, 90 cms del plato de

carga (en pulgadas)

d_o es la deflexión producida en el centro del plato de carga (en pulgadas)

2. Cálculo de l_K , rigidez relativa del líquido denso, según AASHTO[2]:

$$l_k = \left[\frac{\ln * \left(\frac{(36 - AREA)}{1812.279133} \right)}{-2.559340} \right]^{4.387009}$$

3. Cálculo del k dinámico en función de la deflexión central (d_o) y del área calculada anteriormente. Utilizando la ecuación de Westergard, se procede a obtener el valor del módulo de reacción del material (k) debajo de la losa, obtenido mediante la siguiente expresión de la AASHTO[2]:

$$k = \left(\frac{p}{8 * do * l_k{}^2} \right) * \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) * \left[\ln\left(\frac{a}{2 * lk} \right) + 0.5772156649 - 1.25 \right] * \left(\frac{a}{lk} \right)^2 \right\}$$

Donde,

d_o es la deflexión producida en el centro del plato de carga, en pulgadas.

P es la carga, en libras.

a es el radio de aplicación de la carga, en pulgadas.

4. Cálculo del k estático

   El k calculado a partir de deflexiones de FWD es un valor dinámico, y para el diseño del refuerzo se requiere de un valor estático. (Ver ítem 7.3.6 de este informe). A partir de estudios realizados, se ha encontrado que reduciendo el k dinámico en 2, se obtiene un valor razonable para valores de K estáticos.

   Calcular K estático = K dinámico / 2

- Determinación del espesor de losa requerido para el tránsito futuro (Dr)

  Con base en el K efectivo estático obtenido y con cada uno de los siguientes coeficientes, se aplica la ecuación de la AASHTO[2] para pavimentos rígidos y se obtiene el espesor de losa necesario para sobrellevar el tránsito futuro hasta un nivel de serviciabilidad final de PSI_f=1.5. Para vías urbanas se sugiere este valor de PSI_f , como el menor nivel aceptable de serviciabilidad del pavimento antes de una reconstrucción o recapeo.

  Se definen los parámetros utilizados por AASHTO[2] para el cálculo del espesor de losa requerido, mediante la expresión indicada a continuación:

  - S'c = módulo de rotura del hormigón = 614psi. Este valor corresponde a un módulo del hormigón de 43kg/cm2.
  - E= Módulo de elasticidad del hormigón = 3'600.000psi (para Mr = 43kg/cm2),
  - J = Coeficiente de transferencia de carga = 3.6. Este valor de J corresponde a un criterio de construcción sin pasadores y sin bermas, adoptado para vías urbanas con bajo tránsito
  - C_d = Coeficiente de drenaje=1.2.
  - S_o = DesVíación estándar= 0.39, indica la variación que puede haber en la proyección del tránsito futuro.

- R = confiabilidad del 70%, asumido por ser vías urbanas locales.
- En lo referente a la serviciabilidad del pavimento, se hace una correlación en función del índice de condición global - OPI. Así:

  OPI = 100 : Pavimento en perfecto estado

  OPI = 0 : Pavimento en pésimo estado

$$\log W18 = ZR * So + 7.35\,x\log(D+1) - 0.06 + \frac{\frac{\log(1-(OPI/100))}{\log(10)}}{1+\frac{1.624*10\text{^}7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32Pt)*\log\left[\frac{S`c*Cd*\left[D^{0.75}\ -\ 1.132\right]}{215.63*J*\left[D^{0.75}-\left(\frac{18.42}{(E/K)^{0.25}}\right)\right]}\right]$$

- Cálculo del espesor de losa efectivo existente, Def.

  Los espesores de losa existentes, obtenidos por alguno de los métodos convencional o alternativo, se afectan con los factores relativos a la condición superficial del pavimento.

  Según AASHTO[2]:

  $Def = D_{existente} * F_{jc} * F_{dur} * F_{fat}$

  Donde:

  F_{jc}: factor de ajuste por juntas y fisuras;

  F_{dur}: factor de ajuste por durabilidad y

  F_{fat} : factor de ajuste por fatiga.

  Según el Indice de fallas superficiales (MDR), el cual va desde MDR=0 (vía en mal estado) a MDR=100 (vía en perfecto estado) se estableció el factor $F_{jc} * F_{dur} * F_{fat}$, tal cual como se muestra en la tabla adjunta:

MDR	$F_{jc} * F_{dur} * F_{fat}$
80-100	0.9
50-80	0.7
< 50	0.5

- Cálculo el espesor de refuerzo faltante, $D_{faltante}$.

  Conociendo el espesor necesario para sobrellevar el tránsito futuro (D_r) y el espesor existente efectivo (D_{ef}) se calcula el $D_{faltante}$, expresado en cm de concreto asfáltico:

  $$\mathbf{D\ faltante = (D_r - D_{ef}) * A}$$

  Para calcular A, que es el factor de conversión de concreto rígido a concreto asfáltico, se emplea la siguiente expresión de la metodología **AASHTO**[2]:

  $A = 2.2233 + 0.0099*(D_{dis} - D_{ef})^2 - 0.1534*(D_{dis} - D_{ef})$

Vías sin Pavimentar (afirmado o tierra):

En vías sin pavimentar se evaluaron las siguientes alternativas constructivas:

- En pavimento “todo asfalto” (fulldepth), para 5 años. Considerando el estado de la subrasante, en función del CBR, el tránsito de diseño y el coeficiente estructural de aporte del material a utilizar, se calcula el espesor de una alternativa como una sola capa de asfalto, a la que se denomina “todo asfalto” (fulldepth).
- En concreto rígido, para 10 años. Considerando la condición de la subrasante existente, mediante el módulo de reacción k y el tránsito previsto para el período de diseño, se determina el espesor de losa requerido.

9.5.1.7 Resultados Obtenidos

Con estos parámetros y estableciendo el tipo de optimización a considerar en la gestión de la red, se procede a la corrida del módulo de gestión, luego de lo cual se obtienen resultados que se visualizan mediante reportes, gráficas y mapas. Ver ejemplos en la figuras No. 9.12, No. 9.13 y No. 9.14 siguientes:

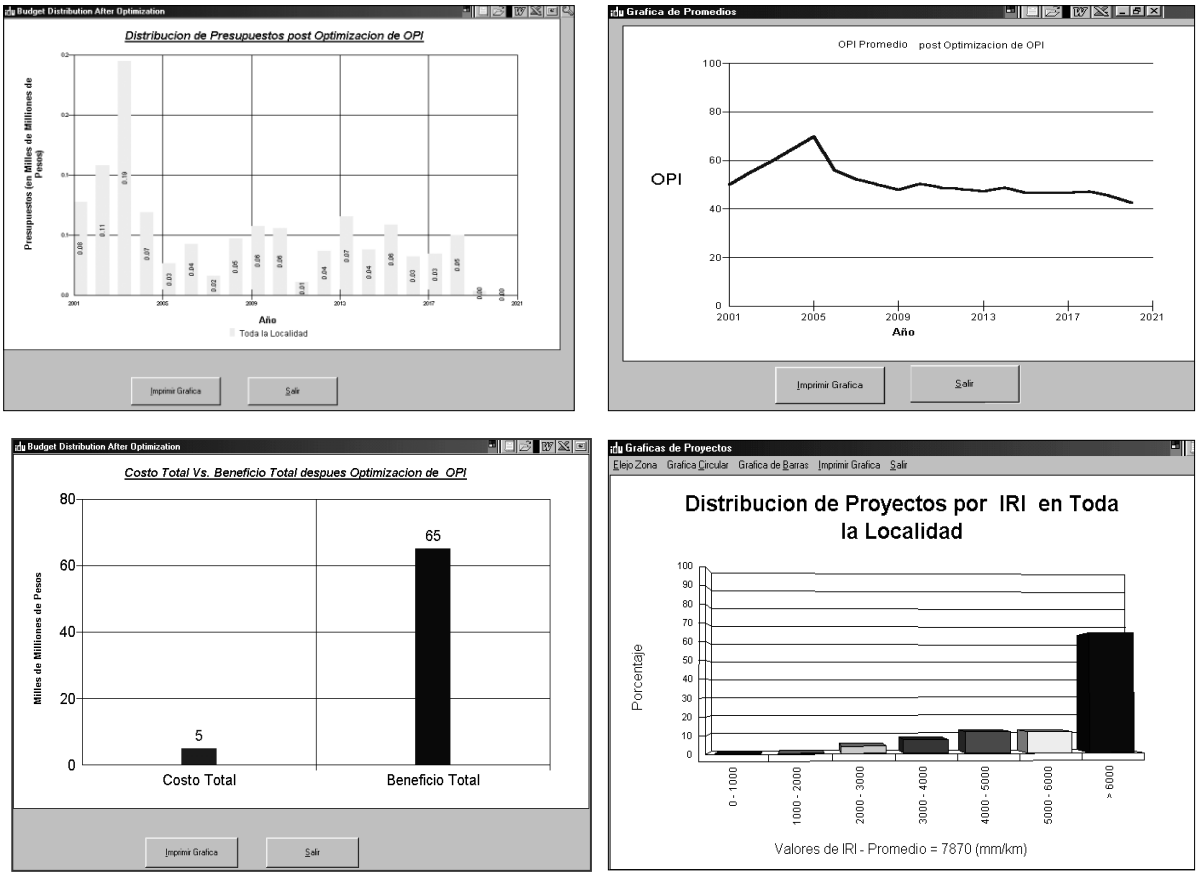
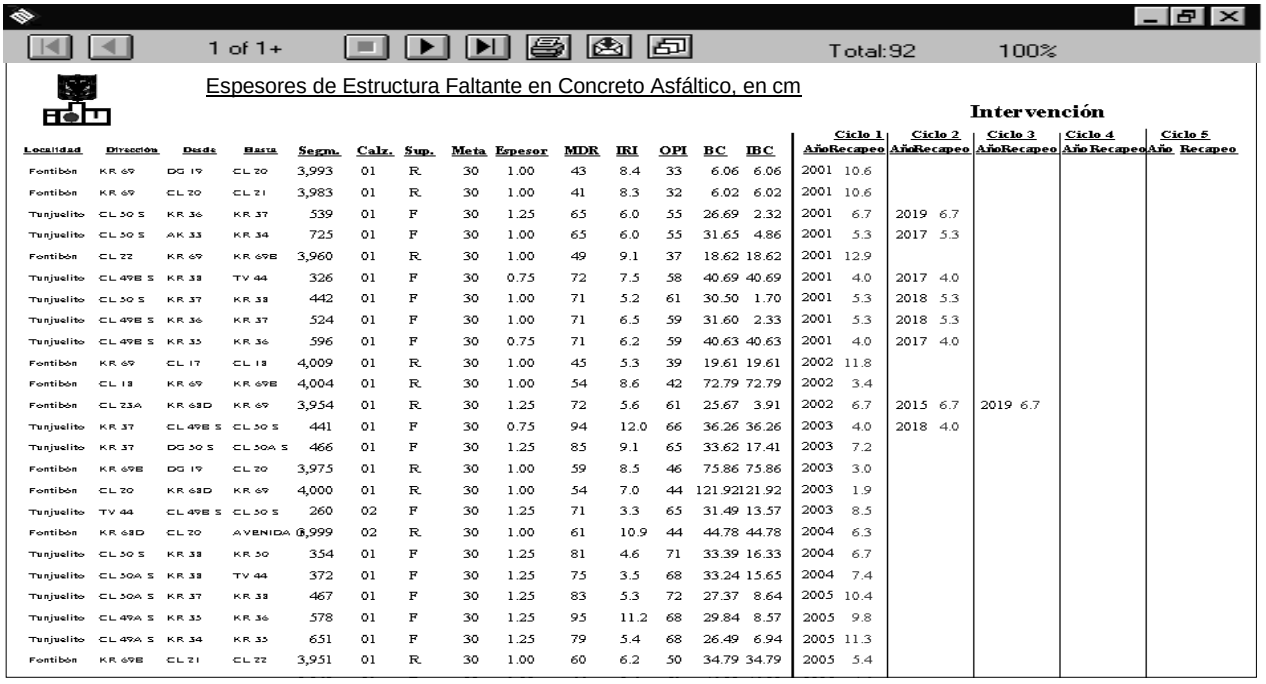


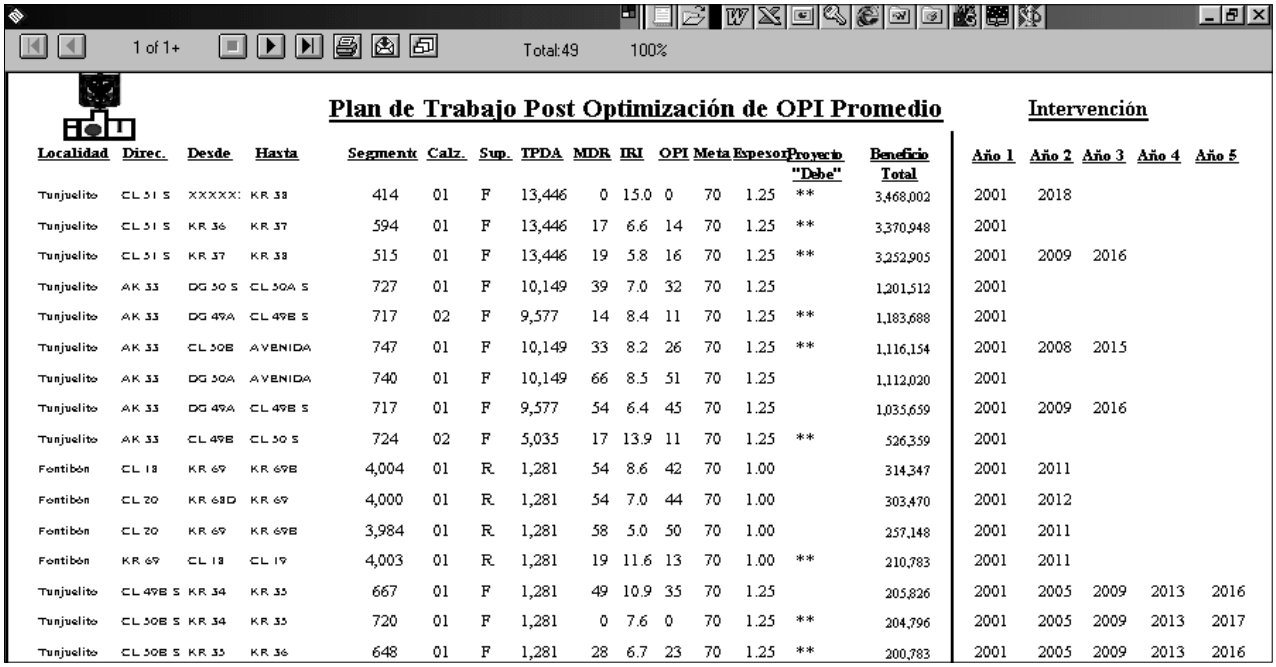
Fig No. 9.12: Ejemplo de gráficas resultantes, de izquierda a derecha: Presupuesto Multianual requerido, Comportamiento de la Red en el tiempo, Relación Beneficio-Costo, Estadísticas Generales (IRI)



Espesores de Estructura Faltante en Concreto Asfáltico, en cm

Localidad	Dirección	Desde	Hasta	Segm.	Calz.	Sup.	Meta	Espesor	MDR	IRI	OPI	BC	IBC	Intervención Ciclo 1 Año	Ciclo 1 Recapeo	Ciclo 2 Año	Ciclo 2 Recapeo	Ciclo 3 Año	Ciclo 3 Recapeo	Ciclo 4 Año	Ciclo 4 Recapeo	Ciclo 5 Año	Ciclo 5 Recapeo
Fontibón	KR 69	DG 19	CL 20	3,993	01	R	30	1.00	43	8.4	33	6.06	6.06	2001	10.6								
Fontibón	KR 69	CL 20	CL 21	3,983	01	R	30	1.00	41	8.3	32	6.02	6.02	2001	10.6								
Tunjuelito	CL 50 S	KR 36	KR 37	539	01	F	30	1.25	65	6.0	55	26.69	2.32	2001	6.7	2019	6.7						
Tunjuelito	CL 50 S	AK 33	KR 34	725	01	F	30	1.00	65	6.0	55	31.65	4.86	2001	5.3	2017	5.3						
Fontibón	CL 22	KR 69	KR 69B	3,960	01	R	30	1.00	49	9.1	37	18.62	18.62	2001	12.9								
Tunjuelito	CL 49B S	KR 38	TV 44	326	01	F	30	0.75	72	7.5	58	40.69	40.69	2001	4.0	2017	4.0						
Tunjuelito	CL 50 S	KR 37	KR 38	442	01	F	30	1.00	71	5.2	61	30.50	1.70	2001	5.3	2018	5.3						
Tunjuelito	CL 49B S	KR 36	KR 37	524	01	F	30	1.00	71	6.5	59	31.60	2.33	2001	5.3	2018	5.3						
Tunjuelito	CL 49B S	KR 35	KR 36	596	01	F	30	0.75	71	6.2	59	40.63	40.63	2001	4.0	2017	4.0						
Fontibón	KR 69	CL 17	CL 18	4,009	01	R	30	1.00	45	5.3	39	19.61	19.61	2002	11.8								
Fontibón	CL 18	KR 69	KR 69B	4,004	01	R	30	1.00	54	8.6	42	72.79	72.79	2002	3.4								
Fontibón	CL 23A	KR 68D	KR 69	3,954	01	R	30	1.25	72	5.6	61	25.67	3.91	2002	6.7	2015	6.7	2019	6.7				
Tunjuelito	KR 37	CL 49B S	CL 50 S	441	01	F	30	0.75	94	12.0	66	36.26	36.26	2003	4.0	2018	4.0						
Tunjuelito	KR 37	DG 50 S	CL 50A S	466	01	F	30	1.25	85	9.1	65	33.62	17.41	2003	7.2								
Fontibón	KR 69B	DG 19	CL 20	3,975	01	R	30	1.00	59	8.5	46	75.86	75.86	2003	3.0								
Fontibón	CL 20	KR 68D	KR 69	4,000	01	R	30	1.00	54	7.0	44	121.92	121.92	2003	1.9								
Tunjuelito	TV 44	CL 49B S	CL 50 S	260	02	F	30	1.25	71	3.3	65	31.49	13.57	2003	8.5								
Fontibón	KR 68D	CL 20	AVENIDA	6,999	02	R	30	1.00	61	10.9	44	44.78	44.78	2004	6.3								
Tunjuelito	CL 50 S	KR 38	KR 50	354	01	F	30	1.25	81	4.6	71	33.39	16.33	2004	6.7								
Tunjuelito	CL 50A S	KR 38	TV 44	372	01	F	30	1.25	75	3.5	68	33.24	15.65	2004	7.4								
Tunjuelito	CL 50A S	KR 37	KR 38	467	01	F	30	1.25	83	5.3	72	27.37	8.64	2005	10.4								
Tunjuelito	CL 49A S	KR 35	KR 36	578	01	F	30	1.25	95	11.2	68	29.84	8.57	2005	9.8								
Tunjuelito	CL 49A S	KR 34	KR 35	651	01	F	30	1.25	79	5.4	68	26.49	6.94	2005	11.3								
Fontibón	KR 69B	CL 21	CL 22	3,951	01	R	30	1.00	60	6.2	50	34.79	34.79	2005	5.4								

Fig. No. 9.13: Ejemplo del reporte de Plan de Recapeo multianual, en cm de concreto asfáltico.



Plan de Trabajo Post Optimización de OPI Promedio

Localidad	Direc.	Desde	Hasta	Segmento	Calz.	Sup.	TPDA	MDR	IRI	OPI	Meta	Espesor	Proyecto "Debe"	Beneficio Total	Intervención Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Tunjuelito	CL 51 S	XXXXX	KR 38	414	01	F	13,446	0	15.0	0	70	1.25	**	3,468,002	2001	2018			
Tunjuelito	CL 51 S	KR 36	KR 37	594	01	F	13,446	17	6.6	14	70	1.25	**	3,370,948	2001				
Tunjuelito	CL 51 S	KR 37	KR 38	515	01	F	13,446	19	5.8	16	70	1.25	**	3,252,905	2001	2009	2016		
Tunjuelito	AK 33	DG 50 S	CL 50A S	727	01	F	10,149	39	7.0	32	70	1.25		1,201,512	2001				
Tunjuelito	AK 33	DG 49A	CL 49B S	717	02	F	9,577	14	8.4	11	70	1.25	**	1,183,688	2001				
Tunjuelito	AK 33	CL 50B	AVENIDA	747	01	F	10,149	33	8.2	26	70	1.25	**	1,116,154	2001	2008	2015		
Tunjuelito	AK 33	DG 50A	AVENIDA	740	01	F	10,149	66	8.5	51	70	1.25		1,112,020	2001				
Tunjuelito	AK 33	DG 49A	CL 49B S	717	01	F	9,577	54	6.4	45	70	1.25		1,035,659	2001	2009	2016		
Tunjuelito	AK 33	CL 49B	CL 50 S	724	02	F	5,035	17	13.9	11	70	1.25	**	526,359	2001				
Fontibón	CL 18	KR 69	KR 69B	4,004	01	R	1,281	54	8.6	42	70	1.00		314,347	2001	2011			
Fontibón	CL 20	KR 68D	KR 69	4,000	01	R	1,281	54	7.0	44	70	1.00		303,470	2001	2012			
Fontibón	CL 20	KR 69	KR 69B	3,984	01	R	1,281	58	5.0	50	70	1.00		257,148	2001	2011			
Fontibón	KR 69	CL 18	CL 19	4,003	01	R	1,281	19	11.6	13	70	1.00	**	210,783	2001	2011			
Tunjuelito	CL 49B S	KR 34	KR 35	667	01	F	1,281	49	10.9	35	70	1.25		205,826	2001	2005	2009	2013	2016
Tunjuelito	CL 50B S	KR 34	KR 35	720	01	F	1,281	0	7.6	0	70	1.25	**	204,796	2001	2005	2009	2013	2017
Tunjuelito	CL 50B S	KR 35	KR 36	648	01	F	1,281	28	6.7	23	70	1.25	**	200,783	2001	2005	2009	2013	2016

Fig. No. 9.14: Ejemplo del reporte del Plan de Trabajo Multianual.

9.5.2 SUBSISTEMA DE MANTENIMIENTO

El Módulo o Subsistema de Mantenimiento calcula un programa anual de actividades, cantidades y costos de obra, según tareas de mantenimiento para toda la red e indica el mínimo presupuesto que necesita una red urbana para su funcionamiento.

En vías sin pavimentar, se propone, más allá de las actividades de mantenimiento mencionadas (reconformación y renivelación), el diseño preliminar de una construcción nueva en mezcla asfáltica (full-depth asphalt) a 5 años y un pavimento rígido a 10 años con los costos correspondientes.

9.5.2.1 Actividades de Mantenimiento

Entre las actividades o tareas de mantenimiento se destacan:

- Parcheo, en Pavimento Flexible y de Hormigón
- Sello de Fisuras
- Sello de Juntas
- Sello de Arena-Asfalto
- Reconstrucción de Losas Aisladas
- Limpieza de Drenaje
- Reemplazo de Rejillas
- Reconformación y renivelación de vías en afirmado o tierra (vías sin pavimentar).

En el cuadro No.9.1 se observan para cada falla superficial relevada y para cada tipo de pavimento, las actividades de mantenimiento que se ejecutan en el programa. Estas actividades se han programado con base en criterios de los términos de referencia del contrato, en la experiencia de la empresa y en el manual de evaluación de pavimentos del Método PAVER[7]

Cuadro No. 9.1: Resumen de Actividades de Mantenimiento según Fallas Superficiales

Actidades de mantenimiento según fallas superficiales			
Pavimentos Flexibles			
Falla	**Bajo**	**Medio**	**Alto**
BACHES	Sin intervención	Parcheo	Parcheo
AHUELLAMIENTO	Sin intervención	Sin intervención	Parcheo
FISURA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	Sin intervención	Tratamiento Sello de Fisura	Tratamiento Sello de Fisura
HUNDIMIENTO	Sin intervención	Parcheo	Parcheo
FISURA DE BLOQUE	Sin intervención	Sin intervención	Parcheo
PIEL DE COCODRILO	Tratamiento Sello de Arena	Parcheo	Parcheo
CORRUGACIONES	Sin intervención	Sin intervención	Parcheo
Pavimentos Rígidos			
Falla	**Bajo**	**Medio**	**Alto**
BACHES	Sin Intervención	Parcheo	Parcheo
DISLOCAMIENTO	Sin Intervención		
FISURA LONGITUDINAL	Sin Intervención	Tratamiento Sello de Fisuras	Tratamiento Sello de Fisuras
FISURA TRANSVERSAL	Sin Intervención	Tratamiento Sello de Fisuras	Tratamiento Sello de Fisuras
FISURA DIAGONAL	Sin Intervención	Tratamiento Sello de Fisuras	Tratamiento Sello de Fisuras
LOSAS SUBDIVIDIDAS	Sin Intervención	Tratamiento Losas Subdividida	Tratamiento Losas Subdivididas
SELLO DEFICIENTE	Sin Intervención	Tratamiento Sello Juntas	Tratamiento Sello Juntas

[7] "Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lot". USA Army Corp of Engineers - PAVER

9.5.2.2 Parámetros

Previo a la corrida del Modulo de Mantenimiento, se definen los parámetros relativos a los costos de insumos y tareas de mantenimiento, a ejecutar. La figura No. 9.15 es una pantalla tipo del programa en la cual se definen estos parámetros. Los costos que se requieren para cálculo del presupuesto deben ser definidos por la Entidad. A manera de ejemplo, se han utilizado costos de las diversas actividades a realizarse, de la Base de Precios del IDU.

- Parámetros de Parcheo.- Establece los costos y profundidad para la ejecución de las tareas de Parcheo:
  - Espesor promedio de parcheo, en m
  - Costo del material para parcheo, en miles de pesos por metro cúbico
- Parámetros de Sello.- Establece los siguientes costos:
  - Costo del material para el tratamiento de sello de fisuras, en miles de pesos / ml.
  - Costo del material para el tratamiento de sello de arena, en miles de pesos / m^2.
  - Costo del material para el tratamiento de sello de juntas, en miles de pesos / ml.
- Parámetros considerados en Pavimentos Rígidos.- Se fija:
  - Costo del concreto rígido para reconstrucción de losa, en miles de pesos/m^3
  - Costo promedio de una losa para reemplazo por losa subdividida, en miles de pesos/m^2: Se determina el espesor promedio de una losa (en metros) y se multiplica por el costo del metro cúbico del concreto.

    Así : 0.15 * 350 $\approx$ 52 miles de pesos/m^2
- Parámetros de Drenaje.- Se establecen:
  - Costo de Limpieza de Drenaje, en miles de pesos/unidad
  - Costo de Reemplazo de Rejilla, en miles de pesos/unidad

- Parámetros considerados en Vías sin Pavimentar.- Se establecen los costos por unidad de superficie de la reconformación o renivelación a realizarse como tarea de mantenimiento en vías sin pavimentar:

  - Costo del tratamiento de renivelación para vías en buen estado, en miles de pesos/ m^2. Para determinar este costo, se sugiere realizarlo de la siguiente manera:
    a) Considerar un precio total por m3 del material a utilizar en la reconformación, 30.000 pesos
    b) Considerar un espesor a intervenir. Dado que la vía esta en buen estado, se sugiere reconformar 5 cm de la superficie.
    c) Obtener el costo de renivelación por unidad de superficie: 30.000 pesos/m3*0.05 m=1.500 pesos/ m^2.

  - Costo del tratamiento de reconformación para vías en condición regular, en miles de pesos/ m^2. Se determina de la misma manera que en punto anterior, pero se considera un espesor a reconformar de 10 cm. El costo de reconformación sería 3.000 pesos/ m^2.

  - Costo del tratamiento de reconformación para vías en mal estado, en miles de pesos/ m^2. Considerando un espesor a reconformar de 20 cm, el costo de reconformación sería 6.000 pesos/ m^2.

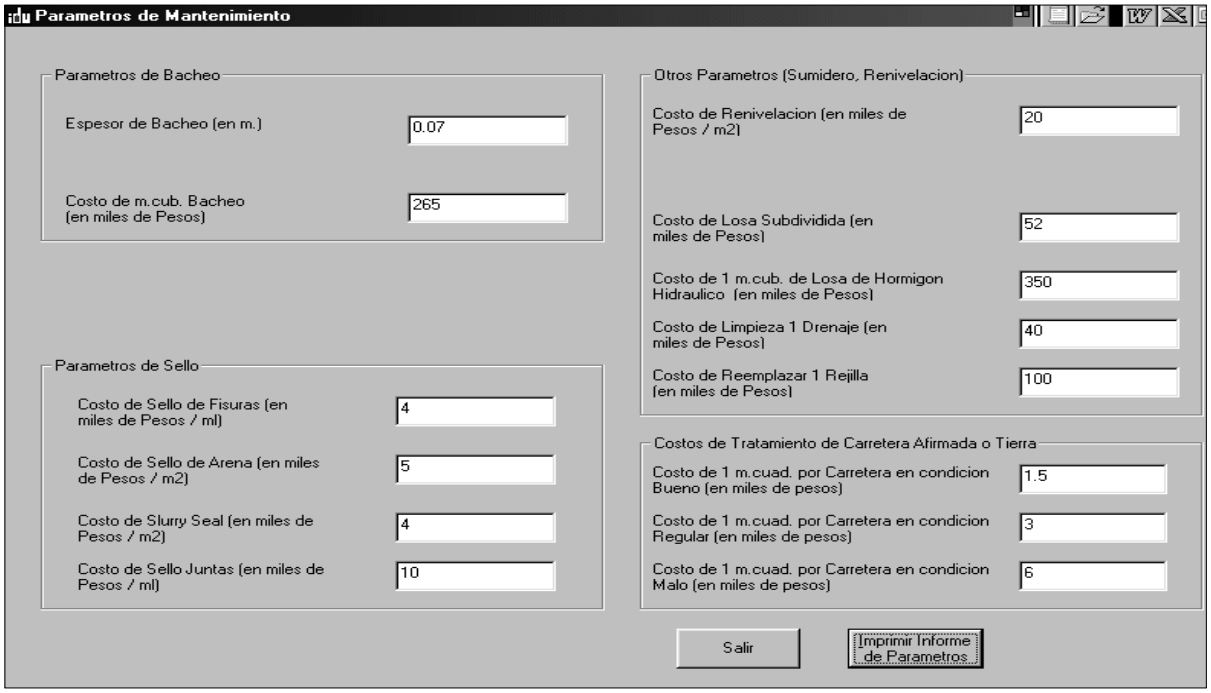
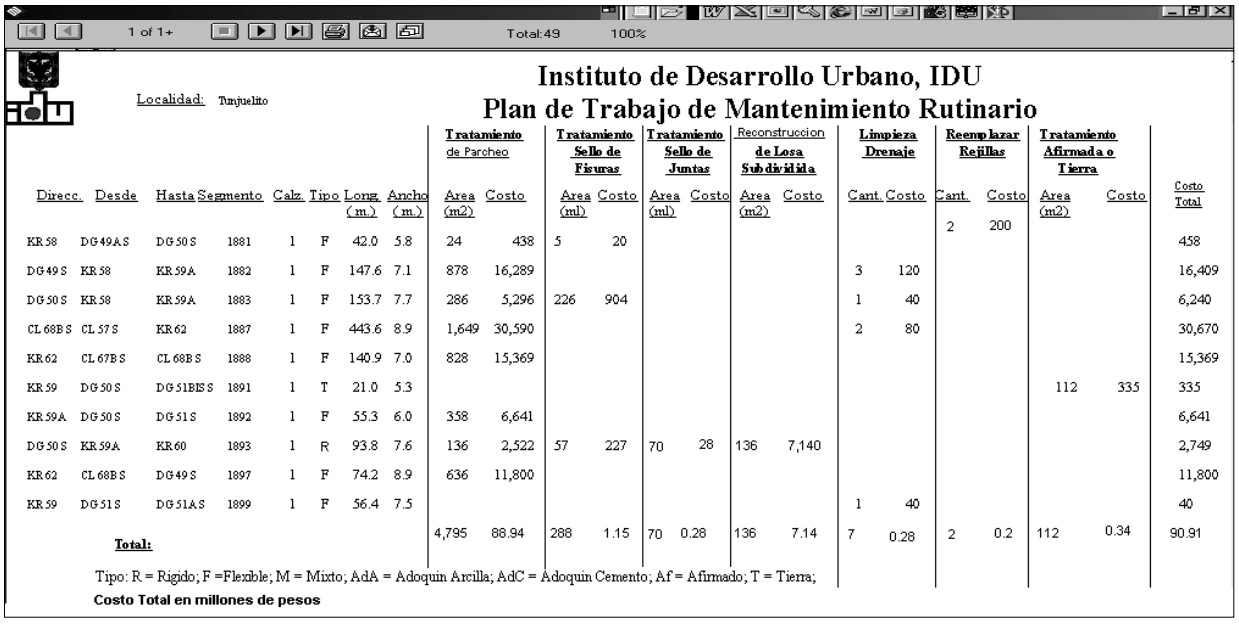


Fig. No. 9.15: Pantalla con los Parámetros definidos en el Subsistema de Mantenimiento

9.5.2.3 Resultados

Como resultado de la corrida se obtuvieron reportes como los mostrados en las figuras No. 9.16 y No. 9.17 siguientes, en los cuales se detallan las cantidades de obra por tarea y el presupuesto para cada segmento; para vías pavimentadas y sin pavimentar, respectivamente.

Cabe notar que en el caso de obtener resultados de tratamiento de parcheo con superficies a intervenir > 40% el área del segmento, se tendrá una nota en el reporte que dirá: “Este proyecto debe ser rehabilitado. No es necesario hacer tratamiento superficial”. Este porcentaje se ha definido con el criterio de que para superficies mayores al 40% del área del segmento, es más conveniente hacer rehabilitación completa. En el reporte de mantenimiento, se verán las cantidades “supuestas” de intervención de parcheo, pero no serán adicionadas en el cálculo del presupuesto de dicha actividad.



Instituto de Desarrollo Urbano, IDU
Plan de Trabajo de Mantenimiento Rutinario

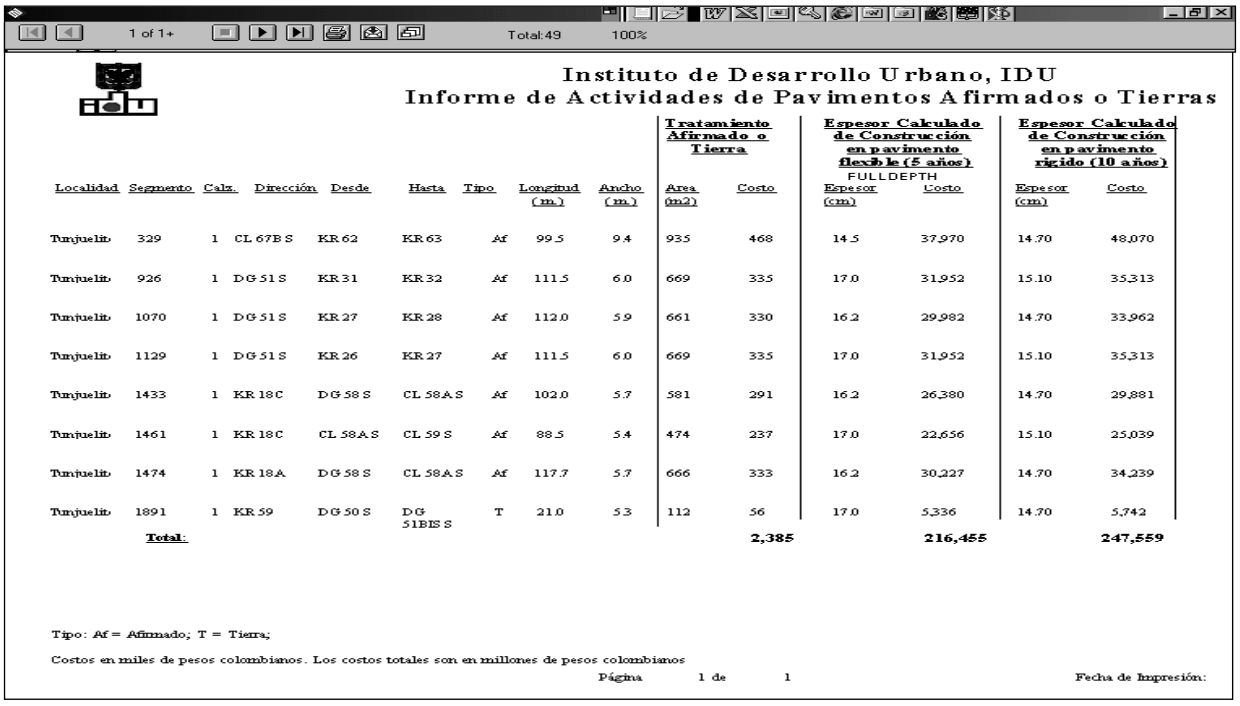
Localidad: Tunjuelito

Direcc.	Desde	Hasta	Segmento	Calz.	Tipo	Long. (m.)	Ancho (m.)	Tratamiento de Parcheo Area (m2)	Tratamiento de Parcheo Costo	Tratamiento Sello de Fisuras Area (ml)	Tratamiento Sello de Fisuras Costo	Tratamiento Sello de Juntas Area (ml)	Tratamiento Sello de Juntas Costo	Reconstruccion de Losa Subdividida Area (m2)	Reconstruccion de Losa Subdividida Costo	Limpieza Drenaje Cant.	Limpieza Drenaje Costo	Reemplazar Rejillas Cant.	Reemplazar Rejillas Costo	Tratamiento Afirmada o Tierra Area (m2)	Tratamiento Afirmada o Tierra Costo	Costo Total
																		2	200			
KR 58	DG 49A S	DG 50 S	1881	1	F	42.0	5.8	24	438	5	20											458
DG 49 S	KR 58	KR 59A	1882	1	F	147.6	7.1	878	16,289							3	120					16,409
DG 50 S	KR 58	KR 59A	1883	1	F	153.7	7.7	286	5,296	226	904					1	40					6,240
CL 68B S	CL 57 S	KR 62	1887	1	F	443.6	8.9	1,649	30,590							2	80					30,670
KR 62	CL 67B S	CL 68B S	1888	1	F	140.9	7.0	828	15,369													15,369
KR 59	DG 50 S	DG 51BIS S	1891	1	T	21.0	5.3													112	335	335
KR 59A	DG 50 S	DG 51 S	1892	1	F	55.3	6.0	358	6,641													6,641
DG 50 S	KR 59A	KR 60	1893	1	R	93.8	7.6	136	2,522	57	227	70	28	136	7,140							2,749
KR 62	CL 68B S	DG 49 S	1897	1	F	74.2	8.9	636	11,800													11,800
KR 59	DG 51 S	DG 51A S	1899	1	F	56.4	7.5									1	40					40
Total:								4,795	88.94	288	1.15	70	0.28	136	7.14	7	0.28	2	0.2	112	0.34	90.91

Tipo: R = Rigido; F =Flexible; M = Mixto; AdA = Adoquin Arcilla; AdC = Adoquin Cemento; Af = Afirmado; T = Tierra;

Costo Total en millones de pesos

Fig. No. 9.16: Ejemplo del reporte del Plan de Trabajo de las Actividades de Mantenimiento en vías pavimentadas.



Instituto de Desarrollo Urbano, IDU
Informe de Actividades de Pavimentos Afirmados o Tierras

Localidad	Segmento	Calz.	Dirección	Desde	Hasta	Tipo	Longitud (m.)	Ancho (m.)	Tratamiento Afirmado o Tierra Area (m2)	Tratamiento Afirmado o Tierra Costo	Espesor Calculado de Construcción en pavimento flexible (5 años) FULLDEPTH Espesor (cm)	Espesor Calculado de Construcción en pavimento flexible (5 años) FULLDEPTH Costo	Espesor Calculado de Construcción en pavimento rigido (10 años) Espesor (cm)	Espesor Calculado de Construcción en pavimento rigido (10 años) Costo
Tunjuelito	329	1	CL 67B S	KR 62	KR 63	Af	99.5	9.4	935	468	14.5	37,970	14.70	48,070
Tunjuelito	926	1	DG 51 S	KR 31	KR 32	Af	111.5	6.0	669	335	17.0	31,952	15.10	35,313
Tunjuelito	1070	1	DG 51 S	KR 27	KR 28	Af	112.0	5.9	661	330	16.2	29,982	14.70	33,962
Tunjuelito	1129	1	DG 51 S	KR 26	KR 27	Af	111.5	6.0	669	335	17.0	31,952	15.10	35,313
Tunjuelito	1433	1	KR 18C	DG 58 S	CL 58A S	Af	102.0	5.7	581	291	16.2	26,380	14.70	29,881
Tunjuelito	1461	1	KR 18C	CL 58A S	CL 59 S	Af	88.5	5.4	474	237	17.0	22,656	15.10	25,039
Tunjuelito	1474	1	KR 18A	DG 58 S	CL 58A S	Af	117.7	5.7	666	333	16.2	30,227	14.70	34,239
Tunjuelito	1891	1	KR 59	DG 50 S	DG 51BIS S	T	21.0	5.3	112	56	17.0	5,336	14.70	5,742
Total:										**2,385**		**216,455**		**247,559**

Tipo: Af = Afirmado; T = Tierra;

Costos en miles de pesos colombianos. Los costos totales son en millones de pesos colombianos

Página 1 de 1 Fecha de Impresión:

Fig. No. 9.17: Ejemplo del Reporte de Actividades a ejecutar en Vías Sin Pavimentar.

9.5.3 MÓDULO DE MAPAS

Toda la información del inventario y resultados de la gestión y mantenimiento se puede visualizar bajo mapas georeferenciados según rangos de distribución para las distintas variables evaluadas, como ser: IRI, SN, CBR, TPDA, MDR, OPI, Ancho Calzada, Tipo Superficie, Tipo de Pendiente, Deflexión Central, Espesores de Recapeo, Plan de Trabajo, Vida Remanente, Relación Beneficio/Costo, Valor Presente Neto y Actividad de Parcheo; tal como se aprecia en la figura No.9.18.

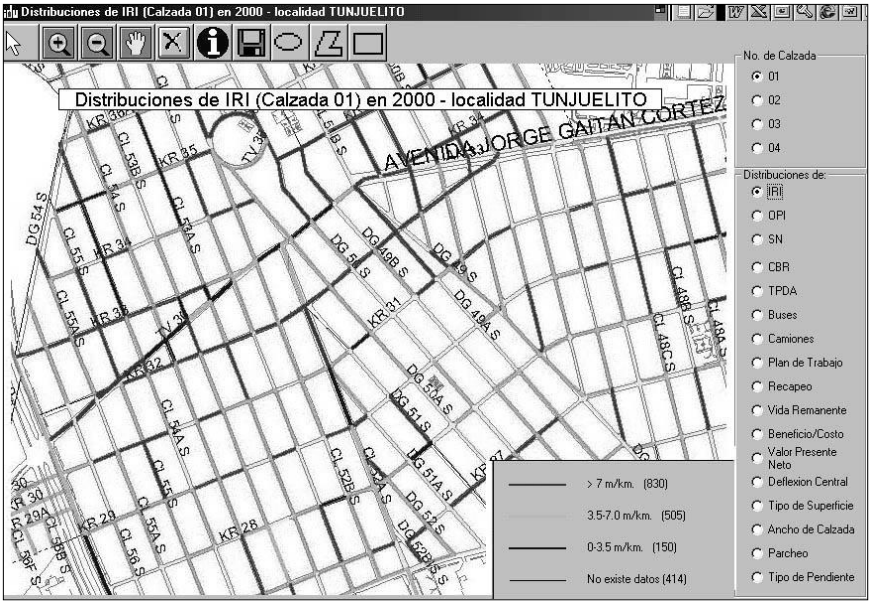


Fig. No. 9.18: Ejemplo de visualización de rangos de IRI en el Modulo de Mapas Georeferenciados.

Seleccionando un segmento se puede obtener información detallada del mismo en lo referente a información general, fallas superficiales, drenaje y de señalización. Ver figura No. 9.19.

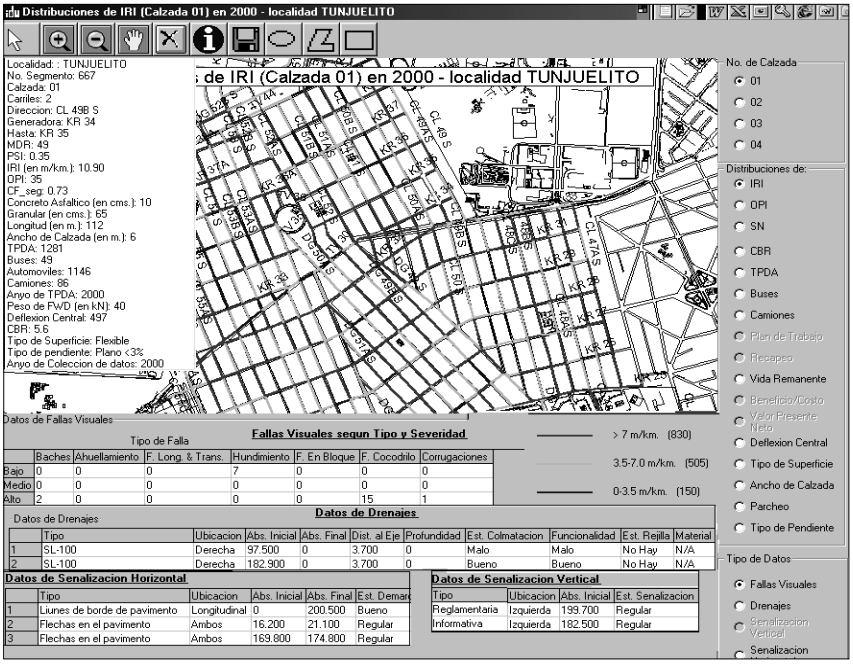
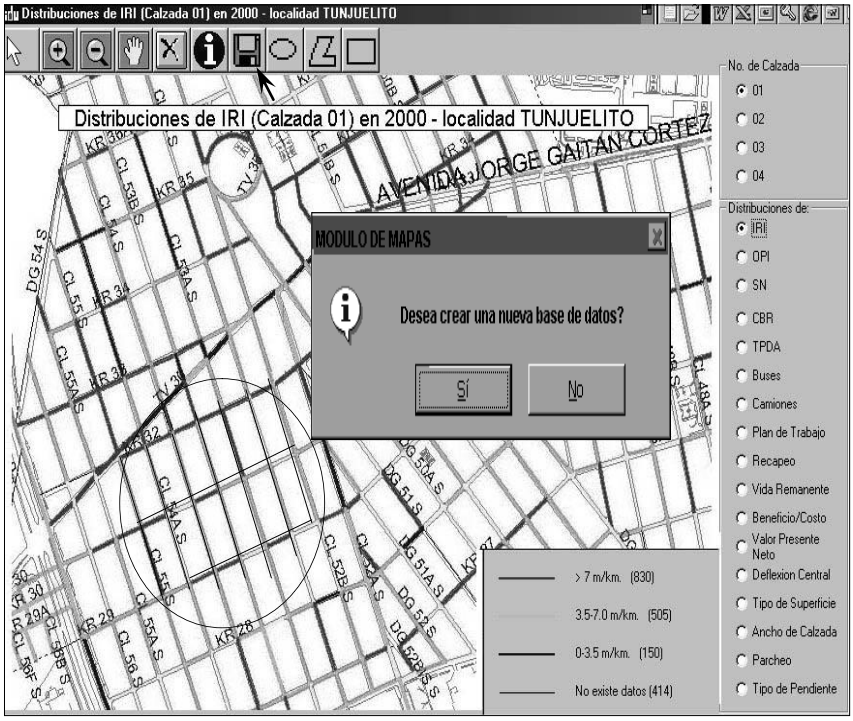


Fig. No. 9.19: Ejemplo de visualización de selección de Información por segmento.



Otra utilidad del módulo de mapas es la creación de sub-bases de datos para evaluar corredores o sectores particulares y establecer la gestión o actividades de mantenimiento posibles a realizar. En la figura No.9.20 se muestra la pantalla con esta opción.

Fig. No. 9.20: Ejemplo de selección y creación de nueva base de datos del Modulo de Mapas.

GLOSARIO

Actividad de Parcheo: Tareas de retiro de carpeta asfáltica deteriorada, en sectores aislados del segmento, colocando una nueva capa asfáltica.

Afirmado: Superficie de rodadura de un segmento, la cual esta conformada por materiales granulares o suelo natural.

Apique: Exploración sobre el pavimento o excavación sobre la superficie llegando al nivel de subrasante con el fin de estimar espesores y realizar el ensayo de penetración de cono dinámica.

CBR: California Bearing Ratio, Relación entre los esfuerzos que producen la penetración de 0.1" en una muestra de suelo cualquiera, respecto al esfuerzo que produjo tal penetración en una muestra de suelo patrón.

Costo de Agencia: Se obtiene la alternativa de intervención por segmento más económica para la entidad contratante, sin considerar beneficios.

Deflexión Central: Deformación producida por la caída de una carga estándar (en este caso mediante el FWD) sobre un plato de área conocida, en una estación de un segmento.

Ejes equivalentes de 8.2 ton.: Cargas de referencia calculadas a partir de los vehículos que circulan por una vía (tránsito mixto), y que se transforman por medio de unos factores de equivalencia de carga a un eje de referencia de 8.2 ton. en el periodo de diseño.

Espesores de Recapeo: Equivale a los espesores de concreto asfáltico necesarios para cumplir con un nivel de servicio mínimo para un período determinado. Estos espesores son obtenidos a partir de la metodología AASHTO para el subsistema de Gestión.

FWD: Siglas en inglés de Falling Weight Deflectometer, deflectométro de impacto. Aparato que consiste en aplicar una carga dinámica (variable entre 2t y 12t) en el pavimento causada por la caída de una masa sobre un plato circular (de diámetro 30cm) cuya superficie de contacto se asemeja al de la rueda de un camión. Las deflexiones producidas son medidas por medio de un grupo de geófonos en unidad de micrones (milésimas de milímetros) en siete puntos cada uno separado de la carga a una distancia de 30cms.

Georadar: Equipo empleado para la obtención de espesores de una estructura de pavimento. El equipo de Georadar es una técnica geofísica de prospección del subsuelo que se basa en el proceso de reflexión de ondas electromagnéticas que considera las características físicas del material, su estado de humedad y la frecuencia del radar. Este método alternativo contribuye a facilitar la toma de información, por su alto rendimiento y por ser una opción no destructiva y continua para la determinación de espesores.

Gestión/Gestionar: Conjunto de operaciones cuyo objetivo es planificar a corto, mediano y largo plazo, dando soluciones de rehabilitación y la justificación económica de las inversiones, considerando un presupuesto asignado. Se quiere conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas, minimizando los costos monetarios.

Inventario: Tarea de recolección de datos de geometría, daños superficiales, deflexiones, IRI, estado de drenajes por cada segmento.

IRI: Indice de Rugosidad Internacional, es el perfil longitudinal de la superficie de la vía, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad (ascensos y descensos) por la simulación de la circulación de un vehículo a 80km/h, revelando el confort para el usuario.

Indice de Serviciabilidad presente: Valor que califica al pavimento por medio de los daños existentes en el mismo. También involucra el IRI.

Mantenimiento: Las tareas que permiten la preservación de la vía en un determinado período, antes de llegar a un nivel de servicio tal que necesite reconstrucción.

Medio duro: Referida a planos e información en libros.

Medio Magnético: Referido a disquetes y discos compactos.

MDR: Siglas en inglés de Modified Distress Ratio, corresponde a la calificación del estado de pavimento mediante la cuantificación de los daños existentes en el mismo. Se denomina Indice de Fallas de la Superficie del Pavimento. Este índice aplica tanto para pavimentos flexibles como rígidos.

Módulo resiliente de la Subrasante: Característica elástica del material de subrasante a soportar cargas, y capacidad de producir deformaciones recuperables. Empleado en los pavimentos flexibles.

Módulo de reacción dinámico (K_{din}): Módulo de reacción combinado, del material que se encuentra por debajo de la losa, retrocalculado a partir de las mediciones de deflexión mediante FWD, sobre losas de concreto rígido.

Módulo de reacción de la subrasante ($K_{estático}$): Módulo de reacción según Westergaard`s, usado en el diseño de pavimentos rígidos. Equivale a la relación entre el esfuerzo producido por la caída de una carga sobre un área determinada en el suelo de subrasante, dividido por la deflexión producida en el material de subrasante.

Nivel de Servicio: Calificación que se le otorga a un segmento a partir de los daños existentes.

Nivel "DEBE": Es un nivel límite de servicio. Se fijan umbrales superior e inferior de niveles para la red, en función del índice de condición global del pavimento (OPI). El nivel "Debe" o limite inferior es el índice mínimo asignado bajo el cual la intervención para la rehabilitación de un segmento es obligatoria.

Nivel "PUEDE": Es un nivel límite de servicio, expresado en OPI. El nivel "Puede" es el límite superior bajo el cual la rehabilitación del segmento es aconsejable mas no obligatoria. Indices OPI superiores a éstos indicarán no considerar intervención alguna.

OPI: Siglas en inglés de Overall Pavement Index, corresponde al Indice de Condición Global del pavimento, definiendo un valor que representa el estado del pavimento. Es función del IRI y del MDR.

Optimización: Desarrollo de criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo, en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas, como medio para asegurar su efectividad.

Optimización IBC: Se obtiene la mejor alternativa de intervención por segmento, priorizando las vías según la mejor relación Beneficio – costo incrementado (IBC).

Optimización OPI: Se obtiene la mejor alternativa de intervención por segmento, con el objeto de alcanzar, anualmente, niveles de condición de pavimento (OPI) promedio, los cuales se han predeterminado para la red urbana a gestionar.

Pavimento Mixto: Es aquel donde en sus capas superiores se presenta una mezcla entre capas de asfalto y de hormigón, en cualquier orden.

Pavimento Flexible: Estructura de pavimento compuesta en su capa superior por concreto asfáltico o tratamiento superficial, y con capas inferiores de base y subbase generalmente granulares. Tales capas van mejorando desde la parte inferior hacia la superficie.

Pavimento rígido: Estructura de pavimento donde la capa superior es de concreto hidráulico.

Penetración Dinámica de cono: Ensayo que consiste en dejar caer una masa sobre el suelo, y se mide el número de golpes contra la profundidad penetrada. Mediante el número de golpes y utilizando relaciones calibradas, se puede correlacionar el CBR de la subrasante.

Perfilómetro: El perfilógrafo RSP-L5 (Road Surface Profiler), permite relevar en forma continua, recorriendo el carril a evaluar a velocidad de 30-70Km/h, la rugosidad en ambas huellas en términos de IRI (m/Km.) a intervalos predeterminados (10, 50, 100, 250m etc.). El RSP funciona a partir de 7 sensores ubicados en una viga transversal que a su vez va montada en el Bumper delantero del vehículo. Dos de ellos son sensores ACELEROMETROS que miden el desplazamiento vertical del vehículo (aceleraciones verticales) y el resto (5) son sensores LASER que miden el desplazamiento entre el vehículo y el pavimento. El perfil del pavimento se obtiene por la suma integrada de las mediciones de los 7 sensores (2 acelerómetros y 5 sensores láser).

Perfomance: Tendencia del nivel de servicio del pavimento, bajo las repeticiones de carga y clima**.**

Período de Diseño: El período de tiempo en el que la estructura de un pavimento recién construido o rehabilitado durará hasta antes de alcanzar su serviciabilidad final, y soportará la circulación de las cargas estimadas.

Período de Vida útil: Es aquel que va desde el día de su puesta en servicio hasta el momento que el evaluador quiere realizar su análisis.

Plan de Trabajo: Programación de actividades donde se indica el año de intervención para los segmentos gestionados.

PMS: Pavement Management System, Sistema de Administración de Pavimentos.

Programa Convertidor: Es un programa para transformar información contenida en la base de datos general del IDU, para que la estructura se acople al programa del Sistema de Administración de Vías Urbanas.

Relación Beneficio/Costo: Plantea el cociente entre los beneficios y los costos, siendo un proyecto rentable cuando este valor es mayor que uno (1), o sea, cuando los beneficios son mayores a los costos.

Retrocálculo: Realizar operaciones mediante metodología definidas donde (en caso particular de este proyecto) a partir de mediciones de deflexión mediante FWD, se obtienen parámetros como número estructural efectivo de la estructura de pavimento.

Rohde: Consultor Sudafricano, propone metodología para el retrocálculo del número estructural efectivo a partir de mediciones de deflexión.

Segmento: Se define como una porción de vía o sector que tiene un punto de inicio (nodo inicial), un punto de terminación (nodo final) y una dirección o sentido el cual está definido por la dirección en que crecen los números de la nomenclatura de la ciudad.

Segmento-Calzada: Equivale al segmento que alberga más de una calzada de circulación.

Serviciabilidad: La capacidad del pavimento para servir al tránsito durante un período de tiempo.

SN: Número Estructural, índice derivado a partir de un análisis de tráfico, condiciones de suelo de subrasante y ambiente, el cual puede ser convertido a espesores de capa de pavimento flexible por medio de coeficientes de capa relacionado con el tipo de material que esta siendo usado en cada capa de la estructura de pavimento.

$SN_{efectivo}$: Corresponde al Número estructural efectivo de la estructura de pavimento existente retrocalculado a partir de mediciones con el FWD. El retrocálculo se realizó mediante la Metodología ROHDE.

TPDA: Tránsito promedio diario, tránsito total promedio de 24 horas de circulación en un segmento.

Tipo Superficie: Tipo de pavimento que presenta, ya sea flexible, rígido, mixto, adoquinado o si se encuentra en afirmado o tierra.

Tipo de Pendiente: Se define como la pendiente longitudinal de cada segmento.

Vida Remanente: Concepto utilizado para cuantificar el tiempo restante de la vía para alcanzar un nivel determinado prefijado final de servicio.

Valor Presente Neto: Es llevar la relación de beneficios menos costos de la alternativa de un proyecto, a moneda de hoy.

VOC: Siglas en inglés de Vehicle Operation Cost cuya traducción es Costo de Operación de Vehículos.