

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.
INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO ó IDU
DIRECCIÓN TÉCNICA MALLA VIAL
S.T.D.P.

INVENTARIO VIAL DE LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTA FE, CANDELARIA, TEUSAQUILLO, BARRIOS UNIDOS, USAQUÉN, MÁRTIRES, ANTONIO NARIÑO, PUENTE ARANDA, SUBA, ENGATIVÁ Y KENNEDY, PARA EVALUAR Y PRIORIZAR ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN; EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

CONTRATO No. 617/99

DOCUMENTO MAESTRO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCION Y ANTECEDENTES	1
2 ENFOQUE DE LOS ESTUDIOS	3
3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y ALCANCES	7
4 METODOLOGÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	12
4.1 DEFINICIÓN Y CODIFICACIÓN DE TRAMOS	12
4.2 VERIFICACIÓN Y DEMARCACIÓN DE TRAMOS	13
4.2.1 Verificación de tramos	13
4.2.2 Demarcación de Tramos Viales	15
4.3 INVENTARIO VIAL	17
4.3.1 Geometría	18
4.3.2 Drenajes	21
4.3.3 Señalización	23
4.3.4 Inventario de Fallas	25

4.3.4.1	Método basado en el Manual para la Clasificación de las Condiciones de Pavimentos y Tratamientos Recomendados	25
4.3.4.2	Inventario para el programa de administración de pavimentos	29
4.3.5	Levantamiento de Tramos Atípicos	30
4.3.6	Índice de rugosidad	31
4.3.6.1	Equipo ROMDAS	31
4.3.6.2	Equipo Merlin	33
4.3.6.3	Procedimiento para la toma de información	33
4.3.7	Deflectometría	34
4.3.7.1	Mediciones con Viga Benkelman	34
4.3.7.2	Procedimiento para la toma de información en campo	35
4.3.8	Determinación de Espesores	37
4.3.8.1	Georadar	37
4.3.8.2	Apiques	38
4.4	MANEJO DE LOS RESULTADOS DEL INVENTARIO	39
4.4.1	Base de Datos	39
4.4.2	Transferencia de Información y Verificaciones de Consistencia	39
4.4.3	Cálculos y Análisis	40
4.4.4	Cálculo del Índice de Falla	40
4.4.5	Cálculo y Asignación del IRI para cada segmento	43
4.4.6	Cálculo y Asignación de Deflexión para cada segmento	46
4.4.7	Definición de la Estructura del Pavimento para cada Segmento	47
4.4.8	Determinación del Número Estructural	48
4.4.9	Determinación del Módulo de Reacción para Pavimentos Rígidos	52
4.5	ESTUDIOS DE TRÁNSITO	53
4.5.1	Fuentes de Información	53
4.5.1.1	Información secundaria	53
4.5.1.2	Información primaria	54

4.5.1.3	Criterios de extrapolación	56
4.5.1.4	Composición vehicular	59
4.5.1.5	Tasas de crecimiento del tránsito	59
4.5.2	Criterios de asignación de tránsito y su respectiva composición vehicular	61
4.5.3	Definición del Bus y Camión Tipo	62
4.5.4	Productos del Estudio de Tránsito	63
4.6	DETERMINACIÓN DEL CBR DE CADA VÍA	63
5	DEFINICIÓN Y METODOLOGÍA PARA LA MATRIZ DE ESTADO	65
5.1	CRITERIOS PARA LLEGAR A LOS CONCEPTOS DEFINITIVOS DE LA MATRIZ DE ESTADO	65
5.1.1	Modificaciones a la Metodología IDU	66
5.1.2	Variación en los Pesos	67
5.1.3	Validación con los Resultados del Inventario	69
5.1.3.1	Trabajo de campo	69
5.1.3.2	Definición de la Ecuación para el Cálculo del ICP	70
5.1.3.3	Rangos de ICP	71
5.1.3.4	Conclusiones del Ejercicio de Validación	72
5.1.4	Capacidad Estructural de Pavimentos Flexibles	73
5.1.5	Capacidad Estructural Pavimentos Rígidos	75
5.1.6	Clasificación de las Vías según su Tránsito	77
5.1.6.1	Cálculo del Número de Ejes Equivalentes	78
5.1.6.2	Determinación del Factor Daño	78
5.1.6.3	Jerarquías de Tránsito	80
5.2	CONFORMACIÓN DE LA MATRIZ DE ESTADO	80
5.3	CATÁLOGO DE INTERVENCIONES	84

5.3.1	Pavimentos Flexibles	84
5.3.1.1	Mantenimiento Preventivo	84
5.3.1.2	Mantenimiento Correctivo	85
5.3.1.3	Rehabilitación	86
5.3.1.4	Reconstrucción	89
5.3.2	Pavimentos Rígidos	90
5.3.2.1	Mantenimiento Preventivo	90
5.3.2.2	Mantenimiento Correctivo	90
5.3.2.3	Rehabilitación	93
5.3.2.4	Reconstrucción	94
5.3.3	Referencia de Especificaciones de Construcción	94
5.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS	96
5.5	PRIORIZACIÓN DE INTERVENCIONES EN LA RED	98
ANEXO 1: INFORMACIÓN BÁSICA DEL ESTUDIO DE TRÁNSITO		
ANEXO 2: VALIDACIÓN DE LAS MEDICIONES DE GEORADAR		
ANEXO 3: RESULTADOS DE PRUEBA PILOTO PARA VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA		
ANEXO 4: MANUAL PARA LA CLASIFICACION DE CONDICIÓN DE PAVIMENTOS Y TRATAMIENTOS RECOMENDADOS		

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.
INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO ó IDU
DIRECCIÓN TÉCNICA MALLA VIAL
S.T.D.P.

INVENTARIO VIAL DE LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTA FE, CANDELARIA, TEUSAQUILLO, BARRIOS UNIDOS, USAQUÉN, MÁRTIRES, ANTONIO NARIÑO, PUENTE ARANDA, SUBA, ENGATIVÁ Y KENNEDY, PARA EVALUAR Y PRIORIZAR ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN; EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

CONTRATO No. 617/99

DOCUMENTO MAESTRO

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	Codificación y Segmentación de Tamos
Figura 4.2	Formato de Reporte de Demarcación
Figura 4.3	Modelo de Ordenador Electrónico (Palm Pilot)
Figura 4.4	Formato de Drenajes
Figura 4.5	Formato de Señalización
Figura 4.6	Formato de Fallas con Medición de Áreas
Figura 4.7	Esquema del Equipo Romdas
Figura 4.8	Esquema del Equipo Merlin
Figura 4.9	Correlación a_2 vs D_o
Figura 5.1	Ecuación de correlación IF vs ICP
Figura 5.2	Deflexión en Función del Número Acumulado de Ejes Equivalentes
Figura 5.3	Matriz de Estado para Pavimentos Flexibles
Figura 5.4	Matriz de Estado para Pavimentos Rígidos
Figura 5.5	Matriz de Priorización de la Malla Vial

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.
INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO ó IDU
DIRECCIÓN TÉCNICA MALLA VIAL
S.T.D.P.

INVENTARIO VIAL DE LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO, SANTA FE, CANDELARIA, TEUSAQUILLO, BARRIOS UNIDOS, USAQUÉN, MÁRTIRES, ANTONIO NARIÑO, PUENTE ARANDA, SUBA, ENGATIVÁ Y KENNEDY, PARA EVALUAR Y PRIORIZAR ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN; EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

CONTRATO No. 617/99

DOCUMENTO MAESTRO

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1	Longitud Inventariada y Contratada
Tabla 4.1	Códigos y Tipos de Materiales en Andenes y Calzadas
Tabla 4.2	Clasificación de Fallas para el Inventario
Tabla 4.3	Tipos de Fallas para el Inventario con toma de Áreas
Tabla 4.4	Pesos por Tipo de Falla
Tabla 4.5	Coficiente a_1 en Función del Indice de Fallas y de la Deflexión
Tabla 4.6	Módulo de Reacción Conjunto de la Subrasante
Tabla 4.7	Aforos de la Dirección de Semaforización Electrónica
Tabla 4.8	CBR de Acuerdo con la Zonificación Geotécnica de Bogotá
Tabla 5.1	Aportes al IF de cada Tipo de Falla
Tabla 5.2	Rangos de Indice de Falla
Tabla 5.3	Rangos de ICP

Tabla 5.4	Rangos de Deflexión Admisible ó Pavimentos Flexibles
Tabla 5.5	Coefficiente de Condición del Pavimento en Función del Índice de Falla
Tabla 5.6	Rangos de Sobrecarpeta en Pavimentos Rígidos
Tabla 5.7	Espesor Efectivo de Sobrecarpeta (Dol)
Tabla 5.8	Factores Daño
Tabla 5.9	Rangos de Ejes Equivalentes a 8.2 ton
Tabla 5.10	Precios Unitarios de Intervenciones en Pavimentos Flexibles
Tabla 5.11	Precios Unitarios de Intervenciones en Pavimentos Rígidos

1 INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La recuperación de la malla vial, ha sido una de las mayores preocupaciones de las últimas administraciones de Bogotá, ya que, en su deficiente estado actual, producto de la combinación de factores tales como la presencia de subrasantes blandas propias de los suelos lacustres, materiales de construcción que no cumplen con las especificaciones mínimas, diseños deficientes para las condiciones de carga, defectos en la construcción, falta de conservación y mantenimiento, entre otros, ocasiona pérdidas económicas, disminución en la calidad de vida y malestar dentro de la comunidad.

El Instituto de Desarrollo Urbano, en su interés por llevar la malla vial a un estado mínimo de operación aceptable, inició un programa en este sentido con la contratación de la firma consultora Booz-Allen and Hamilton (BAH) quienes tenían como misión proponer una estrategia integral para la recuperación de la malla vial y mecanismos para fortalecer la capacidad del Instituto en su puesta en marcha.

El grupo BAH, concluyó en su estudio sobre la necesidad inmediata de intervenir la red urbana para evitar el escalonamiento en los costos futuros de llevarla a un estado aceptable. Sin embargo advirtió que recuperarla no implica detener su deterioro y por lo tanto, se hace necesaria la planeación de un mantenimiento que incluya la apropiada asignación de recursos. Los conceptos fundamentales de una estrategia de recuperación de la malla, dados por BAH en su estudio, se describen a continuación:

- Establecer como prioritaria la asignación de recursos para el mantenimiento de la malla vial, recalcando los beneficios económicos que trae para la ciudad, recuperar y mantener uno de los principales componentes de su patrimonio productivo.
- Frenar el deterioro acelerado de la malla y estabilizarla en un nivel de servicio aceptable en un corto plazo. La inversión inicial tiene un impacto dramático pero evitará que multipliquen los costos posteriormente.
- Luego de estabilizar la red, se deben planear y ejecutar intervenciones estructurales para llevar la malla a un estado óptimo de servicio.

Para ejecutar esta estrategia, el IDU está desarrollando nuevas actividades de planeación y administración de mantenimiento. Dentro de la planeación, se encuentra la conformación de un inventario detallado de la infraestructura y del estado de la red; definición de las zonas de corredores como unidad de contratación y control de la recuperación de mantenimiento; definición y evaluación de intervenciones en cada sector y su costo asociado para solicitar vigencias futuras.

La parte administrativa está fundamentada en los contratos por desempeño desde la preparación de los pliegos, licitación, adjudicación, contrato y seguimiento.

El Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, como parte de su estrategia para la recuperación y mantenimiento de la malla vial en Santa Fe de Bogotá, encargó al Consorcio Consultoria Colombiana S.A. ó A.I.M. Ltda., mediante el contrato No. 617/99, la ejecución del Inventario Vial de las Localidades de Chapinero, Santa Fe, Candelaria, Teusaquillo, Barrios Unidos, Usaquén, Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, Suba, Engativá y Kennedy, con el objeto de evaluar el estado de los pavimentos y definir y priorizar estrategias de intervención para su recuperación.

El presente documento recopila las diferentes etapas que se desarrollaron en la ejecución del inventario y en la aplicación de la metodología para alcanzar los objetivos planteados. Se ha denominado "Documento Maestro" ya que no solo recopila las experiencias obtenidas de este trabajo, sino que se pretende que sirva como guía para llevar a cabo este mismo tipo de proyectos en el futuro.

2 ENFOQUE DE LOS ESTUDIOS

Según los antecedentes ya descritos, de acuerdo con la conclusión del grupo BAH acerca de que la Ciudad no solo tiene la necesidad de llevar la malla vial a un estado aceptable a través de su pronta recuperación, sino la de prever una serie de acciones tendientes a garantizar en el tiempo y en el espacio un adecuado nivel de servicio en ésta, por medio de intervenciones periódicas, se considera conveniente acometer el desarrollo de los estudios a través de un ejercicio de planeación, que desde ahora oriente los futuros procesos de planificación de la malla.

Mediante este ejercicio de planeación el IDU contará con herramientas que soportarán los procesos de toma de decisiones respecto a las acciones futuras sobre la red vial, decisiones que surgirán, seguramente, de acuerdo con políticas institucionales y restricciones de carácter presupuestal, siendo justificables técnicamente desde la perspectiva de la ingeniería de pavimentos, con las herramientas aportadas por este estudio. Esta será entonces, una entrada a un sistema de gestión de la malla vial de Santa Fe de Bogotá, desde la cual se obtendrán procedimientos e instrumentos técnicos de decisión, para orientar y justificar la acción sobre la red.

Es importante resaltar que en desarrollo de los estudios se hará referencia a los términos *planeación* y *planificación* constantemente, razón por la cual se destacan las acepciones diferenciales con las que serán tratados. En este sentido, es común que estos términos reciban la misma acepción en el lenguaje cotidiano, incluso en medio del ejercicio profesional, asociándoseles de manera indistinta relaciones directas con el proceso de toma de decisiones que oriente la acción para generar una serie de eventos futuros. Así, cualquiera que sea la acepción para estos términos, implícitamente se está involucrando un deseo, una tendencia o una posibilidad de futuro, es decir, el concepto de cambio, y con ello la decisión para orientarle y, aún cuando no siempre, el instrumento para la acción para que tal cambio sea entonces una realidad. Es claro aquí un deseo y una posibilidad de cambio, asociada esta con la recuperación y con el mantenimiento de la red vial de la ciudad.

Es en la capacidad de hacer de la decisión una realidad, necesariamente a través de la acción, en donde radica la diferencia fundamental entre estos términos, razón por la cual no deben ser considerados bajo la misma acepción; es en los procedimientos y en los instrumentos propios del ejercicio de la *planificación*, que a través de la acción las decisiones inherentes al proceso de la *planeación* son llevadas a fin. Así, esta última (la *planeación*) contempla la orientación del futuro a través de la decisión de cambio, haciéndose de ella un proceso de mayor estructuralidad y agregación con objetivos a más largo plazo, en tanto la primera (la *planificación*) adquiere una connotación más

de carácter técnico-instrumental, de mayor especificidad, siendo más circunstancial, estando más restringida en el espacio-tiempo y contemplando el proceso de acción que haga de la decisión, objeto de la *planeación*, el cambio mediante sus diversos instrumentos. En general se puede considerar la *planificación* como un instrumento de apoyo a la planeación.

Es claro también que si bien es posible, y por demás necesario, diferenciar los conceptos de *planeación* y *planificación*, también lo es el hecho de que la una puede no tener sentido sin la otra, ya que una decisión, producto de un proceso de *planeación*, si no es llevada a cabo en términos de alguna acción que propenda por el cambio previamente decidido, pierde su razón de ser; esto es en otras palabras, *decisión sin acción no es decisión*, y la acción es un instrumento propio de la *planificación* para instrumentar la decisión inherente de la *planeación*. Otro aspecto que refuerza la necesidad de este vínculo es la apreciación de que a través de la *planificación* el cambio decidido durante la *planeación*, que involucra una tendencia, una posibilidad o, fundamentalmente, un deseo de cambio, concluya en una realidad y no se quede simplemente en un deseo o en una posibilidad. En este sentido es en el que la *planeación* parece adquirir una relación directa con la *decisión*, en tanto la *planificación* lo hace con la *acción*.

Es entonces la *planificación* la herramienta mediante la cual se instrumenta el *¿cómo?* y el *¿con qué?* de un cambio decidido, decisión a la cual le subyace, desde la *planeación*, un *¿qué cambiar?* y un *¿quien realizarlo?*, con un particular *¿para qué cambiar?* con su trasfondo inductor de sentido, que es mediante el cual articulan los conceptos de *planeación* y *planificación*, ya que aún cuando existen diversas formas de realizar las cosas, es decir, de ejecutar las acciones, *¿el cómo?* y el *¿con qué?*, lo importante es la elección de la más conveniente, elección que debe ser función del referido cuestionamiento *¿para qué?*.

Retomando el objetivo principal del estudio, se aprecia como éste está orientado fundamentalmente a establecer las líneas directrices de un proceso de decisión de carácter estructural, a través del cual se realice un diagnóstico del estado actual de la malla vial de la ciudad, se identifiquen diversas alternativas de intervención con las que sea posible alcanzar un nivel de servicio aceptable para los usuarios, y se formule un plan de mantenimiento para conservar dicho nivel.

Contextualizando este objetivo en los conceptos anteriores, en primera instancia parecería evidente que este sería un eminente ejercicio de *planificación*, ya que en últimas se pretende establecer un plan de mantenimiento rutinario y periódico anual para mantener la red en un nivel de servicio aceptable. No obstante este *plan* no es viable institucionalmente (al interior del IDU) e interinstitucionalmente (al interior del Distrito Capital) solamente con las recomendaciones técnicas de ingeniería (por

científicas que estas sean) que surjan de este estudio u otros similares, ya que se requiere de una viabilidad no sólo técnica, sino también económica, ambiental y política.

Seguramente no habrá duda respecto a la viabilidad ambiental de cualquier plan que propenda por el mejoramiento de la red vial de la ciudad, ya que resulta intuitivo el mejoramiento en la calidad de vida de la población, aspectos cuyo análisis no son objeto de este estudio por lo cual, sin menosprecio de su importancia, se soslayan en el desarrollo del mismo. No así, la viabilidad económica y política no son tan evidentes para cualquier plan, más si se tiene en cuenta que una de las principales restricciones de la ciudad para la gestión de la malla vial es de carácter presupuestal, razón por la que cualquier intervención estará sujeta no sólo al análisis de óptimos de ingeniería, sino a las limitantes de tipo financiero y al direccionamiento de políticas de carácter intra e interinstitucional.

En conclusión, lo que se pretende expresar es que las fortalezas del estudio no están en la formulación de un plan de mantenimiento para llevar la red en un nivel de servicio aceptable, sino en la posibilidad de contar con herramientas de gestión que permitan formular planes de mantenimiento rutinario y periódico acordes con la realidad institucional, política y económica de la ciudad.

Este es, entonces, un ejercicio de *planeación* a través del cual se justifica, a partir del inventario de la red un *qué* intervenir, estableciendo además, de manera diferencial segmento a segmento de la red, a través de un diagnóstico de estado, un *para que* intervenir y un *por que* intervenirlo. Es decir a través de este estudio, mediante el ejercicio de *planeación* se determina técnicamente, desde la óptica de la ingeniería de pavimentos, el *para qué* cambiar la malla vial de la ciudad, y el *qué* cambiarle, cuestionamientos centrales que busca responder la *planeación* en torno a un cambio deseado o posible, según se discutió antes.

Así mismo el estudio establece lineamientos técnicos fundamentales para la planificación de intervenciones a la malla vial a través de la identificación de unos *cómo* intervenirla y unos *con qué* intervenirla. Con esto, más allá de una fase descriptiva o de inventario, en conjunto con el análisis diagnóstico se determinan diversas alternativas de intervención para cada segmento de la red, alternativas que están restringidas a una condición de estado superficial, de vida residual y de funcionalidad de tránsito actual, y que pueden variar (debido a la dinámica natural de red) respecto al momento en que la decisión de intervención sea transformada en acción, es decir, en el momento que se intervenga la red.

Estas alternativas de intervención para cada segmento determinan así, desde una óptica metodológica y tecnológica de ingeniería, el *cómo* y el *con qué* instrumentar el

cambio que se ha considerado, es decir el mejoramiento de la red vial y su posterior conservación. Se establece además, para cada segmento de la red, los costos (aproximados) asociados para cada intervención posible, y la prioridad de intervención según la lógica de ingeniería, lo que junto con la identificación propia de cada segmento a intervenir, determinan el *dónde*, el *cuándo* y una aproximación de cuanto *cuánto* de la intervención, aspectos que determinan la referencia espacio-temporal del proceso de *planificación* como instrumentación de la *planeación*.

Es claro entonces que el estudio se orienta a aportar los elementos técnicos de ingeniería para los procesos de *planificación* de intervención de la malla vial de la ciudad, es decir para los procesos a través de los cuales la decisión de intervenir la malla se haga realidad a través de la acción. En ese momento se contarán con las herramientas para responder, desde la perspectiva de la ingeniería de pavimentos, a los cuestionamientos centrales del proceso de decisión - acción: *cómo?* y *con qué?*, a partir de las diversas tecnologías y metodologías asociadas a los diferentes tipos de intervención recomendados para cada segmento; *dónde?*, determinado por la localización de cada segmentos de la red; *cuándo?*, a partir de la priorización de intervención establecida, y; *cuanto?* de acuerdo con los costos de intervención según tipo.

El estudio aportará además una importante herramienta de gestión que permita hacer seguimiento, en el tiempo y en el espacio, al estado de la red, soportando el análisis de decisión sobre intervención, con apoyo de los instrumentos de diagnósticos de estado y formulación de intervención, priorización y jerarquización.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y ALCANCES

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El inventario vial tiene como objetivos específicos realizar la recopilación de información de la malla vial o las sub-mallas en que se halla dividido, con el fin de establecer el estado y clasificación de los activos de la vía, en particular, geometría y composición de las vías, pavimento, señalización y drenajes pluviales; proponer alternativas de intervención necesarias para alcanzar un nivel de servicio aceptable y proponer una planeación y planificación para mantener dicho nivel. Adicionalmente, el IDU busca documentar las actividades desarrolladas para fortalecer la Memoria Institucional del IDU.

Para lograr los objetivos planteados dentro de los estudios como inventario y estrategias de mantenimiento, se establecen los siguientes alcances del trabajo:

- ❑ Definición de tramos de vías de características similares, segmentación y codificación de cada elemento.
- ❑ Materialización en campo del abscisado de cada tramo el cual servirá de referencia para todos los trabajos.
- ❑ Inventario de los elementos que conforman la vía y determinación de su geometría.
- ❑ Inventario de fallas del pavimento siguiendo inicialmente el Manual para la Clasificación de las Condiciones de Pavimentos y Tratamientos Recomendados suministrada por el IDU en los términos de referencia y posteriormente siguiendo los requerimientos para la utilización del programa de administración de pavimentos del IDU.
- ❑ Auscultación del pavimento existente mediante la ejecución de mediciones de rugosidad de la rodadura (IRI) y deflectometría.
- ❑ Exploración del subsuelo. Definición del perfil de la estructura de pavimento existente en cuanto a espesores de capas.
- ❑ Conformación de la base de datos con la información tomada en campo y de acuerdo con los atributos definidos por el IDU.

- ❑ Elaboración de una matriz de decisiones en función de la condición superficial y estructural del pavimento y del tipo de vía de acuerdo con el tráfico.
- ❑ Procesamiento de la información para obtener para cada segmento la condición superficial y estructural del pavimento y su clasificación por tránsito.
- ❑ Asignación de alternativas de intervención para mantener o recuperar su nivel de servicio.
- ❑ Priorización de la intervención.

3.2 ALCANCE FÍSICO DEL INVENTARIO

El alcance físico del inventario comprende los kilómetros por calzada indicados en la Tabla 3.1. La longitud inventariada está distribuida en un contrato inicial y un contrato adicional, el cual se originó luego de realizar el levantamiento inicial en donde se observó que faltaban determinados sectores en algunas localidades para obtener un total cubrimiento de la malla vial.

Tabla 3.1
Longitud Inventariada y Contratada

Localidad	Longitud Contrato Inicial (Km)	Longitud Contrato Adicional (Km)	Longitud total Contratada (Km)	Longitud Inventariada (Km)
Barríos Unidos	184		184	180.0
Teusaquillo	160		160	175.5
Chapinero	119		119	149.4
Santa Fe (Candelaria)	98		98	94.1
Candelaria (Santa Fe)				28.5
Mártires (Antonio Nariño)	252	10	262	113.8
Usaquén	193	132	325	311.4

Localidad	Longitud Contrato Inicial (Km)	Longitud Contrato Adicional (Km)	Longitud total Contratada (Km)	Longitud Inventariada (Km)
Antonio Nariño (Mártires)				91.8
Puente Aranda	306	17	323	281.1
Suba	243	553	796	611.9
Engativá	414	144	558	448.9
Kennedy	411	297	708	567.8
TOTAL	2380	1153	3533	3054.2

Como las longitudes contratadas se obtuvieron de la base digital entregada por Catastro, cuyos ejes aparecían continuos, sin tener interrupciones en parques o zonas verdes, senderos peatonales, vías proyectadas, etc., estas longitudes no coinciden con las inventariadas, siendo mayor en algunos casos y menor en otros. Esta situación comienza a clarificarse en el proceso de verificación que es en donde se comienza a modificar el plano digital para ajustarlo a lo que realmente hay en campo.

Para cada localidad se aplicó tanto en el inventario como en el análisis de la información, la metodología expuesta en este documento; los datos recolectados y generados están consignados en una base de datos adaptada a las necesidades de manejo y gestión del Instituto de Desarrollo Urbano. Para acceder a la información se tiene un software de manejo, el cual está en capacidad de permitir la consulta de cualquier registro o campo de la base de datos.

Adicionalmente se elaboraron informes ejecutivos por localidad, en los que se incluye un análisis estadísticos y mapas de los resultados del inventario y de la gestión.

3.3 MANEJO DE LA INFORMACIÓN DEL INVENTARIO SOP-97

Dentro de los alcances del proyecto, se encontraba la recopilación y ordenamiento de los resultados de los estudios realizados en vías de la malla vial principal y secundaria para la Secretaria de Obras Públicas en 1997, con el fin de obtener la mayor cantidad

de datos compatibles con los tomados en el presente inventario y alimentar la base de datos del IDU.

La información suministrada por el IDU en medio magnético (50 diskettes de 3 ½, 3 CDø y un ZIP drive), correspondía a los resultados de los diferentes estudios que realizaron 8 firmas consultoras para igual número de grupos de vías de la red principal y secundaria.

Para el manejo de esta información se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Revisión general que permitió establecer su contenido y organización.
2. Revisión detallada, a nivel de archivo, para conocer el formato, contenido y la estructura de la información.
3. Como resultado de esta revisión detallada se elaboró una base de datos donde se especifica la ubicación del archivo, formato y una descripción de su contenido.
4. La información consignada en archivos magnéticos de diversos tipos, se organizó en carpetas por temas, por grupos y por vías.

Con base en la revisión realizada se observaron algunos inconvenientes para el manejo de la información, como son: Existían diskettes y archivos dañados; no se encontraron archivos con descripción del contenido de CD o disket; la información estaba presentada en autocad, excel, acces, word, Power point) y otros formatos (CSV, FWD, CR5, RW5). En algunos casos en las tablas de excel no era claro el contenido o no existían encabezados en los listados de datos. La mayoría de la información presentada correspondía a fichas o formatos, gráficos, estadísticas, carteras de campo y de cálculo de nivelaciones, poligonales de amarre, datos de tránsito.

De las anteriores actividades se concluyó que no era posible cumplir con el objetivo planteado en los alcances, de extraer la información que fuera compatible y pudiera alimentar y complementar la base de datos del IDU, por las razones que se indican a continuación:

- La información no está completa para todos los grupos.
- Los estudios realizados por los diferentes grupos, no tienen entre sí el mismo alcance o se utilizan metodologías diferentes. En esto se recalca sobretodo la dificultad en unificar la metodología utilizadas en el inventario de fallas, la cual difiere entre grupos.
- La presentación de los resultados se hace para sectores definidos en función de cada característica estudiada; es decir que se muestra una sectorización por IRI, por deflexión, por fallas, entre otras.

Finalmente, ante la imposibilidad de extraer la información y alimentar la base de datos, se realizó solo una labor de ordenamiento de la información en carpetas y la elaboración de tablas en excel en los que se consignaron los datos de IRI y deflectometría para las diferentes vías.

4 METODOLOGÍA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La metodología utilizada para la recopilación de datos o inventario vial, incluye un proceso inicial en oficina para la definición de tramos y segmentación, verificación y marcación del abscisado en campo para referenciación del inventario, toma de información de los diferentes aspectos a inventariar y procesamiento de la información en oficina.

4.1 DEFINICIÓN Y CODIFICACIÓN DE TRAMOS

Con la ayuda del plano digital de Bogotá, se establecen los tramos de vías, definidos como el conjunto de pistas continuas que mantienen su nomenclatura y su sección y que no son intersectadas por vías principales.

Los tramos se subdividen a la vez en segmentos que se convierten en la menor unidad de división de un tramo vial; un segmento está comprendido entre dos nodos del sistema de la malla, entendiéndose como nodo la intersección de mínimo tres ejes de segmentos de vía. Con este criterio toda intersección física de ejes de vías aledañas con el eje principal del tramo en revisión, genera un nodo, incluyendo dentro de estas vías las vehiculares y peatonales, con o sin nomenclatura.

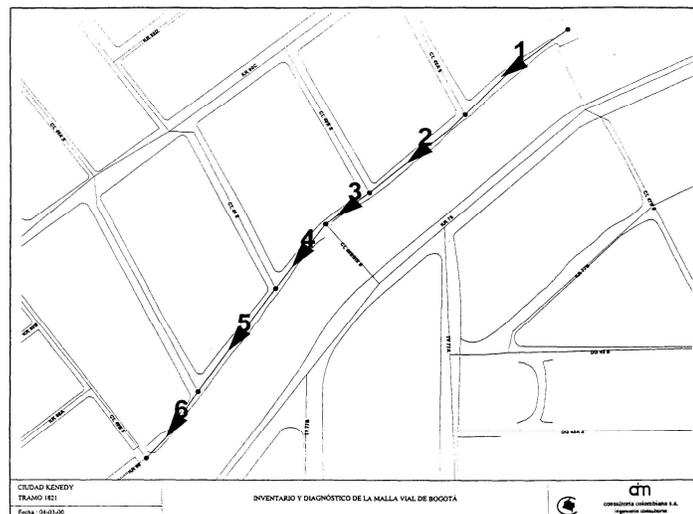


Figura 4.1
Codificación y Segmentación de Tramos

La información debidamente codificada, se consigna en planos y se entrega a la comisión de verificación en campo.

En la Figura 4.1, se muestra un ejemplo de los planos que se emiten para campo con la codificación y segmentación de los tramos.

4.2 VERIFICACIÓN Y DEMARCACIÓN DE TRAMOS

Las actividades de verificación y demarcación son desarrolladas en forma paralela por comisiones específicas y tienen como fin ajustar la información de oficina a la de campo y materializar dicha información luego de corregirla.

4.2.1 Verificación de tramos

El objetivo de esta actividad está enfocado a revisar en campo el proceso de segmentación y definición de tramos viales en los cuales se subdivide la red vial de una localidad en proceso de inventario, utilizando como herramienta los planos extraídos del mapa digital de Bogotá. Se corrige y complementa la información y posteriormente se editan los nuevos planos ajustados, que son distribuidos entre las diferentes comisiones para efectuar su trabajo.

Los trabajos de geometría, inventario de fallas, IRI y deflectometría se hacen con referencia a este abscisado. El sentido del abscisado coincide con la nomenclatura, es decir, aumentando hacia el norte y hacia el occidente.

La verificación debe realizarla un grupo de Auxiliares de Topografía, con sus implementos de trabajo y seguridad para registrar los datos necesarios.

Se debe contar como mínimo con la siguiente información para realizar esta labor:

- Planos generales de la localidad, zonificados y con los tramos indicados en forma legible a una escala grande de 1:4000 a 1:6000.
- Planos detallados de los tramos con su respectiva segmentación a una escala menor de 1:50 a 1:200 sobre los cuales se realizaba la verificación del tramo y se indicaban las respectivas correcciones.
- Listados de tramos generados en oficina, que identificaban la nomenclatura de las vías inventariadas y las longitudes de la base digital.

El procedimiento de trabajo es el siguiente:

- Localización geográfica del tramo, con base en los planos generales de la localidad.
- Revisión de la nomenclatura de las vías que lo conforman con base en los planos detallados de los tramos y los listados generales de la localidad.
- Corrección en los planos detallados, en caso de detectar algún cambio en la nomenclatura de alguna de las vías involucradas con el tramo, utilizando el siguiente código de colores: color rojo elimina o anula, color verde adiciona y color azul verifica o ratifica lo existente.

En forma conjunta se realiza la verificación de la segmentación indicada en los planos detallados de cada tramo; se revisa desde la intersección de la vía principal con la vía generadora, que debe ser la de menor nomenclatura del grupo de vías que intersectan el eje principal, y se continua verificando los nodos que definen el segmento y por lo tanto se revisaban los segmentos indicados en el plano. En esta revisión se puede dar lugar a las siguientes situaciones:

- Que existan mas segmentos de los definidos en el plano, situación en la que se procede a corregir el plano correspondiente, localizando los nodos y segmentos adicionales, dejando constancia escrita de las correcciones de nomenclatura y numeración de segmentos adicionales, con el código de colores establecido, sin modificar los existentes que coincidían con lo indicado en los planos.
- Que existan menos segmentos de los definidos en el plano, caso en el cual se corrige el plano guía, eliminando los nodos y los segmentos que no existan con el color rojo, sin modificar la numeración de los segmentos aledaños.
- Cuando se presenta una vía de dos o más calzadas, que por lo general en el plano de la malla vial solo presenta un eje, que coincide con el eje del separador central, la segmentación se determina para las calzadas en forma simétrica, de acuerdo a los nodos que generan las vías que convergen a cada una de las calzadas laterales externas, sin importar que no tengan el mismo punto de intersección, es decir que no tengan continuidad de una calzada a otra.

Con la segmentación definida, después se continúa con la verificación de todo el tramo, evitando dividir, o generar nuevos tramos, a menos que sea absolutamente necesario.

Los principales motivos que obligan a dividir un tramo son los siguientes:

- Cambio de sección transversal, como lo es cambiar de una calzada sencilla a una doble o múltiple.

- Intersección con una vía de primer orden que interrumpa el flujo vehicular completamente.

No es motivo de división del tramo la presencia de segmentos peatonales, de segmentos sin vía como zonas verdes, los cuales simplemente se reportan como tal, sin modificar la numeración interna de segmentos en el tramo.

En caso de ser necesaria la división de un tramo, las subdivisiones que se generan del mismo tienen la misma nomenclatura del original con subíndices que identifican su partición.

La generación de tramos adicionales está motivada por la presencia de nuevas vías vehiculares y peatonales que no estaban indicadas en los planos. Algunas de estas vías modifican la segmentación de tramos existentes, porque generan nuevas intersecciones y por lo tanto nodos adicionales, casos en los que se sigue alguno de los procedimientos indicados en la revisión de segmentación. La asignación de números para cada tramo adicional debe hacerse a partir de números mayores al último tramo generado para cada localidad y dependiendo de la cantidad de comisiones que participan en una localidad determinada; a cada una de ellas se le asignaba un número de partida para que no repitan las asignaciones para los tramos nuevos.

Con la información verificada en los planos respectivos se realizan las correcciones necesarias para que las actividades de inventario vial, fallas y evaluación del pavimento, tengan como base del inventario los mismos tramos de referencia.

4.2.2 Demarcación de Tramos Viales

Esta actividad se desarrolla en forma paralela al proceso de verificación de tramos en campo y tiene como objetivo medir e indicar en forma clara y ordenada las abscisas en un tramo verificado, con una distancia mínima de cincuenta metros a lo largo de cada segmento de vía vehicular. Se mide la longitud de cada uno de estos segmentos, dejando referencias escritas en los costados de las vías a inventariar.

Este trabajo se realiza con comisiones conformadas por tres personas como mínimo, con los implementos de medición necesarios, pintura indeleble y brochas o elementos para pintar sobre el piso o pavimento, elementos de señalización provisional y de seguridad, para desplazarse por las vías vehiculares.

La demarcación se hace con referencia los planos verificados y una vez ubicadas en el tramo correspondiente, inician la medición de la vía a inventariar a partir del cruce de esta, con la vía que la intersecta que tiene menor nomenclatura en el tramo. Las abscisas se indican con pintura cada cincuenta metros al costado derecho del sentido

de medición y debe corresponder al sentido de avance de la nomenclatura de las vías que intersectan la vía principal; en cada cruce o intersección con una vía se mide y se deja indicada la abscisa correspondiente.

Cuando se presentaban situaciones extraordinarias en campo como las siguientes, se deben tener las siguientes consideraciones:

- Si dentro de un tramo se encuentran segmentos que correspondan a vías peatonales, zonas verdes o no existe vía, solamente se indica las abscisas de los cruces inicial y final y se continuaba con el abscisado en los segmentos siguientes.
- Si a lo largo de un tramo se encontraban diferentes tipos de superficie, el abscisado debía ser continuo, sin interrumpir en los sitios que se presente dicho cambio.

Como resultado final de este proceso quedan las referencias físicas en campo de la medición y abscisado de los segmentos y tramos en campo y un reporte final de cada comisión con una relación de los tramos demarcados. Los datos que reporta la comisión de demarcación y que consigna en el formato que se muestra en la Figura 4.2, son los siguientes:

- Fecha
- Tramo No.
- Código
- Nomenclatura Principal
- Calzada No
- Nomenclatura Inicia
- Nomenclatura Termina
- Longitud Del Tramo
- Longitud Acumulada

4.3.1 Geometría

Esta parte del inventario está enfocada a determinar y recolectar las dimensiones y elementos que conforman la sección transversal y la longitud de cada uno de los segmentos de los tramos viales vehiculares, luego de estar definidos y verificados.

Esta labor la realizan comisiones de campo integradas por tres personas, como mínimo, incluyendo un coordinador y dos auxiliares; se debe contar con elementos para medir longitudes y pendientes, cintas, nivel Abney, entre otros; formatos que permitan registrar la información requerida o recolectores de datos portátiles tipo Palm Pilot IIIe (Figura 4.3) con el software necesario para esta actividad; implementos de seguridad y señalización provisional, para el personal que se desplaza por las vías vehiculares.

La información de referencia con que debe contar cada comisión es la siguiente:

- planos detallados de cada tramo, previamente verificados con datos de nomenclatura y contornos de calzadas de acuerdo a la base digital obtenida de catastro;
- planos generales de la localidad, los cuales para mayor claridad y facilidad de trabajo para el inventario, se deben zonificar, delimitando cada zona por vías principales y
- listados de tramos de la localidad con la información de nomenclatura y longitud establecida por la base digital.

El proceso de medición de cada tramo se realiza registrando la información para cada segmento vehicular, en forma secuencial, teniendo como guía el sentido de avance del abscisado que corresponde al avance de la nomenclatura de las vías que intersectan la vía principal del tramo inventariado.

Las medidas de la sección transversal se deben realizar de izquierda a derecha partiendo desde el extremo del andén, registrando anchos, altura de los sardineles, número de carriles en cada calzada y tipo de superficie para los andenes y para la calzada, de acuerdo con la Tabla 4.1.

Tabla 4.1
Códigos y Tipos de Materiales en Andenes y Calzadas

	CODIGO	DESCRIPCION
Andén	0	No existe anden
	1	Concreto
	2	Adoquín
	3	Tableta
	4	Mixtos (Area verde y cemento)
	5	Otros
Calzada	1	Rígidos
	2	Flexibles
	3	Mixtos
	4	Adoquín concreto
	5	Adoquín arcilla
	6	Afirmado
	7	Construcción
	8	Tierra
		Atípicos

Longitudinalmente, se registran las abscisas de inicio y terminación de cada segmento y la pendiente longitudinal de la calzada.

Adicionalmente se registra la presencia de bahías, bermas y cunetas, de las cuales se determinaba su localización en la calzada correspondiente, costado y abscisas, sus dimensiones y el tipo de superficie o material con el que estaban construidas. En el caso de las cunetas se determina también el tipo de sección transversal.

Cuando la sección es de calzada sencilla, la información se registra diferenciando únicamente los andenes por el costado, comenzando por el izquierdo, numerado como uno y el derecho como dos. En secciones de calzadas múltiples, los andenes, los separadores y las calzadas se numeran consecutivamente de acuerdo a su ubicación de izquierda a derecha; en estos casos se levanta la información longitudinal en el orden de numeración de las calzadas.

La información tomada en ordenadores portátiles, debe registrarse y ordenarse, mínimo con los siguientes datos:

- Identificación del tramo.
- Sentido del tráfico relacionado con el sentido del abscisado.
- Número de segmentos.

- Tipo de sección transversal.

Información de los segmentos:

- Nomenclatura principal y la generadora.
- Tipo de vía, vehicular, peatonal, privada, etc.
- Mediciones realizadas y los otros datos de abscisas tomados de las referencias de campo, para cada uno de los elementos que conformaban la sección transversal, comenzando por los del extremo izquierdo.



Figura 4.3

Modelo de Ordenador Electrónico (Palm Pilot)

El uso de ordenadores electrónicos puede estar restringido por diferentes razones, seguridad personal para los encargados del inventario, entre otras, lo cual conlleva al uso de formatos. Estos deben permitir la recolección de la información necesaria, registrándola en orden ascendente, de la misma forma que en el recolector portátil, referenciándose al número de segmento y comenzando por el elemento del extremo izquierdo. Cuando se tengan secciones de calzadas múltiples, la información de bahías, bermas y cunetas de cada calzada se levanta completamente por calzada, siguiendo el orden de numeración de ellas en la sección.

La información inventariada diariamente en los recolectores portátiles, se descarga en un equipo central, que debe contar con los aditamentos necesarios para recibir y almacenar los datos. De este proceso se genera un reporte con los tramos inventariados, los segmentos y si la información registrada ha sido incluida con los datos completos; sobre este reporte el encargado de la comisión debe explicar las situaciones extraordinarias y las inconsistencias que reflejaba el reporte.

Cuando se realiza el inventario en formato, la comisión encargada presenta un reporte en un formato, en donde resume la labor ejecutada y explica las situaciones especiales.

El paso final, es consignar toda los datos recopilados en la base de datos, para crear el soporte de los demás componentes del inventario, los cuales estarán ligados con esta información.

4.3.2 Drenajes

Este inventario tiene como finalidad establecer la existencia y estado de los elementos de drenaje pluvial visible. Básicamente se trata de registrar la información necesaria sobre la localización, tipo y estado de los sumideros.

Esta labor la efectúa un auxiliar de ingeniería, contando con elementos de medición, un recolector portátil de datos con el software necesario para esta actividad o en su defecto formatos que permitieran registrar la información requerida.

Se tiene como información de referencia:

- Planos detallados de cada tramo, previamente verificados;
- Planos generales de la localidad, con zonificación y
- Listado de los tramos de la localidad a inventariar con la información de nomenclatura.

Para inventariar los sumideros se clasifican en cuatro tipos generales para facilitar su identificación:

Tipo 1. Longitudinal horizontal. Corresponde a los sumideros en los cuales la disposición de la rejilla presenta el costado mas largo, paralelo al eje de la vía y la cara externa de la misma es horizontal, quedando la caja ubicada dentro de la calzada.

Tipo 2. Longitudinal vertical. Corresponde a los sumideros en los cuales la disposición de la rejilla presenta el costado más largo, paralelo al eje de la vía y la cara externa de la misma es vertical, o presenta una abertura vertical en el sardinel, quedando la caja ubicada por fuera de la calzada, en él anden o después del sardinel.

Tipo 3. Longitudinal mixto. Corresponde a los sumideros en los cuales la disposición de la rejilla presenta el costado más largo, paralelo al eje de la vía y presenta dos aberturas, una horizontal y la otra vertical, con rejilla en juntas caras o en la horizontal. Con estas características la caja queda ubicada parcialmente dentro y fuera de la calzada, este sumidero corresponde a una combinación de los tipos 1 y 2.

Tipo 4. Transversal. Corresponde a los sumideros en los cuales la rejilla presenta el costado más largo, normal u oblicuo al eje de la vía y la cara externa de la misma es horizontal.

La información registrada es la siguiente:

Ubicación de los sumideros por segmento, abscisa correspondiente y costado;

- tipo y la longitud de la rejilla;
- estado de la caja y de la rejilla;
- funcionalidad dependiendo de la operación del sumidero, su ubicación y su capacidad

Esta última labor debe efectuarla auxiliares de ingeniería con conocimientos básicos de drenajes pluviales, que por observación directa y consulta con los habitantes cercanos a la vía inventariada, evalúen esta situación.

La localización se realiza secuencialmente en los segmentos que conformaban un tramo vehicular; en los casos en donde existían varias calzadas, se debe inventariar calzada por calzada de izquierda a derecha, de acuerdo a la secuencia de numeración establecida para elementos de la sección transversal en geometría.

El formato que se utiliza cuando el uso del equipo es restringido, se muestra en la Figura 4.4

aproximación a pasos a nivel, Demarcaciones de límite de estacionamiento y Demarcaciones de uso de canal

Tipo 2. Marcas Transversales que corresponden a Demarcaciones de pare o Demarcaciones de pasos peatonales.

Tipo 3. Marcas de Sardineles, bordillos y objetos, dentro de la vía y adyacentes a la vía.

Tipo 4. Reductores de velocidad que corresponden a Taches, Franjas y Resaltos.

Tipo 5. Símbolos o letreros en el pavimento.

Como información de referencia se debe tener: planos generales de la localidad inventariada, planos detallados de los tramos verificados y listados de los tramos con información de nomenclatura.

El proceso de trabajo consiste en diligenciar el formato de acuerdo a las señales y marcas viales encontradas en los segmentos de un tramo vehicular. En el sentido de avance del abscisado se recorre un segmento registrando las señales y marcas viales encontradas en los costados o dentro de la calzada, determinando el tipo, la abscisa, costado y el estado en que se encontraban.

Los formatos diligenciados de una localidad se revisan y digitan para incorporarlos a la base de datos, en donde se validan con la información existente de geometría.

4.3.4 Inventario de Fallas

Para realizar el inventario de daños en el pavimento, se siguió inicialmente la metodología planteada en el *Manual para la Clasificación de las Condiciones de Pavimentos y Tratamientos Recomendados*, suministrado por el IDU. Posteriormente, con la perspectivas sobre el nuevo programa de administración de pavimentos que la firma TNM está adaptando para el IDU, se vio la necesidad de retomar los datos de fallas en el terreno, con la metodología que se describe más adelante.

4.3.4.1 Método basado en el Manual para la Clasificación de las Condiciones de Pavimentos y Tratamientos Recomendados

Este método utilizado por el Banco Mundial y suministrado por el IDU en los términos de referencia de este proyecto, consiste en identificar y clasificar los daños

superficiales de pavimentos flexibles, mixtos y rígidos. La cuantificación de las fallas se realiza a través de dos parámetros que son la severidad y la extensión.

- La severidad se refiere a la gravedad de la falla y basada en la experiencia previa, tiene tres niveles: baja, moderada y alta.
- La extensión indica el tamaño del área que presenta la falla, ajustada a tres rangos que son: menos del 20% (que se encuentra ubicada solo en áreas localizadas), entre el 20% y 50% (puede estar ubicada uniformemente a lo largo de la sección o en áreas localizadas) y mayor al 50% (ubicada uniformemente a lo largo de toda la sección).

En el Manual para la Clasificación de las Condiciones de Pavimentos y Tratamientos Recomendados (ver Anexo 4), se contemplan los tipos de fallas que se describen a continuación a excepción de las superficies en adoquín o afirmado:

Tabla 4.2
Clasificación de Fallas para el Inventario

CODIGO FALLA	CODIGO SUPERFICIE	DESCRIPCIÓN
Pavimentos rígidos		
1	1	Peladuras
2	1	Pulimento de la superficie
3	1	Descascaramiento fisuras capilares
4	1	Bache - desintegración total
5	1	Hundimiento ó Depresión
6	1	Dislocamiento
7	1	Fisura longitudinal
8	1	Fisuramiento transversal
9	1	Fisuramiento diagonal y de esquina
10	1	Losas subdivididas
11	1	Deficiencias de material de sello
12	1	Desportillamiento
13	1	Levantamiento
Pavimentos flexibles o mixtos		
14	2	Peladuras
15	2	Exudación de asfalto
16	2	Baches descubiertos
17	2	Desintegración de bordes
18	2	Hundimiento
19	2	Corrupciones y desplazamientos

CODIGO FALLA	CODIGO SUPERFICIE	DESCRIPCIÓN
20	2	Ahuellamiento
21	2	Fisuramiento longitudinal
22	2	Fisuramiento transversal
23	2	Fisuramiento de borde
24	2	Fisuramiento en bloque
25	2	Fisuramiento piel de cocodrilo
26	2	Fisuramiento por reflexión de juntas
Pavimentos en adoquines		
27	4	Deterioro del sello de arena
28	4	Desintegración del adoquín
29	4	Desniveles en la superficie
30	4	Hundimientos por reparación de redes u obras específicas
Otro tipo de consideración		
31	1	No fallas en pavimentos rígidos
32	2	No fallas en pavimentos flexibles o mixtos
33	4	No fallas - adoquín en concreto
34	5	No fallas ó adoquín en arcilla
35	6	No fallas ó Afirmado

Este trabajo lo realizan comisiones conformadas por personal técnico previamente capacitado en el método de evaluación y en la captura de datos ya sea mediante formatos apropiados o utilizando un ordenador electrónico conocido como Palm Pilot. El software adaptado a los ordenadores electrónicos, no solo permite la recolección de datos sino su organización y validación de acuerdo a los criterios de los métodos. En la Fotografía 1, se puede observar la comisión trabajando en la toma de datos.

Con base en el inventario de falla se calcula el Índice de Falla, en función del tipo de falla y de su severidad y extensión, el cual sirve para determinar el Índice de Condición del Pavimento, con el que se definirá el tipo de intervención requerida para cada vía.



Fotografía 1
Comisión operando el equipo Palm Pilot durante el Inventario de Fallas

Se tiene como información de referencia:

- Planos detallados de cada tramo, previamente verificados;
- planos generales de la localidad, con zonificación y
- listado de los tramos de la localidad a inventariar con la información de nomenclatura.

El procedimiento que se lleva es el siguiente:

- Con ayuda de los planos y los listados se ubica el tramo que se va a inventariar.
- Se realiza un recorrido con la observación minuciosa de las fallas que se presentan.
- Se anotan las fallas que se presenten analizándolas para todo el segmento, definiendo su severidad promedio y extensión referida al área de la calzada estudiada.
- En los formatos o en el ordenador, se registran los datos de identificación del segmento, código de las fallas (ver cuadro), rango de extensión (0-20%, 20 a 50% ó >50%) y condición de severidad (baja, moderada, alta).

Los datos registrados en ordenador se descargan directamente en el equipo central, mientras que los que se encuentran en formatos se digitan en la misma forma que la información sacada del ordenador.

Tabla 4.3
Tipos de Fallas para el Inventario con toma de Áreas

CODIGO FALLA	CODIGO SUPERFICIE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Pavimentos rígidos			
4	1	Bache ó desintegración total	m ²
6	1	Dislocamineto	m ²
7	1	Fisura longitudinal	ml
8	1	Fisuramiento transversal	ml
9	1	Fisuramiento diagonal y de esquina	m ²
10	1	Losas subdivididas	m ²
11	1	Deficiencias de material de sello	ml
Pavimentos flexibles o mixtos			
16	2	Baches descubiertos	m ²
18	2	Hundimiento	m ²
19	2	Corrupciones y desplazamientos	m ²
20	2	Ahuellamiento	m ²
21	2	Fisuramiento longitudinal	ml
22	2	Fisuramiento transversal	ml
24	2	Fisuramiento en bloque	m ²
25	2	Fisuramiento piel de cocodrilo	m ²

- La información se consignó en la base de datos y se obtuvo el porcentaje de área afectada con relación al área del segmento.
- Con los resultados del inventario en cada segmento, se calcula su Índice de Falla del pavimento. Este valor es el que finalmente se consigna en la base de datos y se utiliza para determinar la condición superficial de los pavimentos

4.3.5 Levantamiento de Tramos Atípicos

Se denominaron tramos atípicos aquellos en los cuales se combinan varios tipos de superficies sobre la misma calzada. En estos casos, en que la metodología no se ajusta ya que está establecida para un tipo de superficie igual, se realizó un trabajo particular con los siguientes pasos:

- Levantamiento en sentido transversal del porcentaje y tipo de superficie.
- Levantamiento en sentido longitudinal del porcentaje y tipo de superficie

- Levantamiento de fallas en cada sección encontrada con respecto al área total de la calzada.

El tratamiento de estos segmentos se hizo en un caso particular ya que significaban un porcentaje muy bajo con respecto a toda la malla estudiada. La unificación de la superficie depende de la planificación del Instituto.

4.3.6 Índice de rugosidad

La unidad de medida utilizada para determinar la funcionalidad del pavimento es el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), el cual fue aceptado como estándar de medida de regularidad superficial en las carreteras por el Banco Mundial en 1986. Es una medida de la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, expresada en metros por kilómetros (m/Km).

La medición del IRI se debe hacer con equipos apropiados y reconocidos para esta labor. Dentro del contrato 617/99 se utilizaron para hacer las mediciones de rugosidad el Romdas que es un aparato de altos rendimientos y el Merlin, que tiene un funcionamiento más sencillo con menores rendimientos.

4.3.6.1 Equipo ROMDAS

El equipo Romdas se utiliza en tramos en donde existe continuidad y donde el vehículo que lo porta, pueda alcanzar la velocidad constante de medición para la que ha sido calibrado

Este aparato fue desarrollado y construido por *Highway and Traffic Consultants limited*, el cual consta básicamente de un BUMP INTEGRATOR A1471 y un contador de unidades A1473. El equipo ROMDAS mide los movimientos del eje trasero del vehículo por medio de un Bump Integrador (BI), en términos de conteos/metro, y son colectados por medio del programa de computadora Romdas 34, el cual lee y almacena los datos que registra el BI. En la Figura 4.7 se muestra un esquema del equipo Romdas y su instalación.

Los conteos se traducen en unidades de IRI mediante una ecuación que se determina previamente al correlacionar las mediciones hechas en conteos/m por el Romdas y las mediciones directas con mira y nivel, utilizando pistas de ensayo.

Las mediciones con Romdas se hacen manteniendo las siguientes condiciones del equipo para garantizar una alta confiabilidad de los datos:

Presión inflado llantas: 37 lb / Pulg² (Opcional)

Velocidad operación: 32 KPH (ó 15 KPH)

Peso del vehículo: Conductor, operador y llanta de repuesto.

Combustible : Tanque lleno.

Estado del vehículo: La suspensión y alineación en perfectas condiciones.

Estado llantas: Balanceadas, alineadas y en buen estado.

Este equipo proporciona datos continuos, los cuales se analizan cada 25 metros. Tiene como limitante la velocidad a la que debe circular para la captura de datos, la cual no se logra desarrollar en algunos tramos por sus características de longitud y restricciones físicas.

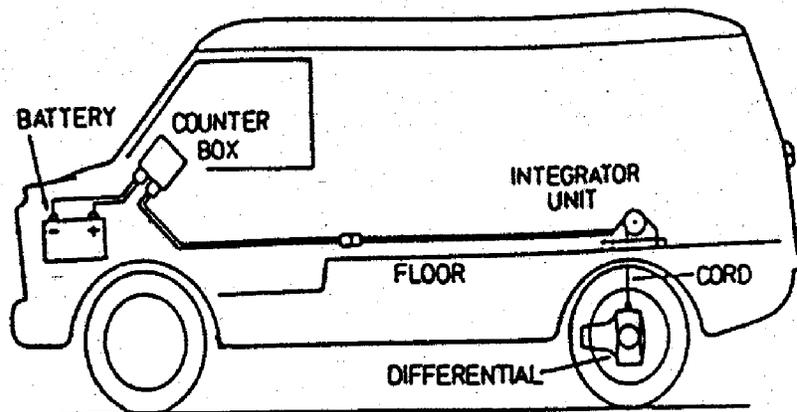


Figura 4.7
Esquema del Equipo Romdas

4.3.6.2 Equipo Merlin

Este equipo se emplea en las bocacalles y en las calles que presentan longitudes menores a 100 metros. Este es un aparato simple y práctico de medición de rugosidad en carreteras con autorización del TRRL.

El Merlin (Farnell A1460), 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 δ en milímetros que luego es relacionada en forma directa con el IRI, en unidades internacionales. Aunque su rendimiento es menor, se ha usado con éxito en nuestro país y se puede utilizar en cualquier tipo de vía ya que no requiere de condiciones específicas. La Figura 4.8 muestra un esquema del equipo Merlin.

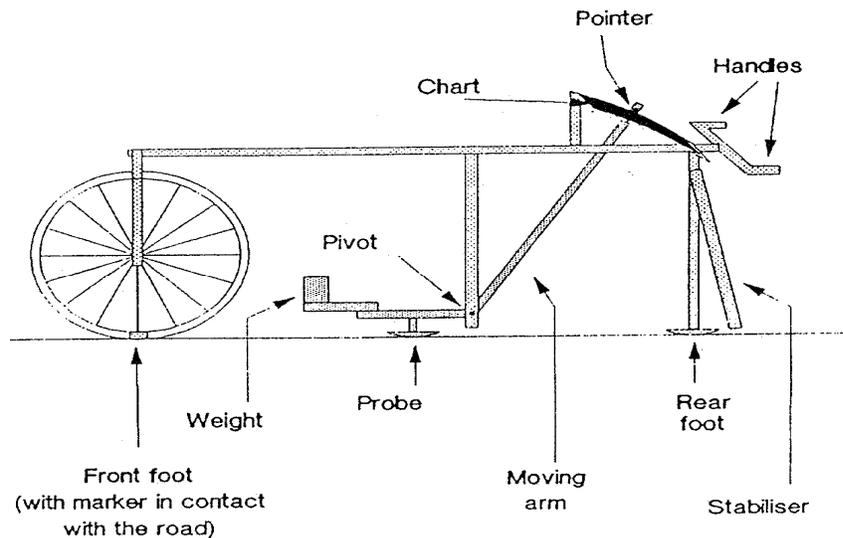


Figura 4.89

Esquema del Equipo Merlin

4.3.6.3 Procedimiento para la toma de información

El trabajo lo realiza una comisión conformada por auxiliares de ingeniería o laboratoristas inspectores, con la supervisión de un Ingeniero.

Se tiene como información de referencia: Planos detallados de cada tramo, previamente verificados; planos generales de la localidad, con zonificación y listado de los tramos de la localidad a inventariar con la información de nomenclatura.

El equipo recorre los tramos en el sentido en que le resulte conveniente por flujo vehicular o por rendimientos. Se toma nota de estas condiciones para que coincida el sentido en que se presentan los resultados con el abscisado del tramo.

La recopilación de la información se hace directamente en equipo y de éste se obtiene un archivo magnético, en el caso del Romdas o un formato con el Merlin.

Las mediciones de campo, se correlacionan con mediciones directas hechas con equipos de topografía y se traducen en mediciones de IRI.

4.3.7 Deflectometría

Las deformaciones producidas en el pavimento por la acción de una carga estandarizada, han sido estudiadas para determinar la capacidad estructural del pavimento en relación con el número de ejes equivalentes en el periodo de diseño. Las mediciones de estas deflexiones o deflectometría, se deben realizar para cada una de las pistas en estudio, con el fin de determinar en última instancia, la vida útil del pavimento. Las deflexiones se miden comúnmente en nuestro medio con la viga Benkelman, que es un equipo mecánico sencillo, aunque se están aplicando nuevas técnicas como el uso del Folling Weight Deflectometer (FWD), de mayor rendimiento.

4.3.7.1 Mediciones con Viga Benkelman

La viga Benkelman, consta básicamente de una parte fija o estructura portante la cual está soportada por tres apoyos que descansan sobre la superficie del pavimento, y una parte móvil, que constituye los brazos de medida, está conectada a la parte fija por medio de un pivote de giro. Uno de los extremos de los brazos de medida hace contacto con la superficie del pavimento en el sitio en que se desea medir la deflexión y el otro hace contacto con un deformímetro montado sobre la parte fija, cuya lectura debe multiplicarse por la constante de la viga o relación entre los dos sectores en que el pivote divide el brazo, con el fin de obtener el valor real de deflexión.

Se utiliza un camión de dos ejes con una carga en el eje trasero estandarizada en 8.2 ton distribuida por igual en cada una de las dos ruedas, dispuestas en sistema doble y con llantas infladas a una presión 80 psi.

En la Fotografía 2, se puede observar la viga y los elementos que la componen, en el momento de la ejecución del ensayo.



Fotografía 2

Medición de Deflexiones en el Pavimento con Viga Benkelman

4.3.7.2 Procedimiento para la toma de información en campo

El trabajo lo realiza una comisión conformada por auxiliares de ingeniería o laboratoristas inspectores, con la supervisión de un Ingeniero.

Se tiene como información de referencia: Planos detallados de cada tramo, previamente verificados; planos generales de la localidad, con zonificación y listado de los tramos de la localidad a inventariar con la información de nomenclatura.

Se debe contar con los equipos de medición y carga debidamente calibrados. y equipos necesarios para seguridad en las vías.

La recopilación de la información se hace en formatos adecuados, en los que se hace referencia a la identificación del sitio de medida, abscisa, D_0 , D_{25} y temperatura ambiente y del pavimento.

Las mediciones de deflexiones se programan cada 50 metros, alternando carriles a lo ancho de la calzada, siguiendo el abscisado demarcado previamente. Se toman las lecturas finales en los deformímetros, en el eje (D_0) y a 25 cm del eje (D_{25}).

Cada 500 m se miden también las deflexiones bajo la huella interior, para verificar que esta fuera inferior a la medida en la huella exterior. Simultáneamente con las medidas de deflexión, se toma nota sobre temperatura ambiente y del pavimento.

Con estos datos se calcula la deflexión corregida por temperatura y por espesor mediante la siguiente ecuación:

$$D_c(20^\circ C) = \frac{DT}{\left(1 + 8 \times 10^{-4} \times h \times (T - 20)\right)}$$

Donde:

DT: Deflexión del punto para temperatura promedio del pavimento en el momento del ensayo.

h(cm): espesor promedio de la capa asfáltica.

Se pueden realizar los cálculos de deflexión corregida utilizando el software desarrollado por la Universidad del Cauca, mediante el módulo Deflex del INPACO.

La deflexión es un dato asignado a cada segmento que se incluye en la base de datos general.

4.3.8 Determinación de Espesores

Dentro de la auscultación del pavimento se encuentra la determinación de los espesores de pavimentos existentes, con lo cual se quiere tener un conocimiento de la capacidad estructural del pavimento ante las cargas a las cuales está sometido.

Para determinar los espesores de pavimentos existentes, se pueden utilizar métodos directos e indirectos. La exploración directa consiste en ejecutar apiques con las dimensiones adecuadas para facilitar la determinación de espesores y la toma de muestras de la subrasante. La ejecución de apiques tiene como limitación que se requiere de un gran número de ellos para tener un cubrimiento adecuado de la malla, además que se trata de un método destructivo; sin embargo la información que se obtiene es confiable.

Los métodos indirectos de exploración como el Georadar, empleado en el presente proyecto, tiene como ventaja los altos rendimientos, información continua a lo largo de las pistas y que se trata de métodos no destructivos.

4.3.8.1 Georadar

El Georadar utilizado en este proyecto, consta de 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 viaja hasta que se encuentra con una discontinuidad dieléctrica, la cual puede ser debida a un cambio de material (una nueva capa del pavimento), humedad, presencia de huecos de aire o cualquier otro fenómeno por el que cambie la constante dieléctrica del material. Una parte de la

es reflejada por esta discontinuidad y el resto continúa su camino hacia el interior del pavimento. Controlando con gran exactitud el tiempo de viaje de la onda desde su inicio hasta la recepción de la reflejada es posible la determinación de los espesores de cada capa de pavimento o la distancia a la que se encuentra alguna incidencia (armaduras, grietas, despegue de capas, huecos, presencia de humedad, etc).

Es necesario para la determinación de los espesores o distancias, el conocimiento de la constante dieléctrica del material; según la precisión con que se tenga esta constante, más o menos precisa será la determinación de cualquier espesor o distancia.

El equipo consta de dos antenas con lo que se obtienen simultáneamente dos perfiles continuos, uno en cada rodada del carril auscultado. La profundidad de auscultación mínima fue del orden de 60 cm y máxima de 100 cm, dependiendo del tipo de antena y de la composición del pavimento. La velocidad del vehículo durante la realización del

ensayo fue de hasta 70 KPH, adquiriendo 50 lecturas de la estructura del pavimento por segundo. En la Fotografía 3, se muestran los radares, adaptados a un vehículo.

Para verificar los resultados obtenidos con el Georadar en el presente proyecto, se realizaron mediciones de prueba en las Paralelas Oriental y Occidental de la Autopista, en donde se contaba con información de apiques realizados dentro del contrato 190/99 celebrado entre el IDU y el Consorcio Estudios Técnicos - Consultoria Colombiana S.A. En el Anexo 2 se presentan los resultados de este ejercicio, presentados en una gráfica en donde se han localizado los perfiles estratigráficos obtenidos de la exploración apiques y las líneas que marcan los espesores de capas obtenidas con el Georadar.



Fotografía 3 ó Equipo de Georadar

4.3.8.2 Apiques

La determinación de espesores se puede realizar con la ejecución de apiques exploratorios, excavados con las dimensiones en planta y en profundidad, necesarias para medir las capas de la estructura del pavimento, sin causar mayor destrucción. De esta manera se tiene un menor cubrimiento pero mayor exactitud en las mediciones, comparado con los métodos indirectos.

En el presente inventario fue necesario realizar apiques en los sectores en donde no fue posible operar el Georadar por limitaciones del equipo. Los puntos de exploración se distribuyeron estratégicamente para obtener la mayor cobertura, aproximadamente cada 500 m o proporcionalmente, como indican los términos de referencia.

4.4 MANEJO DE LOS RESULTADOS DEL INVENTARIO

4.4.1 Base de Datos

La base de datos se encuentra en lenguaje *accés* y está conformada por una serie de tablas en las que se han consignado los datos inventariados y un grupo de consultas que incluyen los cálculos y análisis que se realizan con dichos datos.

Las tablas y consultas están clasificadas por temas específicos y relacionadas entre sí por un identificador único de cada segmento (*CC_ID*), el cual está compuesto por el código de la localidad y un consecutivo, garantizando que no se repita este código en toda la ciudad.

La conformación y organización de la base de datos se realizó en conjunto con la empresa TNM LTD. quienes tuvieron a su cargo las siete localidades restantes, de manera que se tuviera el mismo tipo de información para toda la ciudad en una base unificada para el IDU.

4.4.2 Transferencia de Información y Verificaciones de Consistencia

La información recolectada en las Palm Pilot se descarga directamente en un PC, en el que existe una aplicación para capturar los datos y convertirlos en archivos; la información que se ha tomado manualmente es digitada directamente.

Existe otro tipo de información que se encuentra en archivos de excel en formatos individuales por tramo, como son las mediciones de rugosidad, deflectometría y georadar, para lo cual se utilizan subrutinas capaces de extraer la información requerida y organizarla en la base de datos.

Luego del descargue de la información en oficina, ésta se somete a una serie de verificaciones de consistencia como son existencia de los tramos, segmento, consistencia entre la información levantada por las comisiones de fallas como por las de geometría, drenajes y señalización

Se realizan otro tipo de chequeos para verificar la veracidad de la información, como la detección de valores fuera de los rangos normales, entre otros.

4.4.3 Cálculos y Análisis

Con base en los datos del inventario en todas sus áreas, se realizan los siguientes cálculos y análisis mediante la herramienta de *consultas* de la base de datos:

- Cálculo del IRI para cada segmento
- Cálculo de la Deflexión para cada Segmento en pavimentos flexibles
- Cálculo del espesor efectivo en pavimentos rígidos.
- Cálculo del Índice de Falla en función de los tipos de falla y su respectiva severidad y extensión de acuerdo a los valores asignados en el Manual de Clasificación de Daños.
- En función del IRI y del Índice de Fallas, se calcula el Índice de Condición de Pavimento (ICP).
- Se asigna a cada segmento la jerarquía de las vías en función de su geometría y el número de ejes equivalentes.
- De acuerdo con las condiciones de la matriz de estado, se clasifica la vía y se asignan las intervenciones del caso.
- Para el programa de administración de pavimentos se calcularon otros parámetros adicionales, como son, número estructural y el módulo de reacción conjunto de la subrasante.

4.4.4 Cálculo del Índice de Falla

El Índice de Falla se calcula con base en el inventario de fallas realizado para cada segmento. Cada tipo de falla tiene asignado un peso y los factores por severidad y extensión, tienen un valor en particular.

La ecuación propuesta en la metodología del IDU para el cálculo de IF es la siguiente:

$$IF = \sum p_i * (e_i + s_i)$$

Donde:

IF = Índice de Falla

P_i = Peso por tipo de falla (ver tabla)

e_i = Factor por extensión

Extensión entre 0 y 20% (1) = 1

Extensión entre 20 y 50% (2) = 2

Extensión mayor que 50% (3) = 5

s_i = Factor por severidad

Severidad Baja (B) = 1

Severidad Moderada (M) = 2

Severidad Alta (A) = 5

Los pesos de por tipo de fallas se describen en la siguiente tabla.

Tabla 4.4
Pesos por Tipo de Falla

Código de falla	Descripción	Peso
1	Peladuras	0.5
2	Pulimento de la superficie	0.5
3	Descascaramiento fisuras capilares	0.5
4	Bache - desintegración total	5
5	Hundimiento ó Depresión	5
6	Dislocamiento	1
7	Fisura longitudinal	1
8	Fisuramiento transversal	1
9	Fisuramiento diagonal y de esquina	1
10	Losas subdivididas	5
11	Deficiencias de material de sello	0.5
12	Desportillamiento	1
13	Levantamianeto	5
14	Peladuras	0.5
15	Exudación de asfalto	0.5
16	Baches descubiertos	5
17	Desintegración de bordes	0.5
18	Hundimiento	5

Código de falla	Descripción	Peso
19	Corrupciones y desplazamientos	0.5
20	Ahuellamiento	5
21	Fisuramiento longitudinal	1
22	Fisuramiento transversal	1
23	Fisuramiento de borde	0.5
24	Fisuramiento en bloque	0.5
25	Fisuramiento piel de cocodrilo	5
26	Fisuramiento por reflexión de juntas	1
27	Deterioro del sello de arena	0.5
28	Desintegración del adoquín	0.5
29	Desniveles en la superficie	5
30	Hundimientos por reparación de redes u obras específicas	5
31	No fallas en pavimento rígido	0
32	No fallas en pavimento flexible	0
33	No fallas adoquín concreto	0
34	No fallas adoquín arcilla	0
35	No fallas afirmado	0

A continuación se presenta a manera de ejemplo, el inventario de fallas para un segmento determinado, de la manera en que se consigna en hojas de cálculo:

Tramo	Segmento	Calzada	Código de falla	Severidad	Extensión
143	1	2	19	M	1
143	1	2	14	A	3
143	1	2	15	B	2
143	1	2	18	A	1
143	1	2	20	B	2
143	1	2	21	A	3
143	1	2	22	A	1
143	1	2	23	A	2

El cálculo se realiza mediante aplicaciones con macros en los archivos de *accs* y se asigna el valor de IF para cada segmento en la base de datos central.

Tramo	Segmento	Calzada	Código de Falla	Peso	Severidad	Extensión	Producto
143	1	2	19	0.5	2	1	1.5
143	1	2	14	0.5	3	5	4
143	1	2	15	0.5	1	2	1.5
143	1	2	18	5.0	3	1	20
143	1	2	20	5.0	1	2	15
143	1	2	21	1.0	3	5	8
143	1	2	22	1.0	3	1	4
143	1	2	23	0.5	3	2	2.5
						Σ	57

El Índice de Falla para el Tramo 143, segmento 1, calzada 2 es de 57.

4.4.5 Cálculo y Asignación del IRI para cada segmento

Para cada segmento se debe asignar un valor de Índice de Rugosidad (IRI) obtenido de mediciones directas o por extrapolación. Los equipos utilizados para medición de IRI, arrojan los datos que registran los dispositivos con los que miden desplazamientos verticales, ya sean conteos, como el caso del ROMDAS o de marcas como se obtienen con el Merlin. Estos datos se correlacionan con las mediciones hechas sobre pistas predeterminadas efectuadas con equipo de topografía de mira y nivel y se obtienen curvas de correlación que son aplicadas a los datos tomados con estos equipos bajo las mismas condiciones.

Con las mediciones topográficas se calcula el IRI como la relación entre las deformaciones verticales y la longitud horizontal. Este cálculo puede hacerse utilizando el módulo IRI del paquete INPACO, desarrollado por la Universidad del Cauca, versión.1993.

Dentro de este contrato, se seleccionaron 12 diferentes pistas de calibración de 200 m de longitud, con rugosidad uniforme en su extensión, localizadas en zonas sin curvas y sin obstáculos. Las pistas se seleccionaron a criterio para cubrir los rangos de rugosidades a medir.

Posteriormente se pasaron los dos equipos, determinando con el Romdas, luego de 10 pasadas, el número de conteos detectados por el equipo (BI) y con el Merlin el

parámetro D (mm). Se correlacionaron los resultados de los ensayos con equipos y los de mira y nivel y se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Las ecuaciones que se obtuvieron son las siguientes:

Para el Romdas, velocidad de 32KPH:

$$IRI = 0.0188 x(BI) + 1.4111$$

$$R^2 = 0.9934$$

Velocidad de 15KPH

$$IRI = 0.0139 x(BI) + 1.1743$$

$$R^2 = 0.9874$$

Donde:

BI = Número de conteos en un intervalo en conteos/Km

Para el Merlin:

$$IRI = 4E + 0.5D^2 + 0.0315D + 1.8387$$

$$R^2 = 0.9846$$

D = Distancia promedio en milímetros

Cabe anotar que los equipos de medición de IRI, se deben calibrar siempre y particularmente para cada proyecto, contra pistas previamente definidas a las que se les mida la rugosidad (IRI) con equipos de topografía como mira y nivel y se correlacionan los resultados para obtener ecuaciones para condiciones definidas.

Los datos de conteos con el equipo ROMDAS se reportan referidos al abscisado del tramo y para intervalos generalmente de 25 m. Un reporte de datos de IRI se presenta a continuación:

Cod. Localidad	Tramo	Calzada	Velocidad KPH	Abscisa Final	Intervalo (m)	Conteos
13	1	2	32	13	0	0
13	1	2	32	325	25	12
13	1	2	32	600	25	25
13	1	2	32	575	25	21
13	1	2	32	550	3	4
13	1	2	32	547	22	21
13	1	2	32	525	25	19
13	1	2	32	500	25	26

Para obtener el valor de IRI para cada segmento se suman los conteos unitarios contenidos en él, y se utiliza la ecuación correspondiente a la velocidad de ejecución del ensayo. La aplicación empleada en la base de datos, compara las abscisas iniciales y finales del segmento con las de cada intervalo y va acumulando los conteos unitarios correspondientes y aplica la ecuación correspondiente para el cálculo.

Cod. Localidad	Tramo	Segmento	Calzada	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Conteos acum.	Velocidad KPH	IRI (m/Km)
13	1	1	2	0	37	10.76	32	6.9
13	1	2	2	37	136	70.84	32	14.9
13	1	3	2	136	260	48.8	32	8.8
13	1	4	2	260	306.5	35.72	32	15.9
13	1	5	2	306.5	394	61.28	32	14.6
13	1	6	2	394	439.5	30.62	32	14.1
13	1	7	2	439.5	550	93.98	32	17.4

4.4.6 Cálculo y Asignación de Deflexión para cada segmento

Al igual que el IRI, se debe asignar un valor de deflexión a cada segmento. En el presente contrato se adoptó como criterio el designar el mayor valor de deflexión D_o corregido, de los medidos dentro de un segmento.

Los datos que se reportan de deflexión para cada tramo, están referidos al abscisado del tramo, para intervalos de 50 m.

Cod. Localidad	Tramo	Calzada	Abscisa	Do correg. (0.01mm)
13	1	2	0	30
13	1	2	50	264
13	1	2	100	264
13	1	2	150	183
13	1	2	200	193
13	1	2	250	163
13	1	2	300	142
13	1	2	350	152
13	1	2	400	254
13	1	2	450	244
13	1	2	500	406

Para obtener el valor de D_o , la aplicación empleada en la base de datos, compara las abscisas iniciales y finales del segmento con las de cada intervalo y selecciona el mayor valor de D_o de los contenidos en el segmento.

Cod. Localidad	Tramo	Segmento	Calzada	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Do correg. (mm)
----------------	-------	----------	---------	-----------------	---------------	-----------------

13	1	1	2	0	37	0.3
13	1	2	2	37	136	2.64
13	1	3	2	136	260	1.83
13	1	4	2	260	306.5	1.93
13	1	5	2	306.5	394	1.63
13	1	6	2	394	439.5	2.54
13	1	7	2	439.5	550	4.06

4.4.7 Definición de la Estructura del Pavimento para cada Segmento

De la exploración del subsuelo, efectuada por cualquier método, se debe obtener una estructura de pavimento característica para cada segmento. De las mediciones con Georadar, se obtiene información continua o con los intervalos que se definan previamente; en este caso se tomaron cada 40 m y se reportaron los espesores a estas distancias.

Cod. Localidad	Tramo	Calzada	Abscisa	Capas asfálticas.(cm)	Capas granulares (cm)
13	1	2	0	12	40
13	1	2	40	10	45
13	1	2	80	12	45
13	1	2	120	10	50
13	1	2	160	9	60
13	1	2	200	10	58
13	1	2	240	11	42
13	1	2	280	10	38
13	1	2	320	11	45
13	1	2	360	9	46
13	1	2	400	9	48

Para obtener los espesores de pavimento característicos de cada segmento, se elaboró una aplicación en la base de datos la cual compara las abscisas iniciales y finales del segmento con las de cada intervalo y promedia los espesores de cada tipo de material de los contenidos en el segmento.

Cod. Localidad	Tramo	Segmento	Calzada	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Capas asfálticas.(cm)	Capas granulares (cm)
13	1	1	2	0	37	12	40
13	1	2	2	37	136	10	45
13	1	3	2	136	260	12	45
13	1	4	2	260	306.5	10	50
13	1	5	2	306.5	394	9	60
13	1	6	2	394	439.5	10	58
13	1	7	2	439.5	550	11	42

4.4.8 Determinación del Número Estructural

La determinación del número estructural se hizo con base en los resultados del inventario y en las pruebas efectuadas sobre una zona piloto dentro del área del proyecto.

El número estructural (SN), está definido como la sumatoria de los productos de aportes estructurales por el espesor de cada capa y un coeficiente de drenaje.

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_s * m_3 \quad (1)$$

Del inventario vial, se tienen los espesores de las capas asfálticas y las capas granulares, es decir, d_1 y d_2 , pero se desconocen las características estructurales de las capas para determinar su aporte al pavimento.

El ejercicio realizado estuvo dirigido a determinar los coeficientes a_1 y a_2 , tomando este último en conjunto para todas las capas granulares (base y subbase). Se optó por determinar a_1 a partir del estado superficial del pavimento, medido mediante el índice de fallas y a partir de la capacidad estructural medida mediante la deflexión corregida.

El a_1 aportado por las capas asfálticas se determinó en función del Índice de Falla y de la deflexión de acuerdo con los siguientes criterios:

Tabla 4.5

Coefficiente a_1 en función del Índice de Falla y de la Deflexión

a_1	IF	Do (mm)
0.35	0 ó <30	<1.0
0.25	0 - <30	>1.0
0.25	30 - <50	<1.2
0.20	30 ó <50	>1.2
0.20	50 - <80	No aplica
0.15	>80	No aplica

Para determinar los parámetros incógnitas de la ecuación (1), se desarrollaron las siguientes actividades y pasos:

- Medición en la zona piloto, localizada en Teusaquillo, de las deflexiones mediante el FWD y utilizando el software de aplicación para el cálculo del número estructural.
- Medición con la viga Benkelman doble en los mismos sitios (anteriormente marcados) en donde se realizó la medición con FWD.
- Se calculó el a_2 despejándolo de la ecuación (1):

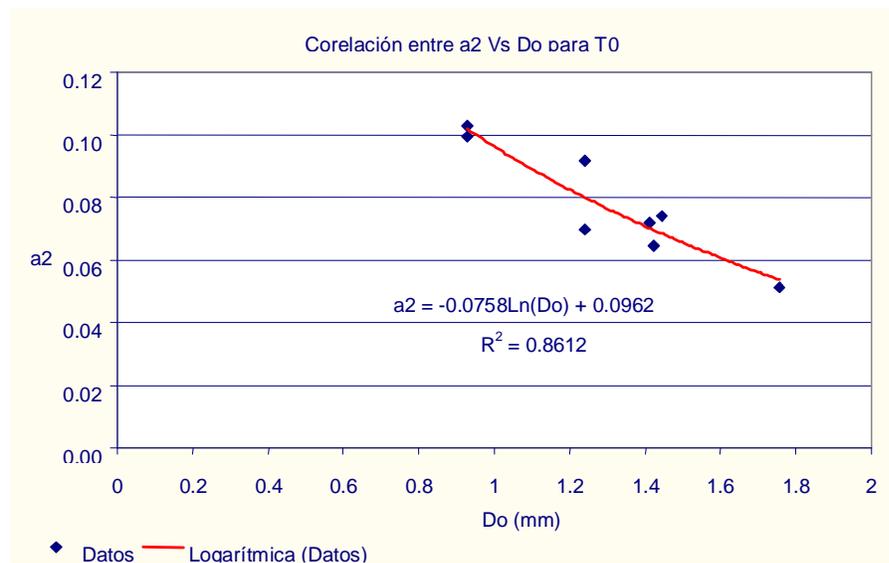
$$a_2 = \frac{SN_{FWD} - a_1 d_1}{d_2 m_2}$$

$m_2 = 0.8$ (drenaje deficiente)

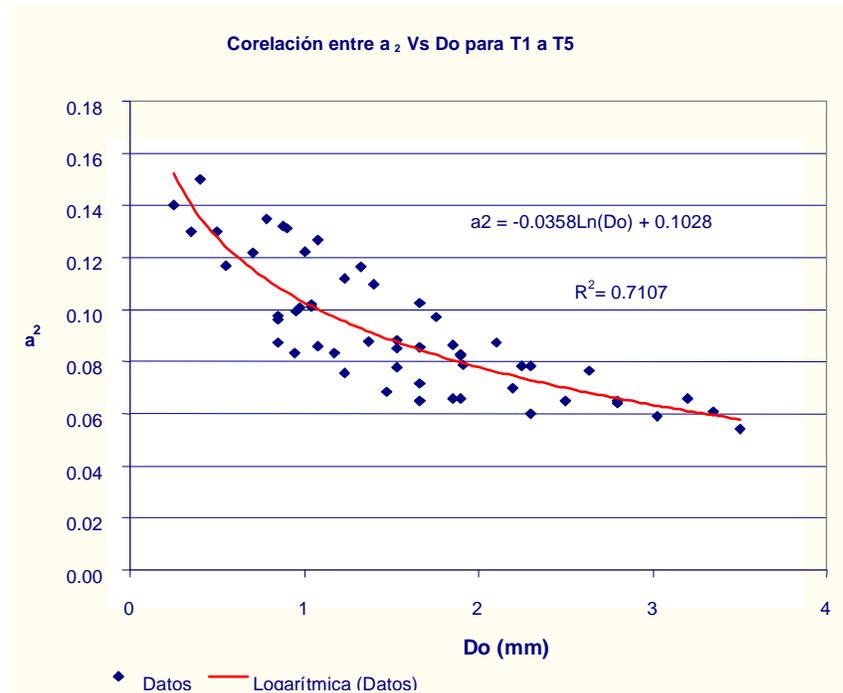
d_1 y d_2 = medidos en el inventario, en pulgadas

SN_{FWD} = Número estructural calculado de las mediciones con FWD

Se encontró el modelo matemático más adecuado para correlacionar los datos de a_2 con deflexión medida con viga Benkelman. Los datos se agruparon dependiendo del número de ejes equivalentes de cada vía y se obtuvieron ecuaciones independientes para vías con una carga inferior a 20.000 ejes y para vías con cargas mayores



(a) Tráficos T0



(b) Tráficos T1 a T5

Figura 4.9
Correlación Coeficiente de Capas Granulares a_2 vs Deflexión D_0

Esta correlación se presenta gráficamente en las Figuras 4.9 y las ecuaciones son las que se anotan a continuación; cabe anotar que se ajustó la ecuación eliminando los datos atípicos.

$$\text{Para T0: } a_2 = -0.0758 * \ln(D_0) + 0.0962 \quad (2)$$

$$\text{Para T1 a T5: } a_2 = -0.0358 * \ln(D_0) + 0.1028 \quad (3)$$

En el Anexo 3 se presenta el plano de la zona piloto indicando los puntos en donde se realizaron las pruebas con Viga Benkelman y con FWD y el cuadro de resultados de las pruebas.

4.4.9 Determinación del Módulo de Reacción para Pavimentos Rígidos

La determinación del módulo de reacción conjunta subrasante - capas granulares, se realizó a partir de la metodología de la PCA, 1987, consignada en el libro de Diseño de Pavimentos de Alfonso Montejó Fonseca; en la cual el módulo de reacción conjunta se determina a partir del espesor de la subbase y del módulo de reacción de la subrasante.

Para calcular el K de la subrasante se utilizó la relación entre este parámetro y CBR dada en el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto de la PCA.

Se utilizó la siguiente metodología para su determinación:

- Se determinó el k de la subrasante en función del CBR, en kg/cm^3 .
- Se establecieron rangos de espesores de capas granulares para la subbase y se asignaron los valores de k_c para cada uno, de acuerdo con la metodología PCA/87.
- Finalmente para facilidad en la base de datos, se elaboró la Tabla 4.6 en función del CBR y de TH2, que corresponde al espesor de capas granulares, que se asume en todos los casos como subbase.

Tabla 4.6

Valores de Módulo de Reacción Conjunto de la Subrasante k (kg/cm^3) en Función de CBR y espesor de capas granulares

TH2 (cm)	CBR %			
	4	3	2.5	1.5
<10	4.5	4	3.5	2.2
10 a 25	5.6	5.2	4.5	3
25 a 30	6.7	6	5.5	3.5
>30	7.2	6.5	6	4

4.5 ESTUDIOS DE TRÁNSITO

En el presente capítulo se describe la metodología planteada y los resultados del estudio de tránsito que hace parte del Inventario Vial.

Los estudios de tránsito están orientados a la determinación de los volúmenes vehiculares y su composición, de manera que permita establecer el Número de Ejes Equivalentes, 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 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 objeto del estudio.

4.5.1 Fuentes de Información

4.5.1.1 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 disponible.

Así, la identificación de la red principal está basada en la jerarquización vial establecida por el 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 1, Malla Vial Principal, del Anexo 1-A.

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 la Figura 2 (Anexo 1-A), Malla Vial - Plan de Ordenamiento Territorial.

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 STT sobre las rutas autorizadas por dicha entidad y su georeferenciación se presenta en la Figura 3, Rutas de Transporte Público, incluida en el Anexo 1-A. Si bien el porcentaje de rutas operando sin autorización es importante en la ciudad, se considera 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, 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 4 (Anexo 1-A), Localización de Puntos de Aforos de Tránsito. Por otra parte, se ha incorporando toda aquella información obtenida por otras entidades o estudios que resulte pertinente para el estudio.

4.5.1.2 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 Cuadro 1.

CUADRO 1. CLASIFICACION VIAL

TIPO DE VIA*	ANCHO DE SECCION	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

* Acuerdos 2/80 y 6/90

Por otra parte, no obstante la buena calidad de la información y 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, 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. 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 1-B presenta la lista de puntos de aforo, con su localización, fecha de realización de los conteos y fuente con registros diarios y esta misma información para las estaciones con información detallada de la composición vehicular se presenta en el Anexo 1-C. La localización dentro de la red de unos y otros se representa en la Figura 5. Estaciones Maestras Existentes.

4.5.1.3 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, a un período de 24 horas, para expresar los volúmenes de tránsito en términos de TPDs, mediante el siguiente procedimiento:

- Determinación de los periodos de aforo registrados por la ETB de donde se desprende la Tabla 4.7. El Anexo 1-D presenta 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, como se indica en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7

Afros de la Dirección de SemafORIZACIÓN Electrónica

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

- Cuantificación de los volúmenes registrados en las estaciones maestras para estos mismos períodos. Los resultados obtenidos expresados como los volúmenes equivalentes al periodo cubierto por la ETB se incluyen en el Anexo 1-D, Factores de Extrapolación. Estos volúmenes son diferentes para los años 1999, 1998 y 1997, teniendo en cuenta que en cada año se cubrían períodos diferentes por parte de la ETB.
- Cálculo de la relación existente entre el volumen de 24 horas y el volumen registrado en el período cubierto por la ETB en un año en particular. El valor

obtenido es el que aparece bajo la columna \bar{v} para cada tipo de vehículo y para el total incluidos en el Anexo 1-D.

- Aplicación de los factores calculados a los volúmenes registrados en las estaciones semaforizadas. En un mismo año, estos factores se aplican a cada uno de los tipos de vehículos pues no se hallaron diferencias importantes entre los estos que justificara una mayor discriminación. De igual manera, se optó por aplicar el mismo factor en toda el área de estudio al no encontrarse diferencias significativas al considerar la ubicación de las estaciones maestras dentro de la ciudad.

El Cuadro 2, 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 de 1997 y 1998, basados en los valores medios de los factores encontrados dentro del análisis de la información de las estaciones consideradas

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.

CUADRO 2. FACTORES DE EXTRAPOLACION DE LOS AFOROS VEHICULARES

	AUTOS	BUSES	BTA	CAMION	TOTAL
AVENIDA DE LAS AMERICAS					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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					
P991	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 FACTOR DE EXPANSION	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3
	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

4.5.1.4 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.

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 diferentes, 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 es reportada en aproximadamente el 55% buses y el 45% busetas.

El Anexo 1-F 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 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.

4.5.1.5 Tasas de crecimiento del tránsito

La necesidad 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 3.

CUADRO 3. 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 TERCARIO				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 viajes 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 viajes/vehículo en donde la correspondiente al transporte público será tan solo del 1.1%. Esta aproximación a las condiciones futuras de la ciudad contrastan 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 y que se presenta en la Figura 6.

4.5.2 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 autorizado 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.

4.5.3 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.

La metodología para la determinación del Factor Daño de cada tipo de vehículo se presenta en la sección 5.1.6.2. de este documento.

4.5.4 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
- c) Numero de Ejes Equivalente para el año 2000

Con base en la tasa de crecimiento del tránsito general se calcularon tanto los volúmenes vehiculares futuros, como el Numero de Ejes equivalentes para los diferentes períodos de análisis, en principio establecidos en 0, 2 años, 5 años y 10 años.

4.6 DETERMINACIÓN DEL CBR DE CADA VÍA

Dentro de los requerimientos del Programa de Administración de Pavimentos del IDU, está el valor de CBR de la subrasante para cada una de las vías. Para llegar a asignar un valor, se siguió una metodología basada en la zonificación geotécnica de Bogotá, incluida en el documento de microzonificación sísmica elaborado por el Ingeominas, y en ensayos de CBR sobre muestras de los diferentes tipos de suelos que conforman las unidades geomorfológicas.

La metodología que se siguió se describe a continuación:

- De acuerdo con las unidades geomorfológicas presentes en el área del proyecto, se seleccionaron los sitios para la ejecución de apiques en los que se tomaron muestras para realizar el ensayo de CBR y muestras para clasificación.
- Se llevaron a cabo apiques con la ejecución del ensayo de Penetración Dinámica con Cono (PDC), sobre el suelo de subrasante para encontrar por correlaciones el CBR del material. Estos apiques se distribuyeron en diferentes puntos estratégicos dentro de la zona del proyecto comprendida por las doce localidades.

- Para correlacionar las mediciones de PDC con CBR, se empleó una ecuación obtenida en los estudios realizados por Consultoría Colombiana S.A. dentro del proyecto de Ampliación del Acceso a Bogotá por Autopista Norte:

$$CBR (\%) = 155.2 \times PDC^{-0.8975}$$

- Definición por análisis de la sectorización y de los datos de CBR, de un valor característico para cada sector. Esta definición se basó también en el conocimiento que se tiene del comportamiento de los suelos en Bogotá, emanado de estudios anteriores realizados por la empresa, asociado a la conformación geomorfológica de la ciudad.
- Se establecieron cuatro tipos de formaciones que caracterizan la zona del proyecto:

Zona I: Zonas bajas de inundación, conformadas por suelos de origen lacustre, saturados de alta plasticidad.

Zona II: Zonas planas, conformadas por suelos de origen lacustre de humedad y plasticidad altas.

Zona III: Piedemonte o terrazas altas, de suelos de origen aluvial o coluvial, arcillas arenosas o arenas aricillosas, de baja plasticidad.

Zona IV: Partes altas, conformadas por suelos residuales originados de las rocas presentes o en algunos casos rocas meteorizadas.

Los valores de CBR de acuerdo a esta zonificación, se indican en la Tabla 4.8

Tabla 4.8

CBR de Acuerdo con la Zonificación Geotécnica

Zona	CBR
I	1.5
II	2.5
III	3.0
IV	4.0

Los valores de CBR para cada vía, se asignaron de acuerdo con su ubicación dentro de la zonificación.

5 DEFINICIÓN Y METODOLOGÍA PARA LA MATRIZ DE ESTADO

La matriz de estado, se presenta como un ordenamiento sencillo en forma matricial, basado en la clasificación por tránsito de las vías que conforman la malla o sub-mallas viales, la condición superficial de su pavimento y la capacidad estructural del mismo. Se utiliza para agrupar en cada una de sus celdas, los elementos que conjuguen las mismas condiciones superficiales y estructurales del pavimento y el mismo tipo de tránsito y asignar a estos grupos de vías, el tipo de intervención que requieren, de acuerdo con la combinación de las variables ingresadas, para llevarlas a una condición de servicio aceptable.

La condición superficial del pavimento está definida por el Índice de Condición del Pavimento (ICP), que a la vez es función del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y del Índice de Fallas (IF), de acuerdo con la metodología planteada por el IDU en el presente contrato, el ICP se entiende, entonces, como una calificación de las pistas, de todo tipo de superficie, en donde existe un nivel mínimo aceptable de condición del pavimento y bajo el cual, los pavimentos de llevarse a rehabilitación o reconstrucción, con una prioridad mayor, dependiendo de la importancia de la vía.

El otro concepto que interviene en la Matriz de Estado es el tránsito, el cual clasifica a las vías por jerarquía; de esta manera la selección de intervenciones y la priorización, estarán ligadas a la importancia de la vía dentro de la malla vial.

Un tercer factor, que no es considerado en la metodología IDU, pero que se tomó la decisión de incluirlo para calificar los pavimentos en función de su vida residual, es la capacidad estructural del pavimento medida en este caso mediante la deflexión corregida para pavimentos flexibles y en función del espesor de carpeta requerida para pavimentos rígidos.

5.1 CRITERIOS PARA LLEGAR A LOS CONCEPTOS DEFINITIVOS DE LA MATRIZ DE ESTADO

El concepto de Matriz de Estado como se concibió inicialmente por el grupo de trabajo, conformado por funcionarios del IDU, Interventoría y el Consorcio Consultor, ha requerido de un proceso de sensibilización, ajustes y modificaciones para llegar a ser aplicable a las condiciones de la malla vial de Bogotá.

En principio se trabajó con la metodología IDU tal y como está descrita en los términos de referencia, en lo referente al inventario de fallas, cálculo del Índice de

Falla y del Índice de Condición del Pavimento y se observaron los resultados en un ejercicio preliminar. La inconsistencia de los resultados con lo observado en campo y con la misma metodología, llevó a un trabajo de ajuste y sensibilización, basados en los resultados del inventario de las localidades de Barrios Unidos, Chapinero y Teusaquillo.

Se plantearon algunas variaciones a las ecuaciones planteadas y se realizó un trabajo de verificación y validación en campo, con lo que se pretendió llegar a una formulación que se ajustara más a la realidad y que por lo tanto, los resultados que se obtuvieran fueran mas acertados.

5.1.1 Modificaciones a la Metodología IDU

Con los resultados del inventario de fallas y medición de IRI de las localidades de Barrios Unidos, Chapinero y Teusaquillo se realizó un análisis para establecer rangos de Índice de Falla, calculado con los pesos indicados en la metodología, en los que se pudieran agrupar pavimentos con un estado superficial de las mismas características.

Con la ayuda de la base de datos, se conformó una tabla con el inventario de daños por segmento, asociando su IF y se visualizaron los resultados con histogramas de frecuencia de los tipos de fallas en diferentes rangos de Índice de Falla.

De este ejercicio se pudo concluir lo siguiente:

- Los pavimentos que se encuentran en el rango de 0 a 30, corresponden a pistas en las que predominan las fallas superficiales tipo fisuras y peladuras de severidad baja o media.
- Para Índices de Falla superiores a 100, es claro que corresponden a pavimentos completamente deteriorados que requieren reconstrucción, ya que presentan daños estructurales en extensiones mayores al 50% del área.
- En el rango intermedio de 30 a 100, entran la mayoría de los segmentos estudiados y en estos se presentan una gran variedad de combinaciones de fallas en todas sus condiciones de severidad y extensión y no es posible asociar el valor de Índice de Falla con algún tipo de falla o de combinación de estas.
- Este comportamiento es explicable observando los pesos asignados a cada tipo de falla los cuales dan relevancia a fallas que pueden considerarse superficiales y de poca incidencia en los pavimentos de Bogotá, como es el caso de las peladuras, la exudación y las corrugaciones. Por otra parte, las fallas que pueden reflejar deficiencias estructurales o deterioros superficiales severos, tienen un peso muy

cercano a las superficiales, como es el caso de los baches y los hundimientos, los cuales marcan el deterioro de los pavimentos de la ciudad.

5.1.2 Variación en los Pesos

Se establecieron nuevos valores de peso para el cálculo del Índice de Falla, asignando los más altos a las fallas que se consideran de mayor influencia en la condición del pavimento.

Los pesos finalmente modificados y los aportes de cada falla en sus diferentes condiciones de extensión y severidad se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.1
Aportes al IF de cada Tipo de Falla

Extensión Peso	Severidad Baja			Severidad Moderada			Severidad Alta			
	0 ó 20%	20 ó 50%	>50%	0 ó 20%	20 ó 50%	>50%	0 ó 20%	20 ó 50%	>50%	
Tipo de Falla - Pavimentos flexibles y mixtos										
Peladuras	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Exudación	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Desintegración de Borde	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Corrugación y Corrimientos	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Fisuras de Borde	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Fisuras en Bloque	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Fisuras Longitudinales	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Fisuras Transversales	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Fisura por Reflexión de Junta	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Baches	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50
Hundimientos	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50
Ahuellamiento	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50
Fisuras Piel de Cocodrilo	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50

Extensión Peso	Severidad Baja			Severidad Moderada			Severidad Alta			
	0 ó 20%	20 ó 50%	>50%	0 ó 20%	20 ó 50%	>50%	0 ó 20%	20 ó 50%	>50%	
Tipo de falla ó Pavimentos Rígidos										
Peladuras	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Pulimento de la superficie	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Descascaramiento fisuras capilares	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Deficiencias de material de sello	0.5	1	1.5	3	1.5	2	3.5	3	3.5	5
Dislocamiento	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Fisura longitudinal	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Fisuramiento transversal	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Fisuramiento diagonal y de esquina	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Desportillamiento	1	2	3	6	3	4	7	6	7	10
Bache - desintegración total	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50
Hundimiento - Depresión	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50
Losas subdivididas	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50
Levantamiento	5	10	15	30	15	20	35	30	35	50

Se puede observar que los aportes para fallas de tipo estructural son mayores y por lo tanto implicarán un mayor índice de falla mientras que los pavimentos que presenten fallas superficiales leves tendrán un valor menor.

Bajo estas nuevas condiciones se calcularon los valores de Índice de Falla y se analizaron los resultados mediante gráficas para observar la composición de tipos de fallas en diferentes rangos tentativos; en el Anexo 3, se presentan las gráficas analizadas resultado del ejercicio.

Los rangos establecidos y su calificación se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5.2
Rangos de Índice de Falla

Estado Superficial	Rango IF
Bueno	0 ó 30
Regular	30 ó 50
Malo	50 ó 80
Muy Malo	> 80

De estas gráficas se puede observar que la diferencia entre rangos la marcan las fallas de tipo estructural; en el primer rango establecido entre 0 y 30, se tienen pavimentos con fallas superficiales o estructurales en severidad y extensión bajas. Entre 30 y 50 los pavimentos presentan fallas superficiales más severas y extensas y fallas estructurales de severidad baja en extensiones medias o severidad media en extensiones bajas.

Entre 50 y 80 predominan pavimentos con fallas estructurales de severidad alta y extensión media o severidad media y extensión alta; para valores mayores que 80 los pavimentos están severamente afectados y predominan la combinación de gran número de fallas superficiales y estructurales, estas últimas de severidad y extensión alta. Cabe anotar que este comportamiento es igualmente aplicable a los pavimentos flexibles y rígidos.

5.1.3 Validación con los Resultados del Inventario

5.1.3.1 Trabajo de campo

Con el fin de validar las modificaciones hechas a la metodología, se realizó un trabajo de campo por parte del grupo de especialistas del proyecto, en el cual se llevó a cabo un levantamiento de fallas y se calificó la vía en forma subjetiva, en una escala de 0 a 100, considerando una condición de malo a bueno en este sentido.

Se tomó como zona piloto la localidad de Teusaquillo, en un sector comprendido entre la Cl 36 y la AC 45 y la AK 14 y la AK 22, en donde existen vías en diferentes condiciones.

Los valores estimados en campo de Índice de Condición del Pavimento se compararon con los valores obtenidos del cálculo en oficina, utilizando varios modelos matemáticos hasta encontrar el que se ajustara a las condiciones definidas en campo. Los resultados de estos análisis se incluyen en el Anexo 2.

5.1.3.2 Definición de la Ecuación para el Cálculo del ICP

La ecuación para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento se modificó para obtener una calificación de los pavimentos entre 0 y 100 siendo 0 el correspondiente a una condición muy mala y 100 a una condición buena.

$$ICP = \left(\frac{a}{IRI} \right)^b * (c - IF)$$

El primer término de la ecuación, indica el aporte del IRI en el cálculo del ICP. En el ejercicio se trató de reducir su influencia, haciendo su variación cercana a 1.0, considerando que el Índice de Rugosidad en vías urbanas, es de menor relevancia que el estado superficial definido por las fallas; sin embargo para valores altos de IRI se disminuye considerablemente el Índice de Condición.

Los valores de IRI obtenidos en las mediciones hechas en las localidades de Barrios Unidos, Chapinero y Teusaquillo, varían entre 2 y 20, pero los valores que predominan en pavimentos en buen estado se encuentran cercanos a 6 mientras que para pavimentos deteriorados, se están por encima de 10 (ver Anexo 3)

La constante c , se estableció como el valor límite medido de IF, considerando el mayor cálculo matemático posible; sin embargo existen valores calculados del inventario que exceden este valor, lo cual se explica porque, ante la presencia de pavimentos totalmente deteriorados, se trató de marcar esta condición en el inventario marcando las fallas de mayor peso en su condición más desfavorable.

Finalmente se estableció la ecuación para el cálculo del Índice de Condición de Pavimento con las siguientes constantes:

$$a = 2$$

$$b = 0.25$$

$$c = 120$$

5.1.3.3 Rangos de ICP

En la gráfica de la Figura 5.1 se observa la variación del ICP con esta expresión, en función del IF para diferentes valores de IRI. En función de los rangos de IF y de valores límite de IRI estimados para las vías que hacen parte de este proyecto, se establecieron los rangos que se indican en la Tabla 5.3 y se agregó su condición cuantitativa.

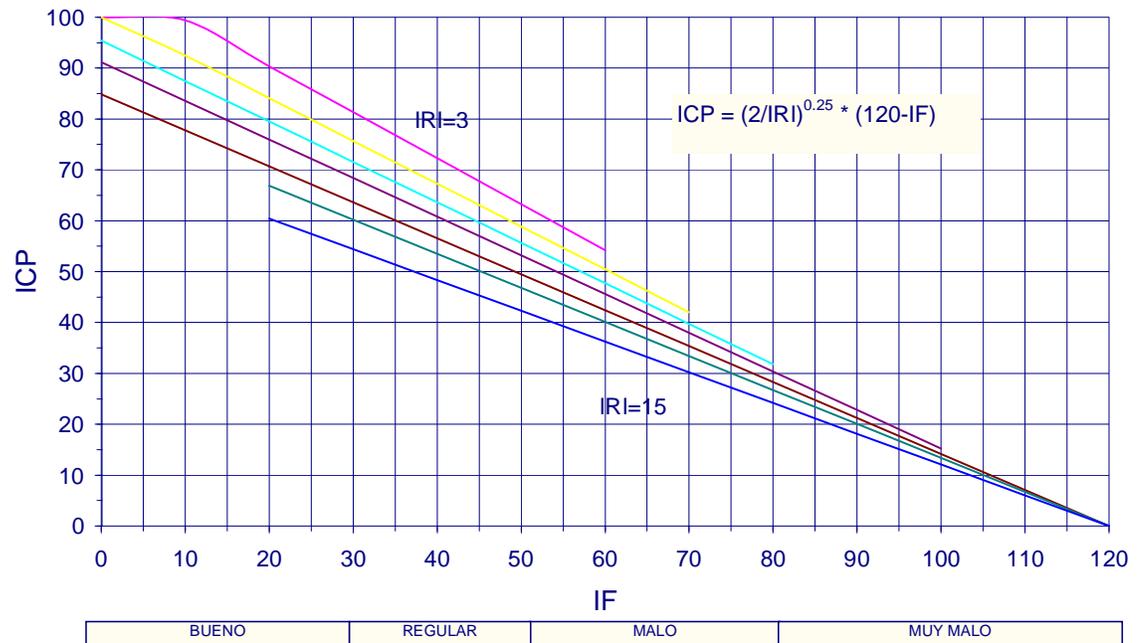


Figura 5.1
Ecuación de correlación IF vs ICP

Tabla 5.3
Rangos de ICP

ICP	Número de Ejes Equivalentes a 8.2 ton x 10 ⁶	
	< 1.5 (T0, T1 y T2)	>1.5 (T3, T4, T5)
Bueno	60 - 100	70 ó 100
Regular	40 ó 60	50 ó 70
Malo	0 - 40	0 - 50

5.1.3.4 Conclusiones del Ejercicio de Validación

- La metodología indicada por el IDU, ofrece tres rangos para clasificar la extensión de los daños: 0 a 20%, 20 a 50% y > 50%. De esta clasificación se puede observar que se están incluyendo en el mismo rango, áreas que pueden tener una diferencia hasta de 20 veces mayor una con respecto a la otra, como en el primer caso, o del doble en los otros casos.
- También se ha podido observar en las vías inventariadas que, cuando el área afectada supera el 30%, con fallas de severidad alta, los pavimentos presentan muy mala condición y en la mayoría de los casos es evidente que requieren reconstrucción o por lo menos una intervención profunda.
- Los rangos de extensión indicados, clasifican los daños por su extensión dentro de una condición de bajo, medio y alto, respectivamente y así mismo se reflejan en el cálculo del Índice de falla con la ecuación planteada en la metodología. Sin embargo, a la hora de obtener un orden de costos de las alternativas de intervención, este aspecto se torna importante ya que la diferencia, sobre todo en el rango de 0 a 20%, puede ser muy significativa.
- Los pesos asignados a cada tipo de falla dan relevancia a fallas que pueden considerarse superficiales y de poca incidencia en los pavimentos de Bogotá, como es el caso de las peladuras, la exudación y las corrugaciones, mientras que, las fallas que pueden reflejar deficiencias estructurales o deterioros superficiales severos, tienen un peso muy cercano a las superficiales, como es el caso de los baches y los hundimientos.
- Con la variación de pesos, asignando a las fallas que se consideran más importantes un valor superior y a las superficiales un valor mucho menor, se logra agrupar en el mismo rango, pavimentos con una condición superficial similar; aunque las posibilidades de combinaciones de fallas sean muy amplias, se puede observar cierta tendencia en cada rango establecido.
- En el cálculo del ICP, se trató de reducir la influencia del IRI, considerando que en vías urbanas, es de menor relevancia comparado con el estado superficial definido por las fallas.
- De la validación de los resultados en el sector piloto seleccionado, se pudo establecer una ecuación para el cálculo del Índice de Condición del Pavimento en función del Índice de Falla, calculado variando los pesos, y del IRI medido directamente. Con esta nueva expresión, los resultados obtenidos en oficina están más cercanos a lo observado en campo.

- Se debe tener en cuenta que en esta prueba piloto, se incluyeron pavimentos que posiblemente han sido modificados (dañados o reparados) con respecto a lo determinado en el inventario inicial y que la medición del IRI puede variarse notoriamente.

5.1.4 Capacidad Estructural de Pavimentos Flexibles

Para calificar los pavimentos en función de su vida residual, se midió la capacidad estructural del pavimento en este caso mediante la deflexión corregida para pavimentos flexibles. Se tomó como criterio, comparar las deflexiones medidas en cada segmento con las admisibles para un tránsito acumulado en un periodo determinado.

Varios autores han establecido correlaciones entre la deflexión de los pavimentos y la acumulación de ejes de 8.2 ton en la vida diseño, como las que se presentan resumidas en el *Curso sobre Diseño Racional de Pavimentos Flexibles*, Felix J. Lilli; de éstas se utilizaron para el presente proyecto las ecuaciones obtenidas por el Instituto del Asfalto y por la AASTHO, para definir los rangos correspondientes a diferentes tránsitos.

Instituto del Asfalto:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{INSTITUTO DEL ASFALTO} \\ D_{adm} = 25.64(N^{-0.2383}) \end{array}}$$

AASTHO :

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{AASTHO} \\ D_{adm} = 46.769(N^{-0.2748}) \end{array}}$$

El comportamiento gráfico de estas dos ecuaciones, se presenta en la siguiente figura; de estas curvas se establecieron valores límites de deflexión admisible para los diferentes números de ejes equivalentes establecidos en el estudio de tránsito, para cada una de las jerarquías de vías.

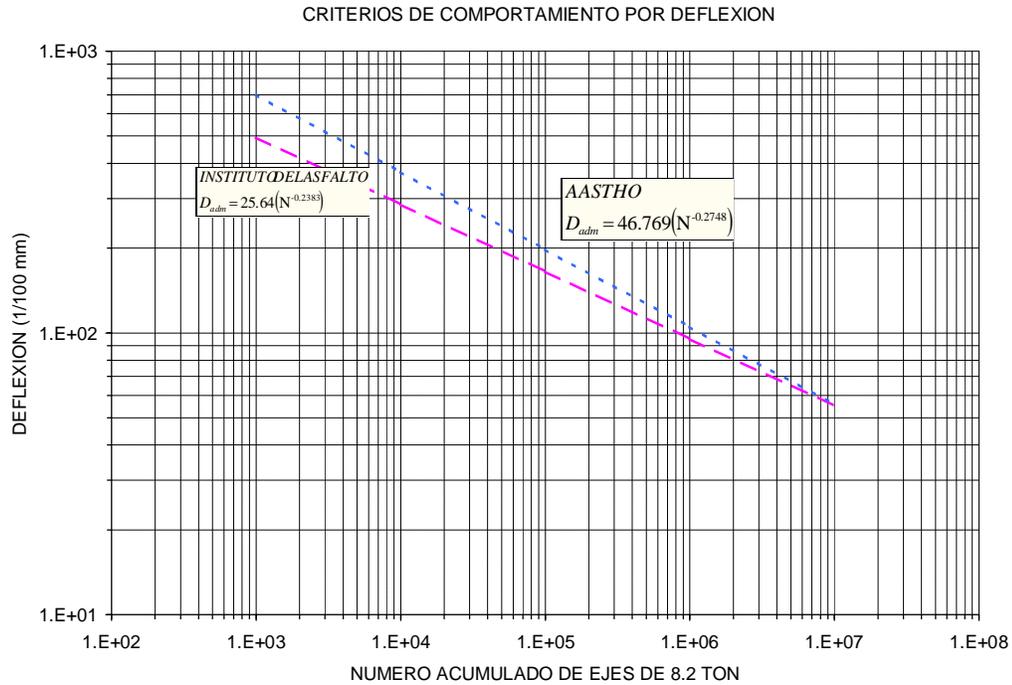


Figura 5.2

Deflexión en Función del Número Acumulado de Ejes Equivalentes

Se establecieron cuatro rangos por vida útil para cada tipo de tránsito, como se presenta en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4

Rangos de Deflexión (mm) para Pavimentos Flexibles

Tránsitos	N x 10 ⁶ ejes de 8.2 Ton	Vida Util Remanente (años)			
		Mayor a 10 años	Entre 10 y 5 años	Entre 5 y 2 años	Menor a 2 años
T0	< 0.02	< 1.5	1.5 ó 2.0	2.0 ó 2.5	>2.5
T1	0.02 - 0.5	< 1.2	1.2 - 1.5	1.5 ó 2.0	>2.0
T2	0.5 - 1.5	< 1.0	1.0 - 1.2	1.2 -1.5	>1.5
T3	1.5 - 4.0	< 0.7	0.7 - 1.0	1.0 -1.2	>1.2
T4	4.0 ó 10	< 0.6	0.6 - 0.7	0.7 ó 0.8	>0.8
T5	> 10	<0.4	0.4 ó 0.5	0.5 ó 0.6	>0.6

El valor de deflexión asignado a cada segmento de acuerdo con la metodología planteada en el numeral 4.4.6, se compara con los valores admisibles y se determina su vida residual.

5.1.5 Capacidad Estructural Pavimentos Rígidos

La capacidad estructural de los pavimentos rígidos se determinó a partir del cálculo de espesor de refuerzo de acuerdo a la metodología utilizada por la U.S. Army Corps of Engineers. Este método compara el espesor de losa requerido para las condiciones de tránsito, resistencia de la subrasante y resistencia del concreto, con el espesor existente afectado por coeficientes establecidos en función de las fallas que presenta el pavimento.

El espesor de sobrecarpeta está definido de acuerdo al sistema constructivo por las siguientes expresiones:

Losas unidas: Se emplea cuando existe algún aporte estructural de la capa existente. El cual se aprovecha cuando se ligan las losas

$$D_{ol} = D_f - cD_o$$

Losas separadas: Se aplica cuando las losas existentes no tienen aporte estructural y finalmente sólo se pueden tomar como una base mejorada.

$$D_{ol} = \sqrt{D_f^2 - cD_o^2}$$

Donde:

D_{ol} : espesor requerido del refuerzo de concreto

D_o : espesor existente

C: Coeficiente que expresa la condición del pavimento, definido así:

C= 1.0 Para pavimentos en buenas condiciones estructurales

C= 0.75 Pavimentos en regular estado con grietas que no han progresado.

C= 0.35 Cuando el pavimento está muy agrietado y estructuralmente destrozado

Asociando estos conceptos a la metodología empleada, se pueden relacionar estos valores con el Índice de Falla, ya que los rangos establecidos agrupan pavimentos de características similares.

Para su aplicación en este caso, se tiene la siguiente relación:

Tabla 5.5

Coefficiente de Condición del Pavimento en Función del Índice de Falla

IF	Condición	C	Sistema
0 ó 30	Buena	1.0	Losas unidas
30 ó 50	Regular	0.75	Losas unidas
50 ó 80	Mala	0.50	Losas separadas
> 80	Muy Mala	0.35	Losas separadas

D_f : espesor de losa necesario para soportar el tránsito de diseño (cm)

Calculado mediante el método abreviado AASTHO, el espesor de losa de diseño está dado por:

$$D_f = 15 * \left[\frac{N^{0.151}}{k^{0.07} * s_c^{0.51}} \right]^{-1}$$

Donde:

N = Número de ejes equivalentes acumulados en el periodo de diseño

k = Módulo de reacción de la subrasante (kg/cm³)

s_c = Módulo de rotura del concreto (kg/cm²)

En la Matriz de Estado, se establecieron los siguientes rangos para asignar la intervención para el pavimento:

Tabla 5.6

Rangos de Sobrecarpeta en Pavimentos Rígidos

D_{ol} (cm)	Intervención
≤ 0	Mantenimiento
0 ó 10	Rehabilitación
> 10	Reconstrucción

Se tomo como límite un espesor de refuerzo de 10 cm, para tener en cuenta la restricción en niveles que puede existir en las vías locales.

Para determinar la vida útil remanente de los pavimentos rígidos, se tomaron los siguientes rangos en función del espesor efectivo de sobrecarpeta, calculados mediante la metodología AASTHO.

Tabla 5.7

Espesor Efectivo de Sobrecarpeta (D_{ol}) en cm

Tipo de Tránsito	Vida Útil Remanente			
	<2 Años	2 - 5 Años	5 - 10 Años	>10 Años
T0	>2.6	2.1 - 2.6	1.0 - 2.1	<1.0
T1	>4.2	3.5 - 4.2	1.5-3.5	<1.5
T2	>4.9	4.1 - 4.9	1.7 - 4.1	<1.7
T3	>5.7	4.8 - 5.7	2.0 -4.8	<2.0
T4	>6.6	5.5 - 6.6	2.3 -5.5	<2.3
T5	>7.8	6.5 - 7.8	2.7 - 6.5	<2.7

5.1.6 Clasificación de las Vías según su Tránsito

Para acceder a la Matriz de Estado, las vías se jerarquizaron de acuerdo al número de ejes equivalentes a la carga estándar de 8.2 ton, calculado en función de 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 típicos para la zona, respectivamente.

5.1.6.1 Cálculo del Número de Ejes Equivalentes

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:

$$N_{2000} = 365 * (\text{Vol_Autos}_{2000} * Fa + \text{Vol_Buses}_{2000} * Fb + \text{Vol_Camiones}_{2000} * Fc)$$

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 varía de acuerdo con la categoría de la vía a la cual pertenezca el segmento considerado.

5.1.6.2 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:

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

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

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

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

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 tomo 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 (Anexo 1-F).

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 la Tabla 5.8.

Tabla 5.8
Factores Daño

Tipo de Vehículo	Factor Daño
Autos	0.001
Buses	0.7
Camiones	2.8

5.1.6.3 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

Tabla 5.9
Rangos de Ejes Equivalentes a 8.2 ton

Tipo	Número de Ejes Equivalentes x 10 ⁶
T0	<0.02
T1	0.02 ó 0.5
T2	0.5 ó 1.5
T3	1.5 - 4.0
T4	4.0 ó 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.

5.2 CONFORMACIÓN DE LA MATRIZ DE ESTADO

La matriz de estado finalmente conformada tiene como componentes el tipo de vía según el tránsito, el índice de condición de pavimento, la deflexión en pavimentos flexibles y espesor de refuerzo en pavimentos rígidos y el grupo de intervenciones asociadas.

Cada segmento ingresa a la matriz con las características descritas y en función de estas, se asignaran la o las intervenciones para su condición.

En las Figuras 5.3 y 5.4, se presenta la Matriz de Estado para pavimentos flexibles y rígidos, respectivamente.



5.3 CATÁLOGO DE INTERVENCIONES

Se presenta una descripción de las intervenciones asociadas a la matriz de estado, tomadas de la bibliografía o de común aplicación en nuestro medio o con perspectivas de aplicación como nuevas tecnologías. Las medidas se agruparon de acuerdo con el grado de intervención en los pavimentos: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, rehabilitación y reconstrucción. Cabe anotar que, con el tiempo, se puede llegar a ampliar o modificar la lista de métodos propuestos para la recuperación de la malla vial, acorde con las nuevas tecnologías que surjan en el medio.

5.3.1 Pavimentos Flexibles

5.3.1.1 Mantenimiento Preventivo

Se refiere al tratamiento de fallas leves, generalmente fisuramientos de baja severidad, peladuras o exhudación; las medidas que se aplican tienen como fin detener el deterioro superficial y la infiltración del agua y se puede optar por tratamientos localizados o el sellado de toda la superficie.

- *Limpieza y sellado de fisuras*

Se refiere a las labores necesarias para el sellado de fisuras en pavimentos asfálticos, tales como limpieza, secado y relleno de la fisura con material bituminoso. El material a utilizar es emulsión asfáltica de rompimiento rápido, eventualmente mezclado con arena proveniente de trituración de roca o de selección de materiales naturales, o una mezcla de ambas. El material bituminoso se aplica con equipos de riego, después de limpiar las fisuras.

El sellado de fisura controla su progreso en severidad, a la vez que impermeabiliza el pavimento evitando la infiltración de agua.

- *Slurry ó seal (Sellado con mortero asfáltico)*

El *slurry seal*, es una mezcla de emulsión asfáltica, llenante mineral y, eventualmente, aditivos, que se coloca a manera de sellado de la superficie, cuando se tiene una gran

densidad y extensión de fisuras de poca profundidad o peladuras. El sello con esta mezcla recupera superficialmente la rodadura, frenando el desgaste o la aparición de más grietas.

Los agregados pétreos y el llenante mineral y los ligantes bituminosos utilizados en la construcción del Slurry deben cumplir las especificaciones establecidas en las normas INV 400, 411 y 432.

La gradación por utilizar está indicada en los estudios técnicos del proyecto y dependen del estado de la superficie y la función que vaya a cumplir el sello.

5.3.1.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo involucra el retiro de parte de las capas asfálticas y la colocación de capas delgadas que no poseen valor estructural y cuya función se limita a reparar zonas localizadas de fallas tipo piel de cocodrilo, baches, fisuras densas, etc.

- *Parchado con mezcla en frío*

Este trabajo se refiere a la excavación, remoción, transporte y disposición de los materiales de un pavimento, que se consideran inapropiados para el buen comportamiento de la estructura, sea que ésta se vaya a reforzar o no inmediatamente, y a la adecuación del fondo de la excavación para colocar una nueva carpeta en esta zona. Se aplica a pavimentos que presentan fallas localizadas que deben ser reparadas para nivelar el servicio de la vía.

Para la ejecución del trabajo se deben seguir las normas del IDU ó 20, 21 y 22 o INV-400 y 440.

- *Parchado con mezcla en caliente*

Este trabajo consiste en la a la excavación, remoción, transporte y disposición de los materiales de un pavimento y la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una o más capas de mezcla asfáltica, preparada en caliente, de acuerdo con las especificaciones.

Se aplica en pavimentos que presentan falla localizadas muy severas o leves en un área extensa.

Para la ejecución del trabajo se deben seguir las normas del IDU ó 20, 21 y 22 o INV-400 y 450.

- *Bacheo*

El bacheo se conoce en nuestro medio, como la intervención en capas más profundas que las asfálticas, cuando se presenta una falla de tipo estructural. El trabajo consiste en la excavación y adecuación de una caja de dimensiones apropiadas que abarque el área afectada y en la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas, hasta el nivel de la vía.

La construcción de las capas granulares debe hacerse siguiendo las normas IDU 13, 13A y 14, 21 y 23 e INV 300, 330, 400, 410 y 413.

- *Micropavimentos*

Se trata de capas de rodadura construidos con mezclas asfálticas de alta porosidad, las cuales permiten que el agua drene y se evacue rápidamente. Esta característica permite que se tenga mayor rugosidad superficial, elevando la resistencia al deslizamiento en los pavimentos, en épocas lluviosas, evitando el efecto de hidropilaje, sin llegar al otro extremo. Se evita el proceso de bombeo de las capas asfálticas con el paso de los vehículos, lo que se traduce finalmente en una mayor durabilidad del pavimento; se cuenta también que reduce la pérdida de visibilidad cuando está mojada la pista.

Los micropavimentos aportan capacidad estructural a pesar de que se construyen en espesores de 3 a 5 cm, ya que su esqueleto conformado por la trabazón de agregados gruesos y llenantes y el buen comportamiento del ligante, evita que se presenten deformaciones permanentes.

Se puede emplear en pavimentos fisurados y previamente mejorados con algo de bacheo o parcheo.

5.3.1.3 Rehabilitación

Son las medidas que se aplica con el fin de recuperar la capacidad estructural del pavimento. Algunas implican el retiro de parte de la estructura existente para colocar posteriormente el refuerzo y con otras se busca aprovechar las condiciones superficiales existentes del pavimento.

- *Fresado y Refuerzo*

Este trabajo consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante su fresado en frío, de acuerdo con los diseños. El refuerzo consiste en una o más capas de mezcla asfáltica, preparada en caliente o en frío, de acuerdo con las especificaciones INV 400, 440, 450 y 460.

Los espesores de fresado pueden estar entre 3 y 10 cm, dependiendo de la profundidad a la cual se encuentre afectada la capa.

- *Fresado, reciclado y refuerzo*

Este trabajo consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante su fresado en frío, de acuerdo con los alineamientos y dimensiones indicados en los documentos del proyecto.

En cuanto al reciclado consiste en la disgregación de las capas asfálticas y parte de la base granular de un pavimento existente, la eventual adición de nuevos materiales pétreos y agua; la incorporación de un ligante como emulsión asfáltica, asfalto espumado o cemento y la mezcla, extensión y compactación de los materiales tratados.

El refuerzo consiste en una o más capas de mezcla asfáltica, preparada en caliente o en frío, de acuerdo con las especificaciones y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos. Los espesores de refuerzo varían entre 5 y 10 cm.

Se aplican las normas INV 400, 460, 461, 462, 440 y 410.

- *Withetopping*

Esta técnica consiste en la construcción de capas de concreto sobre pavimentos de asfalto. Incluye la reparación del pavimento antes de aplicar la capa, la corrección de las principales deformaciones en el perfil de la vía y la colocación de la capa de concreto, que se construye directamente sobre la superficie de asfalto.

El concreto ofrece una superficie más fuerte y durable que la del asfalto y mejora las características de drenaje al eliminar defectos del pavimento de asfalto, tales como ahuellamientos y desplazamientos, produciendo una superficie segura y durable, con un bajo costo de mantenimiento.

Las sobrecapas de concreto sobre asfalto pueden ser simples con juntas (con o sin barra de transferencia de carga), reforzadas con juntas o continuamente reforzadas. La mayoría de la sobrecapas de concreto sobre asfalto han sido simples con juntas. Al

igual que con todos los pavimentos de concreto, se requiere que la separación entre las juntas, la transferencia de cargas, la estimación del tránsito y el drenaje sean los adecuados para asegurar la larga vida del pavimento. El espesor de las capas varía, para vías principales y autopistas, entre 20 y 30 cm y para vías secundarias está entre 13 y 18 cm de espesor.

El material a utilizar es el concreto de alta resistencia inicial, para así permitir el paso de vehículos, luego de un lapso comprendido entre 5 y 24 horas después de su colocación.

Las sobre capas de concreto son aplicables a casi todo tipo de pavimento flexible, sin importar su condición. Los factores que se debe considerar al hacer este tipo de recubrimientos son: Facilidad de diseño, Facilidad de preparación, uso del soporte existente, facilidad de construcción, mínima demora de construcción.

Entre los detalles más importantes al diseñar y construir capas de concreto sobre pavimento de asfalto, se tiene:

El espesor mínimo recomendado para una sobrecapa de concreto es de 10 cm para pavimentos con juntas y 15 cm para pavimentos continuamente reforzados. El espesor debe ser acorde con los volúmenes de tráfico esperados.

Fresar la superficie o construir una capa de nivelación, para eliminar el ahuellamiento se debe considerar solamente cuando este sea mayor de 5 cm.

Las juntas se deben reforzar cuando se trate de vías con un alto nivel de tráfico.

Esta técnica estará restringida para vías en donde no existan restricciones por niveles, de lo contrario se debe aplicar el UTWithttoping.

- *UTwithttoping*

Las especificaciones para este tipo de rehabilitación son las mismas que para el Withttoping, solo que se hace con sobrecapas òultradelgadasö, las cuales son capas delgadas de concreto de alta resistencia y rápido fraguado que se aplica sobre el pavimento de asfalto; se emplea principalmente en parqueaderos, calles residenciales, urbanas y vías de bajo volumen. Las losas tienen menos de 10 cm de espesor y tienen juntas cada 1.8 m o menos. Se puede considerar usar fibras de refuerzo para hacer las losas monolíticas y sólidas.

- *Geosintéticos y carpeta*

Este trabajo consiste en el refuerzo con geosintéticos de las capas asfálticas, colocados sobre el pavimento existente. Se pueden utilizar mallas sintéticas aunque se han usado metálicas y sobre estas una sobrecarpeta, siguiendo las especificaciones para la construcción de capas de rodadura asfáltica.

Se aplica esta técnica a pavimentos muy agrietados, queriendo aprovechar la capa existente, pero a la vez, evitando que se reflejen las fisuras. La colocación de un material de refuerzo, disminuye los espesores de sobrecarpeta.

5.3.1.4 Reconstrucción

Las vías que presentan un deterioro superficial severo y en la mayor parte de su extensión y que además no tienen ninguna capacidad estructural, se considera que requiere construirse de nuevo; en algunas ocasiones se aprovecharán capas inferiores si los niveles de rasante lo permiten, pero no como parte de la estructura del pavimento.

En cualquier caso, se requiere efectuar los correspondientes estudios y diseños del pavimento, siguiendo las especificaciones correspondientes para calidad de materiales y construcción.

Dentro de este grupo existe una amplia gama de alternativas de construcción, como es la estabilización de subrasantes, el empleo de geocompuestos para reforzar o separar materiales, bases estabilizadas con cal, cemento, ligantes bituminosos, bases asfálticas abiertas, etc. La selección de la alternativa técnica y económica más conveniente, se tiene como resultado de los estudios detallados.

Se destaca la labor que en este sentido viene cumpliendo la Universidad de los Andes en conjunto con el IDU, con trabajos como el Manual de Diseño de Pavimentos para Santa Fe de Bogotá, 1997 y la Normativa Técnica del Sector Vial Urbano para Santa Fe de Bogotá en proceso, en donde se describen diferentes técnicas de pavimentación, en función del tránsito de la resistencia de la subrasante, a manera de catálogo, con diferentes técnicas y para condiciones de tránsito entre 0.5 y 10×10^7 y CBR entre 5 y 30%.

5.3.2 Pavimentos Rígidos

5.3.2.1 Mantenimiento Preventivo

Se refiere al tratamiento de fallas leves, generalmente fisuramientos de baja severidad, peladuras o pulimientos o descascamientos leves; las medidas que se aplican tienen como fin detener el deterioro superficial y la infiltración del agua y se puede optar por tratamientos localizados o el sellado de toda la superficie.

- *Limpieza y Sellado de Fisuras*

Se refiere a las labores necesarias para el sello de fisuras en losas de concreto, tales como limpieza, secado y relleno de la fisura con material bituminoso o con una mezcla compuesta por un material bituminoso y arena limpia y seca. El material bituminoso se aplica con equipos de riego, después de limpiar las fisuras.

El sellado de fisura controla su progreso en severidad, a la vez que impermeabiliza el pavimento controlando la infiltración de agua y el deterioro del concreto.

- *Limpieza de Juntas y Reposición de Sello*

Se trata de eliminar materiales extraños que se introducen en las juntas ocasionando deterioro en el sello o ampliando las aberturas, lo que favorece la infiltración de agua y la salida del material de sello. También se incluye la reposición de material de sello en las juntas, como medidas propias del mantenimiento para la prolongación de la vida útil del pavimento.

5.3.2.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo involucra el retiro de parte de la losa y la colocación de capas delgadas que no poseen valor estructural y cuya función se limita a reparar zonas dañadas.

- *Parchado Mecánico a Profundidad Parcial de Losa con Mezcla de Concreto*

Este tipo de reparación se utilizará en el caso de descascamientos, que pueden ocurrir a lo largo de las juntas o grietas longitudinales, aunque suceden con más frecuencia en las discontinuidades transversales. Los descascamientos en el interior

de la losa se deben generalmente al refuerzo de acero, si lo tiene, que se encuentra superficialmente. Con el objeto de asegurar la remoción de todo el concreto en mal estado, los límites del área a reparar se deben extender más allá de las zonas deterioradas, entre unos 8 y 10 cm. El concreto descascarado o deteriorado se puede remover por aserrado y cincelado, o por un proceso de fresado. La superficie del parche se debe remover a una profundidad mínima de 40 mm con herramientas neumáticas ligeras hasta que quede expuesto el concreto sano. Luego de esto se limpian las paredes expuestas del concreto, con un chorro de arena a presión para dejarlas libres de partículas sueltas, aceite, polvo, restos de concreto asfáltico y otros contaminantes antes de proceder a hacer la reparación. Después de la limpieza de la superficie del parche esta queda lista para recibir el concreto.

Las reparaciones de profundidad parcial adyacentes a las juntas transversales o longitudinales, como también a las bermas requerirán preparativos especiales de construcción.

Se debe tener en cuenta el tratamiento a dar a las juntas según sea el caso. Cuando se efectúa una reparación parcial directamente contra una junta longitudinal, el concreto de la reparación no se debe adherir al concreto del carril adyacente, ya que el movimiento diferencial de las losas puede causar descascaramientos en el parche. Los parches adyacentes a las juntas o grietas activas que penetran en toda la profundidad de la losa requieren un inserto compresible para romper la adherencia y volver a formar la junta o grieta. Cuando la reparación se hace a lo largo de la junta del carril con la berma, esta se debe moldear.

Las mezclas de concreto a utilizar pueden ser de alta resistencia inicial o concreto de fraguado normal. Para la colocación del material se debe tener en cuenta, la colocación del adherente, el mezclado, la consolidación, el acabado, el texturizado, los cortes de sierra, el sellado y el curado, factores muy importantes para el éxito del parcheo.

Para este tipo de reparaciones se utilizan elementos tales como máquinas de fresado en frío, herramientas neumáticas ligeras y martillos neumáticos livianos

- *Parchado Manual a Profundidad Parcial de Losa con Mezcla de Concreto*

Las especificaciones para este tipo de reparaciones son las mismas que para el parchado mecánico, exceptuando la utilización de equipos y herramientas neumáticas. Para tal efecto se hará con herramientas manuales convencionales. Se emplea para áreas pequeñas y de poca profundidad.

- *Reparación del Concreto en Profundidad Total*

Las losas requieren reparaciones de profundidad total cuando se quiere restaurar la integridad estructural del pavimento; normalmente se utiliza para los pavimentos que soportan volúmenes de tráfico de moderado a pesado. La mínima condición requerida para proceder a este tipo de reparación, es la de una grieta activa en la que se ha perdido la transferencia de cargas a través de los agregados y de los pasadores de carga. Las grietas activas y las juntas deterioradas son los problemas más comunes.

Antes de iniciar la reparación, se deberá demarcar y aislar el área a reparar, ya que esto minimizará el daño al material circundante durante las operaciones de remoción. El aislamiento se hará del carril y berma adyacente o aislamiento transversal según sea el caso. La remoción de losa se hará por izado hasta donde el daño lo permita. Sin embargo si la losa se encuentra muy deteriorada se hará por demolición. Si se determina que durante la remoción se ha deteriorado significativamente la base, se debe limpiar y recompactar, retirando cualquier material suelto. Además cualquier zona de la base en la que se presente material blando, se retira y sustituye con material adecuado. Para mayor seguridad en el comportamiento en términos de transferencia de carga, las juntas transversales del área a reparar se refuerzan con barras de transferencia de cargas en las vías con alto volumen de tráfico. En las zonas con bajo tráfico se prescindirá de las dovelas, sin que ello comprometa el comportamiento de la reparación.

Se debe tener una preparación y compactación adecuada del relleno de la excavación bajo el área de reparación para así evitar futuros asentamientos.

En las zonas donde la apertura del tráfico del pavimento sea crítica, el concreto se debe vaciar tan pronto como sea posible, después de que las dovelas estén instaladas y la subbase preparada. El concreto a usar debe ser de alta resistencia inicial.

Cuando se termine el proceso de vaciado y texturizado se procede a curar la superficie. El último paso para una buena reparación de pavimentos de concreto en todo su espesor consiste en hacer la caja para alojar el material de sello tanto en las juntas longitudinales, como transversales. Como recomendación, la caja debe tener una profundidad de 50 mm como mínimo, para de esta forma evitar puntos de concentración de esfuerzos en la parte superior de la superficie, reduciendo así el potencial para el descascamiento. Sin embargo las dimensiones de la caja deberán ser de acuerdo a la separación de las juntas y al tipo de sello a utilizar.

- *Reposición de Losa*

Esta medida se aplica cuando existe un deterioro total de alguna o algunas losas, dentro de una pista con una condición buena de su estado superficial. Se procede a demoler la placa totalmente dentro del área especificada. Para su reconstrucción se aplica el sistema constructivo normal para pavimentos de concreto especificado en las normas del INV.

5.3.2.3 Rehabilitación

Son las medidas que se aplica con el fin de recuperar la capacidad estructural del pavimento. Algunas implican el retiro de parte de la estructura existente para colocar posteriormente el refuerzo y con otras se busca aprovechar las condiciones superficiales existentes del pavimento.

- *Triturado de losa y Refuerzo con Mezcla Asfáltica*

Consiste en la fisuración de losas de concreto, con un espesor de 0.20 m, sin destruirlas para permitir la rehabilitación del pavimento rígido existente, como un pavimento flexible cuya base es el material triturado. El fisuramiento de la placa en un patrón denso y no definido, evitará la reflexión de las juntas en la nueva carpeta asfáltica.

El método de trabajo debe ser un procedimiento mecánico que garantice un alto rendimiento, sin ofrecer riesgos para el personal que desarrolla esta actividad y a los usuarios de la carretera debido a que el tránsito de vehículos no se puede suspender totalmente. El refuerzo consiste en una o más capas de mezcla asfáltica, preparada en caliente o en frío, de acuerdo con las especificaciones y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos.

- *Sobre Losa de Concreto Adherida*

Se utiliza esta técnica cuando el pavimento existente de concreto aun aporta algo estructuralmente, es decir, cuando la sobrecarpeta no presenta espesores mayores a 10 cm. La nueva losa se adhiere mediante productos epóxicos a la superficie antigua, trabajando como un solo espesor de concreto.

Para la construcción de la sobrecapa de concreto, se utilizan las normas de construcción de pavimentos rígidos.

- *Sobre Losa de Concreto No Adherida*

En este caso la losa existente está en condiciones precarias desde el punto de vista estructural, entonces se asume que no va aportar al nuevo pavimento y sólo se considera como una base mejorada. La nueva losa de concreto se diseña para estas condiciones. Se tiene el inconveniente del control de niveles de rasante, por lo tanto su aplicación es restringida. Para la reconstrucción de la nueva losa se aplica el sistema constructivo normal para pavimentos de concreto especificado en las normas del INV.

- *Triturado de losa y Refuerzo en Concreto*

Consiste en la fisuración de losas de concreto, con un espesor de 0.20 m, sin destruirlas para permitir la rehabilitación del pavimento rígido existente, mediante la destrucción de un pavimento flexible. El método de trabajo debe ser un procedimiento mecánico que garantice un alto rendimiento, sin ofrecer riesgos para el personal que desarrolla esta actividad y a los usuarios de la carretera debido a que el tránsito de vehículos no se puede suspender totalmente. El refuerzo consiste en una losa en concreto, de acuerdo con las especificaciones y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos.

5.3.2.4 Reconstrucción

Las vías que presentan un deterioro superficial severo y en la mayor parte de su extensión y que además no tienen ninguna capacidad estructural, se considera que requiere construirse de nuevo; en algunas ocasiones se aprovechará la capa granular si los niveles de rasante lo permiten, pero no como parte de la estructura del pavimento sino como un mejoramiento de la subrasante.

En cualquier caso, se requiere de efectuar los correspondientes estudios y diseños del pavimento, siguiendo las especificaciones correspondientes para calidad de materiales y construcción.

5.3.3 Referencia de Especificaciones de Construcción

Las medidas indicadas deben estar sujetas a las especificaciones técnicas de construcción de común aplicación en nuestro medio.

- Normas INV

- Norma 201. Demolición Remoción
- Norma 230. Mejoramiento de la Subrasante-
- Norma 300. Disposiciones Generales para la Ejecución de Afirmados, Subbases Granulares y Bases Granulares y Estabilizadas.
- Norma 310. Conformación de la Calzada Existente
- Norma 320. Subbase Granular
- Norma 330. Base Granular
- Norma 340. Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica
- Norma 341. Base Estabilizada con Cemento
- Norma 400 Disposiciones Generales para la Ejecución de Riegos de Imprimación y Liga, Tratamientos Superficiales, Sellos de Arena-Asfalto, Lechadas Asfálticas, Mezclas Densas y Abiertas en Frío y en Caliente y Reciclado de Pavimentos Asfálticos
- Norma 410. Cemento Asfáltico
- Norma 411. Emulsión Asfáltica
- Norma 412. Aditivo Mejorador de Adherencia
- Norma 413. Excavaciones para Reparación del Pavimento Existente
- Norma 420. Imprimación
- Norma 421. Riego de Liga
- Norma 440. Mezcla Densa en Frío
- Norma 441. Mezcla Abierta en Frío
- Norma 450. Mezcla Densa en Caliente (Concreto Asfáltico)
- Norma 451. Mezcla Abierta en Caliente
- Norma 460. Fresado de Pavimento Asfáltico
- Norma 461. Reciclado en Frío de Pavimento Asfáltico
- Norma 462. Reciclado en Caliente de Pavimento Asfáltico
- Norma 500. Pavimento de Concreto Hidráulico
- Norma 630. Concreto
- Norma 640. Acero de Refuerzo
- Norma 820. Geotextiles

- Normas IDU

Seccion 1	Excavaciones para la Conformacion de la Subrasante
Seccion 3	Demoliciones
Seccion 4	Transporte del Material Sobrante
Seccion 13	Rellenos en Material Seleccionado
Seccion 13a	Sub-Base
Seccion 14	Base Granular
Seccion 20	Equipo de Pavimentacion con Materiales Asfalticos
Seccion 21	Imprimacion
Seccion 23	Concreto Asfaltico
Seccion 33	Pavimentos de Concreto

5.4 DETERMINACIÓN DE COSTOS

Con el fin de determinar costos globales de inversión por localidad y para toda la malla incluida en el alcance de este contrato, se recopilamos precios unitarios de cada una de las intervenciones asociadas en la matriz de estado.

Se consultaron los precios que conserva el IDU en estadísticas de sus contratos y algunos con firmas constructoras de vías del medio; se definieron los que se presentan en las Tablas 5.10 y 5.11 y se llevaron a la base de datos para relacionarlos con el área a intervenir para cada vía.

Tabla 5.10
Precios Unitarios de Intervenciones en Pavimentos Flexibles

ITEM	DESCRIPCION	UN	PRECIO UNITARIO \$
1	Limpieza y sellado de fisuras	m ²	8,387
2	Slurry ó seal	m ²	6,318
3	Parchado mezcla en frío	m ²	16,186

ITEM	DESCRIPCION	UN	PRECIO UNITARIO \$
4	Parchado mezcla en caliente	m ²	17,092
5	Bacheo	m ²	20,979
6	Micropavimentos	m ²	9,480
7	Fresado y Refuerzo	m ²	15,116
8	Fresado, reciclado y refuerzo	m ²	16,222
9	Withettoping	m ²	70,127
10	Utwithettoping	m ²	31,050
11	Geosintéticos y carpeta	m ²	15,477
12	Reconstrucción parcial	m ²	20,979
13	Estudio y diseño de pavimento nuevo	m ²	67,566

Tabla 5.11

Precios Unitarios de Intervenciones en Pavimentos Rígidos

ITEM	DESCRIPCION	UN	PRECIO UNITARIO \$
1	Limpieza y sellado de fisuras	m ²	12,581
2	Limpieza de juntas y reposición de sello	ml	2,189
3	Parchado manual a profundidad parcial de losa con mezcla de concreto	m ²	42,066
4	Parchado mecánico a profundidad parcial de losa con mezcla de concreto	m ²	35,695
5	Reparación del concreto en profundidad total.	m ²	76,172
6	Reposición de losa	m ²	64,857
7	Triturado de losa y refuerzo con mezcla asfáltica	m ²	27,705
8	Sobre losa de concreto adherida	m ²	57,059
9	Sobre losa de concreto no adherida	m ²	51,559
10	Triturado de losa y refuerzo en concreto	m ²	79,593
11	Estudio y diseño de pavimento nuevo	m ²	115,319

Para cada localidad se calculó el costo mínimo requerido para la recuperación de su malla y el mayor costo, entendido este como el óptimo asociándolo a la mejor calidad de las obras.

5.5 PRIORIZACIÓN DE INTERVENCIONES EN LA RED

Como parte de las actividades de planeación que debe efectuar el IDU para llevar a cabo su misión de proporcionar a la ciudad una malla vial en condiciones óptimas mínimas, está la de establecer una priorización entre las vías que conforman la red, de manera que se acometan las obras en tal forma que exista una optimización de los recursos disponibles, con el mayor y mejor cubrimiento de vías y que a la vez cumpla con los objetivos para los se concibió la estrategia de intervención de la malla, entre

estos, frenar el deterioro de todas las vías y dar continuidad a los vías de jerarquía importante.

Los modelos de priorización, deben responder a tres premisas básicas:

- ❖ Cuáles proyectos deben ser intervenidos? ó Selección de candidatos
- ❖ Cómo deben ser intervenidos para recuperarlos? ó Selección de alternativas
- ❖ Cuándo deben ser intervenidos y en que orden? ó Selección de tiempo y programación

Un modelo que responda a estas preguntas simultáneamente es muy complejo ya que debe tener en cuenta, factores tales como, condiciones actuales del pavimento, predicción del desempeño del pavimento, condiciones actuales de la red, efectividad de alternativas, nivel de servicio deseable, presupuesto disponible, consideraciones políticas y sociales, entre otras. Un modelo de estas características requiere de un análisis muy extenso para que su aplicación sea confiable.

Se propone en la metodología del IDU, un método simplificado de òranqueo, basado en el Índice de Condición del Pavimento y de la clasificación funcional de las vías.

	Expresas y semiexpresas	Arterias y colectores menores	Colectores	Locales
Bueno	8	10	11	12
Regular	4	6	7	9
Malo	1	2	3	5

Dentro del ejercicio efectuado para el presente contrato, se plantea de igual manera un modelo sencillo, basado en la clasificación por tránsito de las vías y en las intervenciones mayores, las cuales asocian el estado de las vías tanto superficial como estructural. En este caso sólo se tendrían tres niveles de prioridad:

Prioridad 1: Vías de la red principal, secundaria y accesos a barrios que requieren mantenimiento correctivo o intervenciones mayores de rehabilitación o reconstrucción, producto de pavimentos deteriorados y con poca vida residual. Las intervenciones se realizaran entre los años 2001 y 2002.

Prioridad 2: Accesos a barrios y vías locales que requieren intervenciones mayores de rehabilitación o reconstrucción o vías principales o secundarias que requieren de un

mantenimiento preventivo ya que presenta buen estado del pavimento, el cual debe ser mantenido porque puede llegar fácilmente a deteriorarse. Las intervenciones se realizarán entre los años 2003, 2004 y 2005

Prioridad 3: Vías locales o Accesos a Barrios con un estado del pavimento calificado como bueno, las cuales requieren un mantenimiento preventivo o correctivo, en las cuales se espera una menor tasa de deterioro porque están sometidas a menos cargas. Las intervenciones se realizarán a partir del 2006. Así definida, la matriz de prioridades que se plantea se presenta en la Figura 5.6.:

El modelo de priorización planteado puede ser modificado por el IDU, en función de las limitaciones técnicas, económicas y financieras, así como de decisiones de típico político y social.