



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ADMINISTRACIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE LAS CARRETERAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTAN:
ADRIANA INES DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ
SAMUEL HERRERA MALDONADO
DANIEL MORA SIERRA
JESÚS MORALES SOLARES



DIRECTOR:
ING. RAFAEL ABURTO VALDES

MÉXICO, D.F.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVÉÑMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/120/01

Señores
ADRIANA INES DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ
SAMUEL HERRERA MALDONADO
DANIEL MORA SIERRA
JESÚS MORALES SOLARES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. RAFAEL ABURTO VALDES**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"ADMINISTRACIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS"

- I. INTRODUCCION
- II. ORGANIZACIÓN GUBERNAMENTAL PARA EL MANEJO DE LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
- III. CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
- IV. PRINCIPALES ASPECTOS DE GEOTECNIA ASOCIADOS A LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
- V. HIDRÁULICA DE LAS OBRAS DE DRENAJE EN CARRETERAS
- VI. SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA CONSERVACIÓN
- VII. EVALUACIÓN DE PROYECTOS
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria 9 de julio de 2001.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO PERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la atención que nos brindaron y el apoyo técnico para la elaboración de esta tesis a:

Ing. Rafael Aburto Valdés.- Por su dirección en esta tesis.

Ing. Enrique Dalhaus Parkman.- Por su ayuda sobre pavimentos hidráulicos.

Ing. Juan Antonio Del Valle Flores.- Por su asesoría en la evaluación de proyectos.

De la Dirección General de Servicios Técnicos de la S.C.T. a:

Ing. Esteban Ambris Reyes.- Director de Estudios.

Ing. Gustavo Manzo García.- Director de Proyectos y Vialidad.

Ing. Gilberto Hernández y Espinoza.- Subdirector de Ingeniería de Tránsito.

Ing. Gabriel Atala Barrero.- Subdirector de Evaluación.

Ing. Ignacio Hernández Quinto.- Director de Apoyo Técnico.

De la Dirección General de Conservación de Carreteras de la S.C.T. a:

Ing. Mario González García.- Director de Planeación y Evaluación.

Ing. José Manuel Ocio Méndez.- Subdirector de Planeación.

Ing. Arturo Monforte Ocampo.- Director General Adjunto Técnico.

Y con el eterno agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería y a los profesores que nos brindaron una formación académica de excelencia.

"POR MI RAZA, HABLARA EL ESPIRITU"

INDICE

<i>Introducción</i>	1
Capítulo I "Organización Gubernamental para el Manejo de la Conservación de Carreteras"	
I.1. Antecedentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes	5
I.2. Antecedentes de la Dirección General de Conservación de Carreteras	17
I.3. Conceptualización de los Proyectos Geométricos de Carreteras	21
I.3.1. Para Obras Nuevas	23
I.3.2. Para Modernización de Carreteras	28
I.4. Reglamentación de Pesos y Dimensiones	31
Capítulo II "Conservación de Carreteras"	
II.1. Elementos Técnico Económicos para Fundamentar los Programas de Conservación ..	37
II.2. Adquisición de Datos de Tránsito	42
II.2.1. Inventario de Características Geométricas	42
II.2.2. Volúmenes de Tránsito	43
II.2.2.1. Uso de los Volúmenes de Tránsito	44
II.2.2.2. Métodos de Conteo	46
II.2.2.3. Periodos Empleados en el Aforo de Vehículos	50
II.2.2.4. Tipos de Estaciones de Aforo	50
II.2.2.5. Características de los Volúmenes de Tránsito	51
II.2.2.6. Expansión y Ajuste de los Conteos	51
II.2.2.7. Proyecciones de Volúmenes de Tránsito	52
II.2.3. Estudio de Origen, Destino y Pesaje	52
II.2.3.1. Métodos para Estudios de Origen y Destino	54
II.2.3.2. Estudio de Peso y Dimensiones	56
II.2.4. Niveles de Servicio	57
II.2.5. Tiempos de Recorrido	61
II.2.5.1. Métodos para Realizar Estudios de Tiempos de Recorrido y Demoras ..	61

II.2.5.2. Estudios de Demoras en Intersecciones	62
II.2.5.3. Método para Determinar Demoras en las Intersecciones (Método del Tiempo de Viaje)	63
II.2.6. Accidentes	64
II.2.6.1. Reportes de Accidentes	65
II.2.6.2. Tipos de Accidentes	66
II.3. Formación de Programas de Conservación de Carreteras	67
II.3.1. Generación del Plan de Conservación	68
II.3.2. Presentación del Plan de Conservación	72
 Capitulo III "Principales Aspectos de Geotecnia Asociados a la Conservación de Carreteras"	
III.1. Clasificación de Suelos	75
III.1.1. Suelos Gruesos	77
III.1.2. Suelos Finos	79
III.1.3. Sistema de Clasificación de Suelos Utilizado en la S.C.T.	83
III.2. Construcción de Terracerías	84
III.2.1. Definición y Partes que las Forman	85
III.2.2. Finalidad y Características del Cuerpo del Terraplén	86
III.2.3. Finalidad y Características de la Capa Subrasante	88
III.3. Construcción de Sub-Bases y Bases	89
III.3.1. Definición y Función de la Sub-Base	89
III.3.2. Definición y Función de la Base	90
III.3.3. Características de Sub-Bases y Bases	90
III.3.4. Procedimientos de Construcción para las Sub-Bases y Bases	92
III.4. Compactación	94
III.4.1. Pruebas de Compactación	94
III.4.2. Procesos de Compactación de Campo	96
III.5. Estabilidad de Taludes	101
III.5.1. Tipos de Fallas más Comunes en los Taludes	103
III.5.2. Métodos de Calculo de Estabilidad de Taludes	106

Capítulo IV "Hidráulica de las Obras de Drenaje en Carreteras"

IV.1. Localización de la Cuenca	114
IV.1.1. Pendiente de la Cuenca	114
IV.2. Calculo de Precipitación y Gasto Esperado	116
IV.2.1. Precipitación y Escurrimiento	116
IV.2.2. Métodos para el Calculo de Avenidas Máximas	118
IV.2.2.1. Método de Chow	118
IV.2.2.2. Método Racional	124
IV.3. Diseño de Tuberías (Alcantarillas) y Canales	127
IV.3.1. Localización del Eje de la Obra	127
IV.3.2. Area por Drenar	128
IV.3.3. Area Hidráulica Necesaria	128
IV.3.4. Elección del Tipo de Obra	129

Capítulo V "Sistemas de Administración de la Conservación"

V.1. Pavimentos Hidráulicos	133
V.1.1. Evaluación del Estado Actual	133
V.1.1.1. Deterioro en Pavimento con Juntas	137
V.1.1.2. Deterioro en Pavimentos con Refuerzo Continuo	140
V.1.2. Planeación de la Conservación	143
V.1.3. Programación	144
V.2. Pavimentos Flexibles	145
V.2.1. Evaluación del Estado Actual	145
V.2.1.1. Evaluación Estructural en Pavimentos	146
V.2.1.2. Evaluación de Daños en Pavimentos	147
V.2.1.3. Evaluación Funcional en Pavimentos	152
V.2.2. Planeación de la Conservación	156
V.2.3. Programación	160
V.3. Laterales de Caminos y Obras de Protección	161
V.3.1. Evaluación del Estado Actual	162

V.3.2. Planeación de la Conservación	163
V.3.3. Programación	164
V.4. Sistema de la Administración de la Conservación de Carreteras Utilizado en México	164
V.4.1. Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER)	164
V.4.2. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)	178
V.5. Sistema de Administración de Puentes Utilizado en México	180

Capítulo VI "Evaluación de Proyectos"

VI.1. Técnicas para Estimación de Costos	189
VI.1.1. Costos de Operación Vehicular	189
VI.1.2. Costos de Conservación y Mantenimiento	192
VI.1.3. Costos del Tiempo de Recorrido	194
VI.1.4. Costos de Accidentes	197
VI.2. Evaluación Técnica del Proyecto	197
VI.3. Evaluación Económica del Proyecto	198
VI.4. Evaluación Financiera de Proyecto	210
VI.5. Análisis Socio - Económico	212

<i>Conclusiones</i>	215
---------------------	-----

<i>Bibliografía</i>	217
---------------------	-----

INTRODUCCION

El Sistema Carretero Nacional constituye el principal medio de desplazamiento de personas y bienes, y es al mismo tiempo, un instrumento primordial para la integración social, económica y cultural del país. En este sistema de comunicación se apoyan, en gran medida, las cadenas de producción y distribución de mercancías en todo el territorio, al igual que los sectores generadores de divisas, como el exportador y el turismo, además de tener un papel muy importante en el desarrollo social de la nación, pues comunica a las poblaciones aisladas y dispersas, facilitando el acceso de servicios básicos a sus habitantes.

El Sistema de Transporte Nacional depende fundamentalmente de la red de carreteras que enlaza a las capitales de los estados, cabeceras municipales, zonas urbanas y rurales, puertos, fronteras y aeropuertos, así como los principales centros de producción y consumo. Durante 1998, este sistema movilizó el 98.5% de los 2,576.1 millones de pasajeros internos nacionales y el 54.8% de un total de 694.5 millones de toneladas de carga. En la medida en que la red carretera opere en condiciones más favorables de fluidez y de seguridad del tránsito, aumentará su capacidad de proporcionar un transporte eficiente, con los consecuentes beneficios para la nación.

Actualmente el sistema carretero nacional tiene una longitud de más de 320,000 kms, siendo 41,918 los que conforman la red federal libre de peaje; de estos, el 57% tiene más de 30 años de servicio y solo el 14% tiene menos de 15 años. Esto indica que la red mexicana fue diseñada y construida utilizando normas y técnicas que en la actualidad ya han sido superadas por las cargas de diseño autorizadas y por el incremento en el número de vehículos que circula actualmente.

Si consideramos que en México el transporte carretero es el medio más importante debido al considerable número de pasajeros y carga que son movilizados a lo largo del territorio nacional, se comprende la importancia estratégica que tiene para la economía del país la conservación de su infraestructura carretera y la necesidad de incrementar su longitud. Cabe

señalar que el 30% de la longitud de la red federal soporta tránsitos diarios de mas de 5,000 vehículos y el 21% tiene problemas de capacidad para atender sus tránsitos en condiciones optimas de seguridad y economía, ya que durante los últimos 10 años la carga transportada por carretera en México se ha incrementado en un 27.4% y los pesos autorizados de los vehiculos han crecido de manera importante, al pasar de 34 toneladas en 1960 a 66.5 en 1997. Asimismo, en el periodo de 1988 a 1998 los pasajeros transportados por carretera se han incrementado en un 44.0%.

El estado actual de la red federal requiere mejoramientos sustanciales para soportar el crecimiento de los volúmenes y de las cargas unitarias del transito, pasando de 1999 al 2000 a las siguientes condiciones: bueno del 23% al 25%, regular del 34% al 36%, y malo del 43% al 39%.

El objetivo de esta tesis es el de mostrar los principales elementos teóricos, técnicos y administrativos para la evaluación, planeación y programación adecuada de la conservación de carreteras federales.

En el *Capítulo I* se aborda el manejo de la conservación de carreteras desde el punto de vista de la organización gubernamental, es decir, las dependencias encargadas de conservar en condiciones optimas el funcionamiento de la red carretera y puentes federales libres de peaje, así como las normas y reglamentos que regulan estos aspectos. Cabe mencionar que para aclarar algunos conceptos que son de importancia en la conservación de carreteras es necesario hacer, en este capítulo, un breve resumen sobre la conceptualización de los proyectos geométricos, así como de la reglamentación de pesos y dimensiones de los vehículos que transitan por ellas.

Para fundamentar los programas que se llevaran a cabo para la conservación de carreteras, es necesario conocer ciertos elementos técnicos y económicos que se necesitan para su formación, los cuales se trataran en el *Capítulo II*. Adicionalmente, se explicara una variable que es de gran importancia para la conservación de carreteras: el transito; así como toda la información que nos puede proporcionar (volúmenes, estudios de origen, destino y pesaje, niveles de servicio, tiempos de recorrido y accidentes) y que es muy valiosa para la toma de decisiones en evaluación de proyectos.

Antes de comenzar a hablar formalmente de la conservación de carreteras, es necesario tomar en cuenta las dos consideraciones básicas siguientes: como se encuentra construida la carretera y cual es el factor que la deteriora mas rápidamente. La primera se trata en el *Capítulo III* al explicar los principales aspectos de geotecnia asociados a la conservación, como son: la clasificación de suelos, la construcción de terracerías, sub-bases y bases, principios de compactación, y estabilidad de taludes. En la segunda se ve involucrada el agua como el agente mas destructivo para una carretera, por lo que se hablara en el *Capítulo IV* sobre la hidráulica de las obras de drenaje, explicando la localización de la cuenca, el calculo de precipitación y gasto esperado, y el diseño de tuberías y canales.

En el *Capítulo V*, relativo a los sistemas de administración de la conservación, se explican la metodología empleada para la evaluación del estado actual, planeación y programación de los pavimentos hidráulicos y flexibles, laterales de caminos y obras de protección de las carreteras; así como los sistemas de administración utilizados por la Dirección General de Conservación de Carreteras tales como: SISTER (simulación de estrategias de mantenimiento vial), SIMAP (sistema mexicano de administración de pavimentos), y SIPUMEX (sistema de puentes mexicanos).

Finalmente, en un proyecto la evaluación es muy importante, por lo que en el *Capítulo VI* analizaremos las técnicas que se utilizan para la estimación de costos, la evaluación técnica, económica y financiera, y el análisis socioeconómico; utilizando estos elementos se determina la factibilidad del proyecto para su posterior ejecución.

CAPITULO I

ORGANIZACIÓN GUBERNAMENTAL PARA EL MANEJO DE LA CONSERVACION DE CARRETERAS.

1.1. ANTECEDENTES DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes tiene su origen funcional en la Secretaría de Estado y del Despacho de Relaciones Exteriores e Interiores establecida el 8 de noviembre de 1821. Posteriormente, debido a las modificaciones efectuadas en el aparato de gobierno, las funciones relativas al ramo de comunicaciones y transportes se diseminaron entre varios organismos.

En 1857, se funda la Administración General de Caminos y Peajes como un primer intento por centralizar las funciones encaminadas a satisfacer las necesidades de comunicación en el ámbito nacional, el cual se ve consolidado el 13 de mayo de 1891, fecha en la que se crea la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, misma que centralizó en forma definitiva tales funciones.

En el periodo de 1913 a 1934, se incorporaron y suprimieron diversas atribuciones a dicha Secretaría, siendo en 1936, a raíz de las adiciones realizadas a las leyes de Secretarías y Departamentos de Estado y de Vías Generales de Comunicación y Medios de Transporte, cuando se le facultó para concesionar, regularizar e inspeccionar los puertos aéreos y otorgar concesiones para el establecimiento y explotación de instalaciones radiodifusoras comerciales; así como para otorgar permisos para la operación de instalaciones radioexperimentales, culturales y de aficionados, manteniendo la vigilancia respectiva.

En 1938, como consecuencia de la expropiación de los bienes de la empresa Ferrocarriles de México, S.A., se le incorporaron a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, las facultades para reglamentar y vigilar el ejercicio de los ferrocarriles, las cuales se le habían suprimido en 1937. Asimismo, el 30 de diciembre de 1939, al entrar en vigor una nueva Ley de Secretarías y Departamentos de Estado, se introdujo una importante reforma al capítulo

correspondiente a las comunicaciones marítimas que limitó la acción de la Secretaría a estudiar e imponer tarifas a los servicios públicos de transporte marítimo y fluvial y ejercer jurisdicción sobre los servicios conexos o auxiliares de los mismos.

En 1947, se expidió el Reglamento de la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado, en el cual las disposiciones en materia de comunicaciones y obras públicas son expresadas con mayor precisión que en años anteriores. De esta manera, en 1949, por decreto presidencial, se reestructuró totalmente el libro IV de la Ley de Vías Generales de Comunicación, estableciéndose un mayor ajuste entre la comunicación aeronáutica nacional e internacional de servicios públicos y privados y las necesidades del país.

El 1 de enero de 1959 desaparece la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas dando lugar a las nuevas secretarías de Comunicaciones y Transportes y la de Obras Públicas con lo que se da respuesta a las exigencias en el ramo que se derivaron del adelanto socioeconómico y el incremento demográfico del país, determinándose formalmente en 1964 las atribuciones de las diferentes unidades administrativas de dichas dependencias con la expedición el 19 de noviembre de ese año de sus respectivos Reglamentos Interiores.

En 1971, para cumplir adecuadamente con las atribuciones en materia de radio y televisión que le fueron conferidas gradualmente a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se creó dentro de su estructura la Subsecretaría de Radiodifusión, la cual quedó formalizada y reglamentada mediante Acuerdo Presidencial de fecha 23 de julio de 1973. Asimismo, el 2 de mayo de 1972, se facultó a la Secretaría para ejecutar el plan y los programas de la televisión rural del Gobierno Federal, con el objeto de hacer llegar la señal televisiva al agro mexicano y coadyuvar a elevar el nivel cultural del campesino.

El 30 de diciembre de 1972, como consecuencia de las reformas efectuadas al artículo 126 de la Ley de Vías Generales de Comunicación, se concedió a la Secretaría la facultad de expedir licencias de operador al personal que interviene directamente en la operación de los medios de transporte y las vías generales de comunicación.

A raíz de la promulgación de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1976, se incorporaron a esta

Secretaría las funciones referentes al fomento de la marina mercante, la provisión de su infraestructura y la administración de los puertos, excepto los asignados a la Secretaría de Marina, lo cual propició la creación de la Subsecretaría de Puertos y Marina Mercante.

Asimismo, se le encomendó la construcción de las vías férreas y la coordinación sectorial de los organismos y entidades paraestatales vinculados con el Sector Comunicaciones y Transportes, mientras que las funciones en materia de comunicaciones se transfirieron a la Secretaría de Gobernación, a excepción de las referentes a concesiones y permisos. Con esta nueva Ley Orgánica quedó formalizada la desaparición de la Secretaría de Obras Públicas y la creación de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, con el objeto de instrumentar eficazmente las políticas de asentamientos humanos y desarrollo urbano.

El 28 de diciembre de 1982, como resultado de las modificaciones operadas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, se suprime la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, y se incorporaron a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes las áreas de infraestructura que pertenecían a dicha dependencia y, por ende, las funciones relativas a la construcción, reconstrucción y conservación de las obras requeridas para el funcionamiento de los medios de transporte terrestre, aéreo y marítimo, convirtiendo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en la responsable de planear y conducir el desarrollo integral de los servicios de transporte.

Como consecuencia de lo anterior, el 1 de enero de 1983 se inició la definición orgánica y funcional de la Secretaría, misma que adquiere formalidad jurídica con la publicación del Reglamento Interior el 29 de marzo de ese mismo año.

Con este Reglamento se crean los centros SCT para representar a la Secretaría en cada entidad federativa para la ejecución de los programas de obras de infraestructura para el transporte y para la coordinación de acciones con los gobiernos estatal y municipal en el ramo. Posteriormente, en octubre de 1984, se fortalece su autoridad y desempeño, dotándolos del nivel jerárquico de dirección general.

Con el objeto de proporcionar los servicios de telerreservaciones para garantizar las reservaciones en las empresas nacionales de transporte de personas y en los servicios turísticos conexos, se crea el 14 de junio de 1985 el órgano desconcentrado Servicios de Telerreservaciones.

Para mantener los puertos nacionales en condiciones propicias para la navegación marítima, mediante la adecuada conservación de las profundidades requeridas en las vías generales de comunicación marítimas, fluviales y lacustres, se crea el órgano desconcentrado Servicio de Dragado el 3 de diciembre de 1985.

En el marco de la política de descentralización de la vida nacional plasmada en el Plan Nacional de Desarrollo, en el año de 1986 las Direcciones Generales de Correos y Telégrafos Nacionales se constituyen como organismos públicos descentralizados denominándose Servicio Postal Mexicano y Telégrafos Nacionales, respectivamente. Las funciones encomendadas a dichas entidades se orientan a lograr la adecuada, eficiente y oportuna prestación de los servicios que demanda la población en cada materia.

Por otra parte, en octubre de 1986, se modifica el nivel jerárquico de dirección de área a dirección general de las subcontralorías de Auditoría y de Control, adscritas a la Contraloría Interna, con el propósito de fortalecer su función preventiva y de verificación de la función pública.

En marzo de 1987, se concreta el establecimiento y formalización de la Coordinación General de Planeación y Control Sectorial, cuyas funciones se orientaron a la coordinación programática y presupuestal con las entidades del Sector y los centros SCT.

Asimismo y con el objeto de generar, difundir, asimilar y adaptar conocimientos científicos y tecnológicos que constituyan un factor determinante para el desarrollo del país y como un medio eficaz para inducir el cambio estructural, se crean en abril de 1987 los Institutos Mexicano de Comunicaciones y del Transporte, como órganos desconcentrados, dependientes de la Secretaría.

De conformidad con las disposiciones en materia organizacional emitidas por la Secretaría de Programación y Presupuesto el 29 de mayo de 1987 y a fin de impulsar los servicios de comunicaciones hacia un proceso integral, se elimina la Dirección General de Proyectos Especiales y sus funciones se incorporan a la Dirección General de Desarrollo Tecnológico adscrita a la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico.

Por otra parte, como producto de las medidas de racionalidad y disciplina presupuestal dispuestas por el Gobierno Federal en el mes de enero de 1988, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes realiza una reducción de 2 direcciones generales mediante la fusión de la Dirección General de Ferrocarriles con la Dirección General de Autotransporte Federal, dando lugar a la Dirección General de Transporte Terrestre; así como la Dirección General de Carreteras en Cooperación y la de Caminos Rurales que al fusionarse dan lugar a la Dirección General de Carreteras Alimentadoras.

Con fecha 25 de octubre de 1988 se publica en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el cual se determina la extinción del órgano desconcentrado Servicio de Transbordadores, de conformidad con la política de desincorporación de empresas no prioritarias ni estratégicas.

Con apego a las normas de racionalización y a los lineamientos y políticas de modernización del Sector Público, el 28 de diciembre de 1988 la Secretaría de Programación y Presupuesto dictaminó la estructura orgánica básica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, conformada con 23 unidades administrativas centrales, 6 órganos desconcentrados y 31 centros SCT, misma que significó una reducción de 7 unidades superiores, es decir una compactación del 23% que implicó la redistribución de funciones en otras áreas para dar cumplimiento a los programas y metas.

Los principales movimientos consistieron en la fusión de la Dirección General de Carreteras Alimentadoras con la Dirección General de Carreteras Federales; la transformación de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas en Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública; la eliminación de las direcciones generales de Aeropuertos y de Vías Férreas, transfiriendo sus funciones a los organismos Aeropuertos y Servicios Auxiliares y Ferrocarriles Nacionales de México, respectivamente; la eliminación de la

Dirección General de Obras Marítimas cuyas funciones fueron transferidas a la Comisión Nacional Coordinadora de Puertos. La Dirección General de Servicios Técnicos cambia su denominación a Dirección General de Proyectos, Concesiones y Servicios Técnicos y se fusionan las direcciones generales de Marina Mercante y de Puertos, dando lugar a la Dirección General de Puertos y Marina Mercante.

Asimismo, se crea la Dirección General de la Policía Federal de Caminos y se fusionan la Dirección General de Normatividad y Control de Comunicaciones con la de Proyectos de Desarrollo, dando lugar a la Dirección General de Normatividad.

Se elimina la Dirección General de Telecomunicaciones y se crea el órgano desconcentrado denominado Telecomunicaciones de México.

Por otra parte, la Dirección General de Ingeniería de Sistemas se transformó en la Dirección General de Fomento de las Comunicaciones e Informática y se elimina la Contraloría Interna y la Coordinación General de Planeación y Control Sectorial. Asimismo, la Dirección General de Comunicación Social cambia a Unidad de Comunicación Social; se instrumenta la Unidad de Inspectores de Obras y Operación, se reubicó al Instituto Mexicano del Transporte en la Subsecretaría de Infraestructura y al Instituto Mexicano de Comunicaciones en la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico, los cuales posteriormente en agosto de 1989 se adscribieron en línea directa al Titular del Ramo.

La política de comunicaciones y transportes definida en el Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, establece que la participación del Estado en la creación de infraestructura, constituye una función de rectoría e impulso al desarrollo nacional, la cual se complementa y fortalece con la participación de los recursos de los particulares en su construcción y operación.

En esa virtud, a partir de 1989 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes emprendió un proceso de cambio, encaminado a promover una mayor participación de los sectores social y privado en actividades que estaban contempladas como de su exclusiva competencia.

De esta manera, en concordancia con la estrategia de modernización nacional y de reforma del Estado, la Secretaría redefinió su funcionamiento conforme a un nuevo esquema

organizacional que se orientó a delimitar la competencia de las unidades centrales, órganos desconcentrados y entidades públicas, así como a organizar a las oficinas centrales para fortalecer preponderantemente los aspectos normativos, el ejercicio de la autoridad, la planeación, el control y la evaluación, mientras que la prestación de los servicios y la construcción de las obras relativas las ejecutarán las entidades públicas y órganos desconcentrados, o por concesión los particulares.

Posteriormente, el 28 de marzo de 1989 se creó Puertos Mexicanos, órgano desconcentrado en el que se agruparon las funciones que en materia portuaria atendían las direcciones generales de Obras Marítimas y de Puertos, así como las de la Comisión Nacional Coordinadora de Puertos y el órgano desconcentrado Servicio de Dragado.

Cabe señalar que los ajustes derivados de la reorganización de la Secretaría, se formalizaron con la publicación de su Reglamento Interior el 17 de noviembre de 1989, fecha en la que también se eliminó de la estructura central el órgano desconcentrado Telecomunicaciones de México y se creó el organismo público descentralizado Telecomunicaciones de México, mismo que incorporó en su esquema orgánico y funcional a otro organismo denominado Telégrafos Nacionales. Asimismo, se lleva a cabo la desincorporación de Servicios de Telerreservaciones.

En congruencia con el Programa de Modernización de la Infraestructura Portuaria y del reordenamiento de sus servicios, el 28 de septiembre de 1992 se expide el decreto para la extinción del órgano desconcentrado Puertos Mexicanos, así como para privatizar la operación de los puertos, reservándose para esta Secretaría la atención de las funciones de autoridad en materia portuaria, mientras que la operación y la prestación de los servicios será atendida por los particulares.

En virtud de la importancia del nuevo marco funcional de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en materia de puertos y marina mercante y a efecto de favorecer la participación de los sectores social y privado, en julio de 1993 la Secretaría de Hacienda y Crédito Público autorizó la creación de la Unidad para la Coordinación de Puertos y Marina Mercante, a fin de ejercer la autoridad marítima y portuaria, así como para regular la operación y la prestación de los servicios relativos.

La estructura básica autorizada el 5 de julio de 1993 por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público hasta el nivel de dirección general, contempló la creación de la Unidad para la Coordinación de Puertos y Marina Mercante y la Dirección General de Puertos, así como el cambio de denominación de la Dirección General de Puertos y Marina Mercante por la de Marina Mercante.

El 19 de marzo de 1994 se publica en el Diario Oficial el nuevo Reglamento Interior de la Secretaría, en el que se determina un nuevo arreglo organizacional que contempla cambios en la denominación de algunas unidades administrativas y la creación de otras.

Dentro de las áreas de nueva creación, se encuentra la citada unidad que cambió su denominación a Coordinación General de Puertos y Marina Mercante y las direcciones generales de Puertos y de Capitanías; las 2 primeras fueron autorizadas en julio de 1993, sujetas a que se modificara el Reglamento Interior y la última fue creada en marzo de dicho año, las cuales se instrumentan con la responsabilidad de regular, coordinar y vigilar la descentralización y operación del sistema marítimo portuario.

Otras unidades que operaron cambios en su ámbito de competencia y en su denominación fueron: la Dirección General de Centros que sustituye a la anterior Unidad de Inspectores de Obras y Operación; la Dirección General de Conservación de Carreteras sustituye a la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública; la Dirección General de Policía Federal de Caminos y Puertos queda como Dirección General de la Policía Federal de Caminos, con lo que la responsabilidad de vigilar los recintos portuarios se transfiere a la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, y la Dirección General de Tarifas se transforma en Dirección General de Tarifas y Transporte Multimodal.

El 21 de junio de 1995 se publica en el Diario Oficial de la Federación el Reglamento Interior de esta dependencia, el cual incluye modificaciones en el ámbito de competencia de las unidades que la integran y cambios de denominación, así como la creación de dos unidades administrativas.

Con base en dicho ordenamiento, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público autorizó la estructura orgánica básica de la Secretaría con 30 unidades administrativas en el ámbito central: 1 Secretario, 3 Subsecretarios, 1 Oficial Mayor, 2 Coordinadores Generales y 23 Directores Generales. En el ámbito regional mantiene los 31 centros SCT y 3 órganos desconcentrados: el Instituto Mexicano del Transporte, el Instituto Mexicano de Comunicaciones, y Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano.

Los cambios operados en el esquema organizacional consisten en lo siguiente:

Se incorpora la Contraloría Interna en la estructura básica, con dependencia del Secretario del Ramo y la Unidad de Comunicación Social cambia a Dirección General de Comunicación Social; se crea la Coordinación General de Planeación y Centros SCT, de la cual dependerán los 31 centros, disminuyendo significativamente el tramo de control del Secretario, así como la creación de la Dirección General de Evaluación en sustitución de la Dirección General de Centros, la cual coadyuvará en la coordinación funcional de los 31 centros SCT.

En la Subsecretaría de Infraestructura se modifica la denominación de la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones para quedar como Dirección General de Servicios Técnicos. Asimismo, en la Subsecretaría de Transporte, se delimita el ámbito de competencia de sus unidades administrativas, para lo cual la Dirección General de Transporte Terrestre es sustituida por la Dirección General de Autotransporte Federal; la Dirección General de Tarifas y Transporte Multimodal, se constituye como Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal; y la Dirección General de Medicina Preventiva en el Transporte se modifica para quedar como Dirección General de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte.

En la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico, se crea la Dirección General de Administración del Espectro. Asimismo, se modifica la nomenclatura de la Dirección General de Políticas y Normas de Comunicaciones para quedar como Dirección General de Redes y Radiocomunicación. La Dirección General de Normas de Sistemas de Difusión cambia a Dirección de Sistemas de Difusión y la Dirección General de Fomento de

las Telecomunicaciones e Informática se instrumenta como Dirección General de Política de Telecomunicaciones y Negociaciones Internacionales.

En la Oficialía Mayor se modifica la denominación de la Dirección General de Recursos Financieros para quedar como Dirección General de Programación, Organización y Presupuesto, atribuyéndole las funciones de la extinta Unidad de Modernización relativas al análisis y evaluación de las estructuras orgánicas, sistemas y procedimientos de trabajo de las unidades administrativas de la Secretaría y del Sector coordinado, en el marco del desarrollo integral de las dependencias de la Administración Pública Federal, de conformidad con las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicadas el 28 de diciembre de 1994 en Diario Oficial de la Federación.

De conformidad con los requerimientos que demandan el mejoramiento de los servicios y la infraestructura básica del Sector Comunicaciones y Transportes, así como los avances y resultados alcanzados en el proceso de modernización que se viene instrumentando, esta dependencia ha aplicado entre otras políticas, el redimensionamiento de su esquema organizacional y la apertura de una mayor participación de la inversión privada, mediante esquemas bien definidos y con criterios uniformes. Para tal efecto, el 29 de octubre de 1996 se publican en el Diario Oficial de la Federación las reformas al Reglamento Interior de esta dependencia.

En este sentido se realiza el cambio de adscripción del órgano desconcentrado Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano, con dependencia de la Subsecretaría de Transporte, dado que esta ubicación se apega a la naturaleza de sus funciones. Asimismo y de conformidad con el Decreto de Creación de la Comisión Federal de Telecomunicaciones como órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de agosto del año en curso, se incorpora en el esquema organizacional de la dependencia dicha Comisión, con el objeto de regular y promover el desarrollo eficiente de las telecomunicaciones.

Adicionalmente, la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico se reestructura quedando como Subsecretaría de Comunicaciones y le transfiere a la Comisión Federal de Telecomunicaciones diversas atribuciones de tipo técnico y de investigación,

conservando las de carácter normativo, para lo cual mantiene las direcciones generales de Política de Telecomunicaciones y de Sistemas de Radio y Televisión, mismas que atenderán lo relativo a los aspectos normativos, de planeación, evaluación y control de las telecomunicaciones, autorización de concesiones y permisos en la materia y la imposición de sanciones, así como definir e implantar esquemas y mecanismos de promoción en los servicios de radio y televisión, fortalecer las tareas de supervisión de la autoridad, promover una mayor cobertura con criterios de certidumbre jurídica a la inversión y operación de los servicios, respectivamente.

Como resultado de la reestructuración en el ámbito de las telecomunicaciones, se absorben las funciones de capacitación e investigación tecnológica por parte de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, las cuales desarrolla el Instituto Mexicano de Comunicaciones el cual se suprime. Asimismo, se incorpora al esquema de la Secretaría la Unidad de Autopistas de Cuota, la cual viene operando desde el inicio de 1994 como grupo especializado para atender los aspectos de supervisión y seguimiento de los esquemas de financiamiento y operación de las autopistas. En resumen, el esquema básico de la Secretaría autorizado en noviembre de 1996, considera la reducción de 2 direcciones generales en la Subsecretaría de Comunicaciones y la incorporación de la referida Unidad de Autopistas de Cuota.

En diciembre de 1997, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Secretaría de Contraloría y Desarrollo Administrativo autorizan la estructura orgánica básica, no básica y ocupacional de la dependencia integrada por 59 plazas de estructura básica, 609 de estructura no básica, 34 por norma, 832 de autorización específica y 531 puestos de alto nivel de responsabilidad (Figura I.1).

De los cambios más importantes destaca la transformación de la Policía Federal de Caminos en órgano desconcentrado, cuyo Reglamento se publica en el Diario Oficial de la Federación el 13 de octubre de 1997, se cancelan de la estructura no básica la Unidad de Información y la Unidad de Estudios Legislativos que estaban adscritos a la oficina del Titular del Ramo y a la Oficialía Mayor. Asimismo, se incluye como área homóloga la Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional, dependiente en línea directa de la Subsecretaría de Infraestructura.

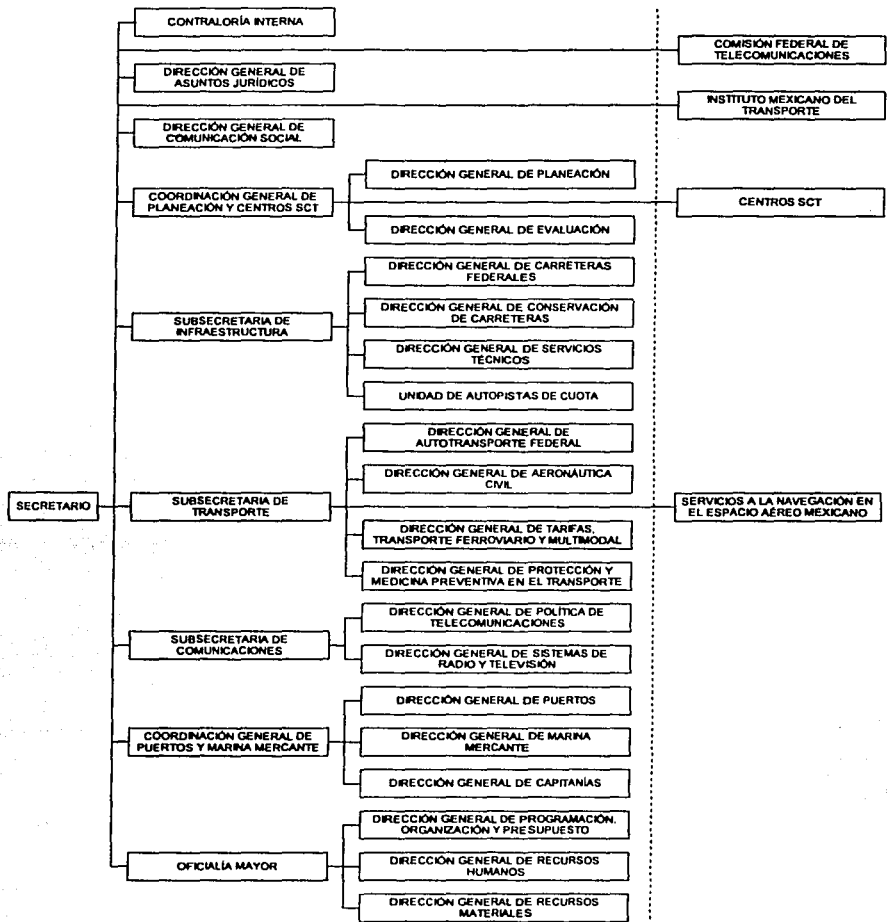


Figura 1.1. Organigrama de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Estructura Dictaminada por la SHCP y la SECODAM en Agosto de 1997)

I.2. ANTECEDENTES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS.

A partir de 1574 los cambios que se abrieron en el territorio nacional fueron auspiciados por el sistema de "Consulados", por lo que al finalizar la época colonial el país contaba ya con una pequeña red carretera y caminos de herradura.

Durante la época independiente entre 1821 y 1861, las funciones correspondientes a la obra pública se encontraban diseminadas en diversas instancias, hasta que el Presidente Juárez las integró en la Secretaría de Fomento, Comunicaciones y Obras, para su atención.

Fue en 1891 cuando se crea la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (S.E.C.O.P.), la cual tenía a su cargo la planeación, construcción y conservación de los caminos del país. Posteriormente, en 1917 y dentro de la Secretaría, fue constituida la Dirección de Caminos y Puentes a cargo de las funciones de su especialidad.

En el año de 1925, se integra como organismo público descentralizado la Comisión Nacional de Caminos, constituida por los Departamentos de Proyectos, Construcción, Cooperación, Puentes, Conservación y Contabilidad. En 1958, el Congreso de la Unión aprobó las modificaciones a la Ley de las Secretarías y Departamentos de Estado presentadas por el ejecutivo, y que establecían la separación funcional de la Obra Pública de la entonces Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Posteriormente en 1960, dependiendo de la Secretaría de Obras Públicas, se crean las Direcciones Generales de Construcción de Carreteras Federales, Carreteras en Cooperación y de Conservación de Carreteras Federales, esta última integrada por los Departamentos de Obra, Técnico y Administrativo, dedicándose a la construcción y conservación de red estatal y federal de carreteras, en coordinación con las autoridades locales responsables.

Para 1970, la Dirección General de Conservación de Carreteras Federales cambió su denominación a la Dirección General de Conservación de Obras Públicas, teniendo a su cargo el mantenimiento de la red nacional de caminos tanto federales como estatales y

vecinales. Esta Dirección General estaba integrada por los Departamentos de Obras, Técnico, de Proyectos, de Programación y Presupuesto y de una Oficina Administrativa.

Conforme a las modificaciones aprobadas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal en 1982, desaparece la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas y se transfieren a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes las funciones de infraestructura y con ellas las de construcción y mantenimiento de la red nacional de caminos, a cargo de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas.

En 1987, de acuerdo al Programa de Modernización Administrativa, la Estructura Orgánica de la Dirección General de Conservación de Obras Públicas se fortalece al elevar el nivel jerárquico de los Departamentos de Obras, Precios Unitarios, Normas Técnicas y Concursos de Proyectos al de Subdirección, a fin de dar cumplimiento a los programas encomendados. Esta estructura quedó registrada ante la Secretaría de Programación y Presupuesto el 16 de junio del mismo año con un total de 21 órganos.

El 17 de noviembre de 1989, como resultado de los ajustes efectuados en el Sector Público, esta Unidad Administrativa cambió su denominación a la de Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública.

Según el Diario Oficial de fecha 19 de marzo de 1994, se publicó el Reglamento Interior de la Secretaría, en el que se modificó el nombre de esta Unidad Administrativa al de Dirección General de Conservación de Carreteras con iguales funciones.

Finalmente en noviembre de 1995, la Coordinación Sectorial de Energía e Industria de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (S.H.C.P.), autorizó la estructura orgánica y ocupacional no básica con vigencia a partir de agosto del mismo año (Figura I.2).

El principal objetivo de la D.G.C.C. es conservar en condiciones óptimas de funcionamiento la red carretera y puentes federales libres de peaje, mediante el desarrollo de programas de reconstrucción y conservación, con la finalidad de proporcionar al usuario seguridad y abatir los costos del transporte, así como establecer las normas y criterios en materia de conservación de la infraestructura carretera federal de libre peaje.

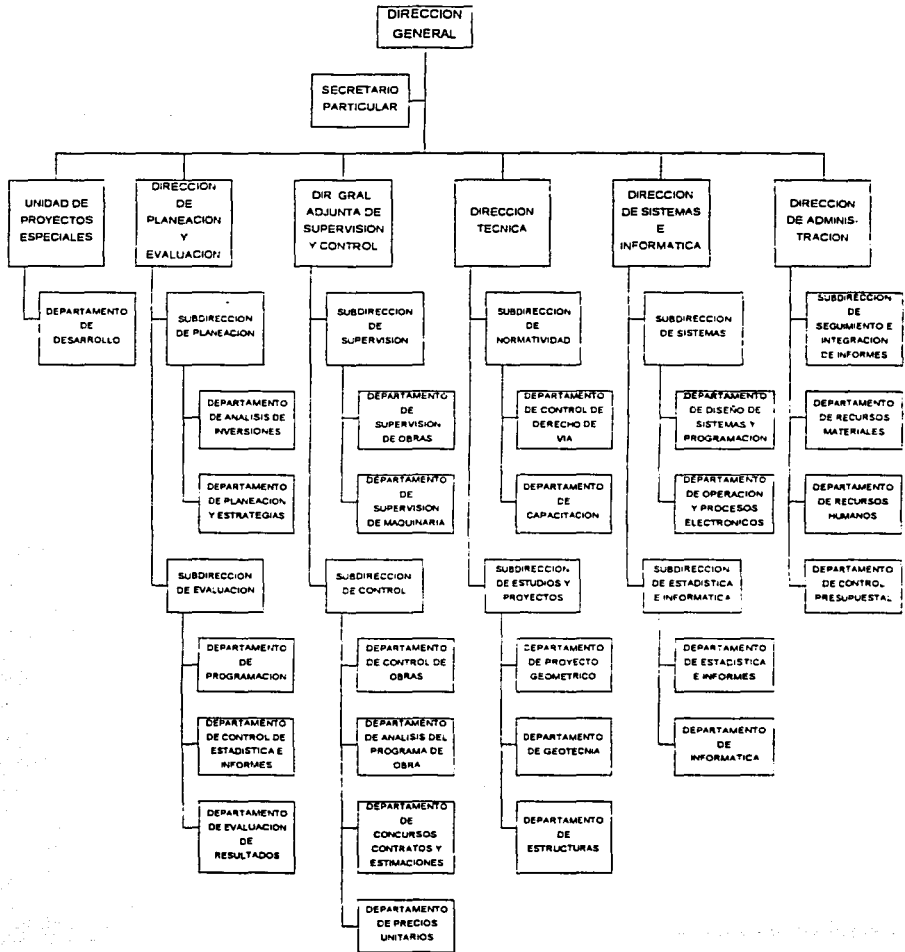


Figura I.2. Organigrama de la Dirección General de Conservación de Carreteras

Las principales funciones que realiza la D.G.C.C. son:

Participar en la definición de la política y los programas de transporte carretero en el ámbito de su competencia e intervenir en la integración de programas para la modernización de la red carretera federal libre de peaje y puentes.

Emitir los lineamientos en materia de conservación de la infraestructura carretera; determinar las normas y criterios para la realización de los programas y obras, así como llevar a cabo el seguimiento de los mismos.

Tramitar la contratación de los estudios y proyectos de conformidad con la normatividad aplicable en la materia.

Normar y supervisar los estudios y proyectos que realicen los centros SCT y otras unidades administrativas para la reconstrucción y conservación, de la red carretera federal libre de peaje, y demás obras bajo su responsabilidad; establecer las políticas con relación a las obras por administración directa y por contrato que realizarán los centros SCT, así como supervisar que se ejecuten conforme a las normas, especificaciones, proyectos, precios unitarios y programas aprobados y, en su caso, conforme a lo estipulado en los contratos.

Participar mediante opinión técnica en el otorgamiento de permisos para la ejecución de obras dentro del derecho de vía o fuera de él, en carreteras federales libres de peaje cuando afecte obras viales o su funcionamiento; normar y supervisar el proyecto, instalación y operación de señalamiento y dispositivos de seguridad que instale la propia Secretaría u otras dependencias, entidades o particulares en la red a su cargo, así como intervenir en el estudio y autorización de los vehículos de carga que deben transitar por las carreteras y puentes federales libres de peaje.

Promover la utilización intensiva de la mano de obra local y la organización de comunidades para que participen y aporten esfuerzos en la reconstrucción y conservación de carreteras federales libres de peaje.

Emitir las normas y lineamientos relacionados con la administración, operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo de construcción propiedad de la Secretaría, para la conservación de carreteras y puentes federales libres de peaje.

Supervisar los trabajos de conservación de carreteras y puentes federales libres de peaje que realicen las unidades administrativas de la Secretaría, así como integrar y mantener actualizado el inventario de los mismos y llevar el registro cartográfico correspondiente por entidad federativa.

Analizar y opinar sobre las solicitudes para modificar y conservar las carreteras y puentes federales libres de peaje, fijando las normas de conservación que corresponda, así como aprobar el proyecto y el programa de dichas obras.

Intervenir en el estudio de las normas de construcción de la Secretaría y de los precios unitarios, así como normar la administración, operación y mantenimiento de la maquinaria y el equipo de construcción destinado a los programas de conservación de las carreteras y puentes federales libres de peaje.

Desarrollar sistemas que permitan conformar bases de datos de información general relativa a la conservación de las carreteras y puentes federales libres de peaje.

I.3. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS GEOMÉTRICOS DE CARRETERAS.

Un proyecto geométrico se puede definir como la determinación global de la forma, dimensiones y detalles para la realización de una carretera, obtenida a través de cálculos, dibujos y estudios de toda clase que se crea necesario.

En 1995 el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) llevó a cabo un estudio que culminó con la publicación de las "Normas de Servicios Técnicos. Proyecto Geométrico de Carreteras", las cuales forman parte de las "Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte" o simplemente "Normas SCT". Dichas normas fueron encomendadas al IMT por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, debido a la antigüedad de las mismas que se tenían desde 1967, y toman en cuenta los avances

tecnológicos, el nuevo equipo, los diferentes procedimientos de construcción y el progreso de la Secretaría en experiencia y tecnología.

La normatividad general se complementa con una serie de manuales, y para el caso del proyecto geométrico se tiene el "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", vigente desde 1967; el cual contiene los procedimientos, cálculos y características necesarias para la elaboración integral de una obra vial.

La SCT hace una clasificación técnica oficial que permite distinguir en forma precisa las características físicas del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito diario promedio anual (TDPA) sobre el camino al final del periodo económico del mismo (15 años), y las especificaciones geométricas aplicadas en México:

Camino	Volumen de Tránsito (TDPA)
Tipo "A"	
Tipo "A ₂ "	de tres mil (3,000) a cinco mil (5,000) vehículos
Tipo "A ₄ " y "A _{4s} "	de cinco mil (5,000) a veinte mil (20,000) vehículos
Tipo "B"	de mil quinientos (1,500) a tres mil (3,000) vehículos
Tipo "C"	de quinientos (500) a mil quinientos (1,500) vehículos
Tipo "D"	de cien (100) a quinientos (500) vehículos
Tipo "E"	hasta de cien (100) vehículos

Adicionalmente los caminos se pueden dividir de acuerdo a su utilidad socioeconómica para la cual fueron planeados en: caminos de integración nacional, caminos de función social, caminos de penetración económica y caminos entre zonas desarrolladas.

Caminos de Integración Nacional. Los caminos de integración nacional son aquellos que sirven principalmente para tener unido el territorio nacional; así en México, los primeros caminos troncales se programaron para comunicar a la capital de la República con las capitales de los estados, más tarde para comunicar a éstas últimas entre sí, así como a las cabeceras municipales.

Caminos de Función Social. Son aquellos que principalmente tienen como finalidad el incorporar al desarrollo nacional a los núcleos sociales de bajos recursos que han permanecido marginados por falta de comunicación.

Caminos de Penetración Económica. Son los que provocan el desarrollo de una zona, sirven principalmente para propiciar el auge agrícola, ganadero, comercial, industrial o turístico de la zona de influencia.

Caminos Entre Zonas Desarrolladas. Son caminos que comunican zonas desarrolladas y se construyen para disminuir los costos de operación, tienen como misión comunicar sólo los puntos que han alcanzado mayor desarrollo; son directos, por lo que disminuyen las distancias de recorridos, la operación es más segura y cómoda. Son caminos con control de acceso, dependiendo del tránsito pueden ser de 2, 4 o más carriles, en el país están constituidas por las llamadas autopistas que en general son caminos de cuota.

1.3.1. PARA OBRAS NUEVAS.

En las obras viales una vez que se ha decidido llevarlas a cabo, se hace la elección de ruta, que es la franja de ancho variable en la que procede construir una obra vial. El ancho de la ruta que al inicio de los estudios puede ser de varios kilómetros, al final, cuando se tienen los planos definitivos, se tiene un ancho igual al derecho de vía, que será el ancho final necesario para la construcción, conservación y en su caso para la ampliación de la obra.

Una vez que se tiene elegida la ruta en forma general, se procede a elaborar el anteproyecto, que consiste en los levantamientos topográficos y estudios de gabinete para obtener el mejor diseño posible, por último se realiza el proyecto definitivo en el cual se afinan los detalles del proyecto geométrico, se realizan los estudios de curva masa y acarreo de materiales, se hace el estudio del drenaje mayor y menor, superficial y subterráneo.

Los elementos que componen un proyecto geométrico son: alineamiento vertical, alineamiento horizontal, y secciones transversales; los cuales describiremos brevemente a continuación:

1. Alineamiento Vertical.

El alineamiento vertical es la proyección del desarrollo del centro de la línea de una vía terrestre sobre un plano vertical; sus elementos son las tangentes verticales y las curvas verticales. Las tangentes verticales están definidas por su longitud y su pendiente. La prolongación de dos tangentes se interceptan en un punto de inflexión vertical (PIV), cuyos elementos son el cadenamiento y la elevación. Para el alineamiento vertical se definen tres tipos de pendientes: mínima, gobernadora, y máxima. El paso de una tangente vertical a otra se realiza por medio de las curvas verticales, cuya característica principal es que la componente horizontal de la velocidad de los vehículos es constante a través de ella. La curva que cumple con esta peculiaridad es la parábola; hay dos tipos de curvas en cresta y en columpio.

2. Alineamiento Horizontal.

El alineamiento horizontal es la proyección del centro de la línea de una obra vial sobre un plano horizontal, sus elementos son las tangentes y curvas horizontales. La posición de los puntos y elementos de un proyecto geométrico, tanto en planta como en elevación, esta ligada a los datos geodésicos del banco más cercano de la nueva obra. Las tangentes del alineamientos horizontal tienen longitud y dirección, la longitud es la distancia existente entre el fin de la curva horizontal anterior y el principio de la curva siguiente; la dirección es el rumbo. Dos tangentes consecutivas del alineamiento horizontal se interceptan en un punto de inflexión (PI), formando entre si un ángulo de deflexión (Δ), que esta constituido por la continuación de la tangente de entrada hacia delante del PI y la tangente de salida.

3. Sección Transversal.

La sección transversal de una obra vial es un corte acorde con el plano vertical y normal al centro de línea en el alineamiento horizontal, dicha sección permite observar la disposición y las dimensiones de sus elementos mostrados en la Figura 1.3. Es preciso hacer notar que el proyecto geométrico de vías terrestres se realiza al nivel de la línea subrasante que marca el final de las terracerías, por lo que las dimensiones que se deben manejar son las que se tendrán a ese nivel.

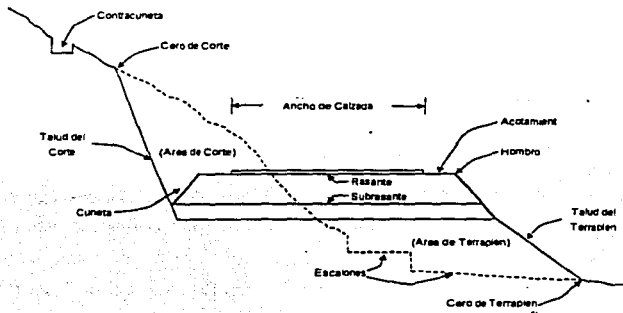


Figura I.3. Sección Transversal Típica en una Tangente del Alineamiento Horizontal

Los elementos que integran y definen la sección transversal son: la corona, la subcorona, las cunetas y las contracunetas, los taludes y las partes complementarias.

Corona. La corona es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino, las aristas superiores de los taludes del terraplén o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos..

Subcorona. Es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En la sección transversal esta representada por una línea. Los elementos que definen la subcorona, y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción del camino, son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

Cunetas. Son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte.

Contracunetas. Generalmente son zanjas de sección trapecoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.

Talud. Es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente, por el recíproco de la pendiente. Por extensión, en caminos se le llama también talud a la superficie que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta; y en terraplenes, la que queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente.

Partes Complementarias. Bajo esta denominación se incluyen aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras. Las defensas y los dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como parte de la sección transversal.

La geometría de las carreteras varían según las características topográficas del terreno que atraviesen, se consideran los siguientes tipos de terreno: Plano, Lomerío, y Montañoso. Los valores de las principales características geométricas se resumen en la Tabla 1.1; para entender cada una de las características, se explican brevemente a continuación:

Velocidad de Proyecto. Velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un tramo de carretera y que se utiliza para su diseño geométrico.

Distancia de Visibilidad de Parada. Distancia de seguridad mínima necesaria para que un conductor que transita a la velocidad de proyecto sobre pavimento mojado, vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él.

Distancia de Visibilidad de Rebase. Distancia mínima necesaria para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra.

Grado Máximo de Curvatura. Límite superior del grado de curvatura que podrá usarse en el alineamiento horizontal de una carretera con la sobreelevación máxima, a la velocidad de proyecto.

Calzada. Parte de la corona destinada al tránsito de vehículos.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																	
		EN EL HORIZONTE DEL PROYECTO	E				D				C								
			HASTA 100	100 A 500			500 A 1 500												
TPDA	Velocidad																		
TIPO DE TERRENO	MONTAÑOSO																		
	LOMERO																		
	PLANO																		
VELOCIDAD DE PROYECTO	Km/h	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	30	40	50	70	85	30	40	50	70	85	30	40	50	70	85	110	130	150
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	0	0	0	0	0	130	160	200	270	310	180	220	270	310	340	400	460	480
GRADO MÁXIMO DE CURVATURA	m %	60	50	37	11	7.8	50	50	17	11	7.8	50	15	11	7.8	6.8	4.25	3.25	3.25
CURVAS VERTICALES	K	4	7	12	33	34	3	4	8	14	20	4	8	14	20	31	43	51	
	L (COLUMPIO)	m %	4	7	10	18	23	4	7	10	18	20	4	10	18	20	23	31	31
VERTICALES	L (LONGITUD MINIMA)	m	30	30	30	40	40	30	15	30	40	40	30	30	40	40	40	50	50
PENDIENTE GOBERNADORA	%		7					8					8						
PENDIENTE MAXIMA	%	13	10				12					8	7						
ANCHO DE CALZADA	m		400					600					800						
ANCHO DE CORONA	m		400					600					700						
ANCHO DE ACOTAMIENTOS	m												650						
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL	m																		
BOMBEO	%		3					3					2						
SOBRELEVACION MAXIMA	%		10					10					10						

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA													
		EN EL HORIZONTE DEL PROYECTO	B						A						
			1 500 A 3 000						MAS DE 3 000						
TPDA	Velocidad														
TIPO DE TERRENO	MONTAÑOSO														
	LOMERO														
	PLANO														
VELOCIDAD DE PROYECTO	Km/h	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	25	30	35	45	55	65	75	30	35	40	50	60	70	80
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	240	270	310	360	400	450	490	270	310	350	400	450	490	530
GRADO MÁXIMO DE CURVATURA	m %	17	11	7.5	5.5	4.20	3.25	2.75	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	2.75
CURVAS VERTICALES	K	8	14	20	31	43	54	70	14	20	31	43	51	65	
	L (COLUMPIO)	m %	10	15	20	28	37	43	15	20	25	31	37	43	
VERTICALES	L (LONGITUD MINIMA)	m	30	40	40	50	60	60	40	40	50	50	60	60	
PENDIENTE GOBERNADORA	%				4							3			
PENDIENTE MAXIMA	%				6							5			
ANCHO DE CALZADA	m				700				700	700	700	700	700	700	700
ANCHO DE CORONA	m				900				900	900	900	900	900	900	900
ANCHO DE ACOTAMIENTOS	m				100				25	25	25	25	25	25	25
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL	m											100	100	100	100
BOMBEO	%				2							2			
SOBRELEVACION MAXIMA	%				10							10			

Tabla I.1. Clasificación y Características de las Carreteras

Curva Vertical en Columpio. Arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical y cuya concavidad queda hacia arriba.

Curva Vertical en Cresta. Arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical y cuya concavidad queda hacia abajo.

Pendiente Gobernadora. Es la pendiente que teóricamente puede darse a las tangentes verticales en una longitud indefinida.

Pendiente Máxima. Es la mayor pendiente de una tangente vertical que se podrá usar en una longitud que no exceda de la longitud crítica correspondiente.

Acotamiento. Faja contigua a la calzada, comprendida entre su orilla y las líneas de hombros de la carretera o, la guarnición de la banqueta o de la faja separadora.

Faja Separadora Central. Es la zona que se dispone para prevenir que los vehículos que circulan en un sentido, invadan los carriles de sentido contrario.

Bombeo. Pendiente transversal descendente, de la corona o subcorona, a partir de su eje y hacia uno o ambos lados en tangente horizontal.

Sobreelevación. Pendiente transversal descendente que se da a la corona o subcorona hacia el centro de las curvas del alineamiento horizontal para contrarrestar, parcialmente, el efecto de la fuerza centrífuga.

1.3.2. PARA MODERNIZACIÓN DE CARRETERAS.

La modernización o la conservación requiere de parámetros de diseño que permitan definir el tipo de camino y el nivel de servicio que se brindará a los usuarios; el proceso de diseño en consecuencia está determinado por las características físicas del camino, del medio ambiente, del vehículo e indudablemente del usuario.

Sin embargo el propósito de todo camino será el de permitir el transporte de bienes y personas a un costo económico, bajo condiciones de seguridad en todo tiempo y bajo cualquier condición climatológica, en un adecuado nivel de servicio durante un determinado periodo de vida útil. El concepto de vida útil debe ser claro y específico; una obra no se construye para toda la vida, cada obra requiere trabajos de mantenimiento y conservación que permitan evitar su deterioro.

Las causas para la modernización de los tramos de una carretera se ubican en alguna de las situaciones siguientes: alto índice de accidentes, alto costo de transporte, altos costos de mantenimiento, capacidad insuficiente, y necesidad de inducir desarrollo económico y social. Las opciones utilizadas mas frecuentemente para la modernización de carreteras son las siguientes:

1. Mejoramiento de los Alineamientos Horizontal y Vertical.

Se realiza mediante la rectificación de curvas horizontales y verticales del camino actual o de su ruta nueva, poniendo especial atención en el concepto de seguridad; conservando constante la velocidad de proyecto en tramos largos y dando en las carreteras de dos carriles un alto porcentaje de distancia de visibilidad de rebase. En las carreteras de cuatro carriles, las distancias de visibilidad se dan por encima de la visibilidad mínima de parada.

Dadas las características de operación de los vehículos, en función de las longitudes críticas de las pendientes, se implementan carriles de ascenso para aumentar la capacidad de las carreteras. Con el fin de abatir los costos de transporte en carreteras con altos volúmenes de tránsito, se han diseñado rutas más directas que reducen distancias, tiempos de recorrido y accidentes, buscando siempre el menor costo total del transporte y las menores afectaciones sociales y de impacto ambiental, librando todas las poblaciones que se encuentran en la ruta pero uniéndolas a esta con ramales.

2. Ampliación de la Sección Transversal.

En ocasiones por las dimensiones del derecho de vía disponible, es conveniente ampliar la corona existente de dos hasta cuatro carriles. En este último caso se instala en la faja

separadora central una barrera de concreto o de acero, generalmente seccionado, para reducir los choques de frente por invasión del sentido contrario.

Un estudio sobre el uso de acotamientos en las autopistas nacionales, mostró que los vehículos que se detienen lo hacen en mayor porcentaje en lugares predispuestos o en anchos mayores a 3.0 m, por ejemplo en los cortes; un mínimo de ellos lo hace en el acotamiento para resolver emergencias y para ello basta el ancho de 2.5 m. Es recomendable proporcionar zonas de paraderos de 5.0 x 30.0 m o mayores aprovechando los tiros de desperdicio o en ampliaciones de cortes para bancos. Con esta disposición y el señalamiento apropiado se busca que el tránsito lento circule eventualmente sobre la zona de acotamiento para permitir el rebase de subida y de bajada sin invasión del sentido contrario.

3. Adición de un Cuerpo Nuevo para Separar Sentidos de Circulación, Mejorando Alineamientos y Sección Transversal.

En algunas carreteras se construye un cuerpo nuevo y se rehabilita el cuerpo antiguo si lo necesita. Así mismo en los tramos en que la topografía lo requiere, dejan de ser paralelos los cuerpos para darle al nuevo el mejor alineamiento posible. En aquellas zonas donde es económicamente posible ampliar el derecho de vía, se deberían construir cuerpos paralelos para reducir accidentes por deslumbramiento.

4. Mejoramiento de la Estructura de la Carretera en Combinación con Ampliación de la Sección.

La ampliación de la corona es ocasión para corregir la estructura y el bombeo de la porción existente y dar a la ampliación las características necesarias para que el conjunto trabaje adecuadamente con el tránsito de proyecto; sin embargo cuando la estructura existente está en buenas condiciones y tiene bombeo hacia ambos lados, la pendiente transversal de ampliación se da hacia fuera y para drenar el centro se construye una cuneta revestida provisional que se conecta a las alcantarillas existentes mediante un tubo vertical. El bombeo del cuerpo antiguo debe cambiarse hacia fuera cuando se requiera mejorar su estructura.

5. Modernización de Entronques.

Los entronques, al igual que el resto de los elementos de la carretera, se están proyectando para que puedan evolucionar por etapas, de manera funcional, al menor costo y con las menores molestias para el público, reservando físicamente el derecho de vía necesario para las condiciones futura previsible. El procedimiento de proyecto se ha seguido modernizando, principalmente con la ayuda de las calculadoras programables, microcomputadoras, software y graficadores automáticos, con cuya ayuda se está logrando optimización, rapidez y economía en los proyectos de los nuevos entronques.

I.4. REGLAMENTACION DE PESOS Y DIMENSIONES.

Para definir el tipo de vehículos que circulan por una vía terrestre, se usa una primera clasificación atendiendo a su clase:

Clase	Nomenclatura
Automóvil	A
Autobús	B
Camión	C

Clase	Nomenclatura
Tractor	T
Semi Remolque	S
Remolque	R

y con base en la anterior, se utiliza una segunda clasificación atendiendo a su número de ejes que tienen:

Tipo	Descripción
A	Corresponden a los automóviles y a los camiones ligeros con capacidad hasta de 3 ton, denominados A2 y A2' respectivamente.
B	Son autobuses de dos, tres y cuatro ejes, denominados B2, B3 y B4 respectivamente.
C	Son los camiones de dos a cuatro ejes (C2, C3, C4), así como los tractores de dos y tres ejes (T2, T3), los semi remolques de uno a tres ejes (S1, S2, S3), y los remolques de dos y tres ejes (R2, R3).

En cuanto a su reglamentación, el día 24 de diciembre de 1960 es publicado el Reglamento e Instructivo sobre el Peso y Dimensiones de Vehículos. En él se permite un peso bruto vehicular máximo de 34.0 toneladas, con una longitud máxima de 18.3 m, un ancho hasta de 2.5 m y una altura máxima de 4.0 m.

El 3 de octubre y el 28 de noviembre de 1980 se publicó el Capítulo XI del Reglamento del Capítulo de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, que trata del peso y otras características de los vehículos. Se permitía ya una longitud máxima de 22.0 m para los vehículos, y el mismo ancho de 2.5 m, así como una altura de hasta 4.15 m. El peso bruto vehicular máximo permitido era de 77.5 ton.

El día 26 de enero de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Reglamento de Pesos y Dimensiones, y el día 15 de febrero del mismo año se publicó la Norma Oficial emergente. El 29 de noviembre de 1994 es publicada la Norma Oficial Mexicana de Pesos y Dimensiones Máximas que deben cumplir los Vehículos de Autotransporte que transiten en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal.

Esta norma contempla que su aplicación en cuanto a dimensiones sea después de transcurridos 30 días de su publicación, mientras que en cuanto a los pesos de los vehículos ésta se realice gradualmente hasta el día 1o. de noviembre de 1997, fecha en que su aplicación deberá ser generalizada. También acepta una longitud máxima de 31.0 m, un ancho hasta de 2.6 m y una altura máxima de 4.15 m. El peso bruto vehicular máximo corresponde a 66.5 toneladas.

De acuerdo con el reglamento mencionado vigente, en México las cargas móviles de diseño que se usan son las denominadas T3-S3 y T3-S2-R4, que identifican a camiones reales cuyo tránsito está permitido en las carreteras federales del país. Los pesos máximos autorizados para cada tipo de eje y camino se pueden ver en la Tabla I.2.

El camión tipo T3-S3 consta de un tractor con tres ejes y un semirremolque con tres ejes, cuyo peso bruto vehicular máximo autorizado es de 48.50 toneladas métricas para circular en caminos tipo A y B pudiendo aumentarse este peso a 54.50 toneladas, si el camión cuenta con suspensión neumática en todos sus ejes, excepto el direccional (ver Tabla I.3).

El camión tipo T3-S2-R4 consta de un tractor con tres ejes, un semirremolque con dos ejes y remolque con cuatro ejes, con peso bruto vehicular máximo autorizado de 66.5 toneladas para caminos tipo A y B que puede aumentarse a 72.50 toneladas durante el periodo de 8 de enero de 1997 al 8 de enero de 2002 si cuenta con un sistema auxiliar de frenos independiente al de las balatas (posteriormente al periodo referido, el peso se ajustará a 66.50 toneladas); además de lo anterior, el peso bruto vehicular de éste camión podrá aumentarse a 81.50 toneladas si cuenta con suspensión neumática en todos los ejes, excepto el direccional (ver Tabla I.4).

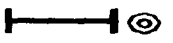
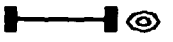

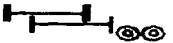



CONFIGURACION DE EJES	TIPO DE CAMINO			
	A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
 SENCILLO DOS LLANTAS	6.50	6.50	5.50	5.00
 SENCILLO CUATRO LLANTAS	10.00	10.00	9.00	8.00
 MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	11.00	11.00	10.00	9.00
 MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS	15.50	15.50	14.00	12.50
 DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	18.00	18.00	16.00	14.00
 MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	19.00	19.00	17.50	15.50
 TRIPLE O TANDEM DOCE LLANTAS	22.50	22.50	20.00	18.00

Tabla I.2. Pesos Máximos Autorizados por Tipo de Eje y Camino (Toneladas)

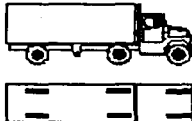

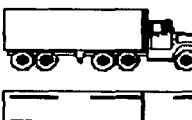
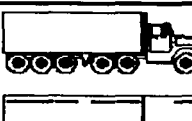
TRACTOCAMION ARTICULADO					
CONFIGURACION DEL VEHICULO	NUMERO DE LLANTAS	TIPO DE CAMINO			
		A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
T2-S1 	10	27.50	27.50	24.50	NA
T2-S2 	14	35.50	35.50	31.50	NA
T3-S2 	18	44.00	44.00	39.00	NA
T3-S3 	22	48.50	48.50	43.00	NA

Tabla I.3. Peso Bruto Vehicular Máximo Autorizado por Tipo de Vehículo y Camino (Toneladas)



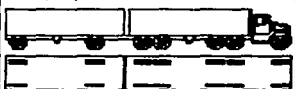
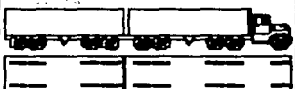


TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO					
CONFIGURACION DEL VEHICULO	NUMERO DE LLANTAS	TIPO DE CAMINO			
		A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
	18	47.50	47.50	42.50	NA
	22	56.00	56.00	50.00	NA
	26	60.50	60.50	52.50	NA
	34	66.50*	66.50*	58.00	NA
	30	63.00	63.00	55.00	NA
	30	60.00	60.00	51.50	NA

Tabla 1.4. Peso Bruto Vehicular Máximo Autorizado por Tipo de Vehículo y Camino (Toneladas)

CAPITULO II

CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

II.1. ELEMENTOS TÉCNICO ECONÓMICOS PARA FUNDAMENTAR LOS PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN.

En el momento presente se dice que la conservación de la red carretera principal, así como su ampliación y modernización, son actividades de mayor prioridad que la construcción de nuevos caminos. lo anterior se señala, dado que el tamaño de la red existente se considera suficiente para las necesidades actuales de cobertura del país.

Dos realidades han caracterizado a la conservación de la red de carreteras principales en México; una se refiere a la continua necesidad que ha existido de reforzar considerables porciones de la misma, y la otra se relaciona con la escasez de recursos que comúnmente ha prevalecido para realizar las inversiones necesarias. La primera se debe a que más del 55% de las carreteras principales tienen más de 30 años de servicio, habiendo sido diseñadas y construidas utilizando normas y técnicas que en la actualidad ya han sido superadas, por lo que sus propiedades geométricas y estructurales pueden considerarse como obsoletas para las necesidades actuales del transporte carretero moderno, en el cual es común la presencia de flujos vehiculares intensos con una significativa participación de vehículos muy grandes y pesados. La segunda se debe a que los recursos destinados a la conservación de la red principal históricamente han provenido del paquete fiscal que anualmente recauda el gobierno federal y que distribuye entre actividades del desarrollo nacional, varias de las cuales se han considerado de mayor prioridad que la conservación de las carreteras.

La situación anterior, de grandes necesidades y significativas carencias de los recursos, ha obligado a buscar métodos efectivos para la asignación eficiente de los siempre insuficientes recursos disponibles. con este objetivo, la atención en los últimos años se ha dirigido hacia los denominados Sistemas de Gestión de Pavimentos (SGP).

Un SGP consiste en un conjunto integral y coordinado de actividades asociadas con la planeación, diseño, construcción, mantenimiento, evaluación e investigación de pavimentos.

El propósito primordial de los SGP es encontrar una combinación de proyectos anuales para la red, que represente la solución económicamente más conveniente, tanto para la agencia gubernamental encargada de su conservación como para los usuarios, obviamente sujeto lo anterior al nivel de recursos disponibles y a otras restricciones que pudiesen existir. Los SGP pueden evaluar varias estrategias, utilizando los efectos esperados de las medidas de mantenimiento y rehabilitación sobre el comportamiento futuro de las superficies de los caminos para identificar aquellas secciones que necesitan un tratamiento e identificar la combinación de medidas de mantenimiento y rehabilitación que proporcionen la condición global deseada de menor costo total.

La gestión de pavimentos generalmente se desarrolla a dos niveles, el de red y el de proyecto.

El proceso de gestión a nivel de red tiene por objeto analizar el estado de toda la red a un nivel que permita establecer preliminarmente la estrategia de diseño inicial, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de menor costo total en las distintas secciones durante un cierto horizonte de análisis, a partir de un estudio de alternativas para cada una de ellas, permitiendo además seleccionar con base a un determinado criterio de priorización, las secciones que deberán repararse cada año y las acciones preliminares que deberán emprenderse en ellas, considerando las restricciones existentes. El resultado fundamental de este proceso es la estimación de los costos de las obras y los presupuestos anuales requeridos para realizarlas. Esta información es esencial para la gestión de los recursos financieros necesarios.

El propósito de la gestión a nivel de proyecto consiste en determinar la estrategia definitiva de diseño inicial, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción a emprender en cada una de las secciones en que deberá actuarse en un año determinado y las acciones definitivas a realizar en ellas, dado el financiamiento obtenido a partir de la gestión de los recursos financieros realizada.

Los dos niveles anteriores de los SGP requieren de datos de evaluación de las condiciones presentes de los pavimentos, los datos necesarios para tomar decisiones a nivel de proyecto son generalmente más detalladas que aquellos requeridos para tomar decisiones a nivel de red. Ya que la recopilación de información de campo suele ser costosa, con el fin de reducir los costos de implementar un SGP, usualmente sólo se recolecta la cantidad mínima de datos requeridos y únicamente cuando son necesarios.

La función de la evaluación de pavimentos en un SGP es medir las respuestas de éstos periódicamente, con el fin de:

- Proporcionar datos que permitan verificar las predicciones realizadas en el diseño de los pavimentos y actualizarlas en caso de ser necesario.
- Reprogramar las medidas de conservación según la actualización antes efectuada.
- Proporcionar datos para mejorar los modelos de diseño.
- Proporcionar datos para mejorar las técnicas de construcción y mantenimiento.
- Proporcionar información para actualizar los programas de mejoramiento de la red.

Por lo tanto, la evaluación de pavimentos es útil en las actividades de planeación y diseño de la administración o gestión de pavimentos y también en las de construcción y mantenimiento. es un componente esencial de los SGP que proporciona los medios para determinar las necesidades tanto a nivel red como de proyecto.

En la administración de pavimentos, básicamente existen los siguientes tipos de elementos:

1. De la calidad del servicio proporcionada a los usuarios de un pavimento por su superficie de rodamiento en un momento determinado; a este tipo generalmente se le conoce como evaluación funcional; se realiza periódicamente (por ejemplo, anualmente) a través de algún tipo de calificación de servicio actual (CSA) o de medición del perfil del camino que conduzca a la obtención de un cierto índice de servicio actual (ISA).
2. De daños; se refiere a la exploración visual y el registro de la frecuencia y severidad de los distintos tipos de daños presentes en un pavimento.
3. Estructural; se refiere a la evaluación de la capacidad de una estructura de pavimento para soportar las cargas del tránsito; se realiza a través del análisis de los materiales que

componen las capas del pavimento o mediante equipos que aplican una carga determinada al pavimento, midiendo su respuesta inmediata en términos de deflexiones.

4. De seguridad; en el contexto de los pavimentos, se maneja comúnmente a través de la medición de la resistencia al derrapamiento de la superficie de aquellos, aunque también puede incluir factores tales como la profundidad de las roderas que pueden afectar el control de la dirección vehicular por parte del conductor, el potencial de deslizamiento cuando el pavimento se encuentra mojado o congelado.
5. De costos; se refiere a la determinación y el registro de los costos iniciales y futuros de construcción y conservación; suele llevarse por separado para las acciones de distinta envergadura (mantenimiento rutinario, conservación preventiva, conservación correctiva, etc.)
6. Estética; se refiere a la apreciación del diseñador y los usuarios sobre la apariencia del pavimento.

Los tipos de elementos anteriores interactúan y de hecho tienen aspectos en común entre ellos. Tradicionalmente, los de mayor importancia han sido los tres primeros. Debido al manejo de términos que se hará en algunas partes de este trabajo, se considera importante aclarar lo que se deberá entender por cada uno de ellos, para evitar interpretaciones diferentes a las utilizadas en esta tesis:

Conservación de Carreteras. Amplio conjunto de actividades destinadas a asegurar el funcionamiento adecuado a largo plazo de un camino o una red de caminos, al menor costo posible. la conservación procura, específicamente evitar la destrucción de partes de la estructura de los caminos y la necesidad de una posterior rehabilitación o reconstrucción. la conservación incluye actividades tales como el mantenimiento rutinario y periódico y el refuerzo de la superficie, incluido el agregado de capas adicionales sobre el camino, sin alterar la estructura existente.

Mantenimiento Rutinario. Conjunto de acciones constantes que se realizan sin importar condición o tránsito y que se restringen a la reparación localizada de pequeños defectos en calzada y el pavimento; nivelación de superficies sin pavimentar y de bermas, mantenimiento regular de drenajes, los taludes laterales, los bordes, los dispositivos para control de tránsito y otros elementos accesorios.

Mantenimiento Periódico. Actividad de conservación de los caminos sin pavimentar que se refiere a la reaplicación de grava. En caminos pavimentados significa agregar una o varias capas adicionales sobre el pavimento, sin alterar la estructura subyacente. También incluye el reciclado del pavimento. El objetivo del mantenimiento periódico es preservar la calidad de la superficie de rodadura, asegurar la integridad estructural del camino por un tiempo más prolongado y evitar su destrucción.

Rehabilitación. Reparación selectiva y refuerzo del pavimento, previa demolición parcial de la estructura existente. La rehabilitación se efectúa cuando el camino se encuentra demasiado deteriorado como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro, pudiendo incluir, además, algunos mejoramientos del drenaje. La rehabilitación tiene por objetivo el restablecer la solidez estructural y la calidad de la rodadura.

Reconstrucción. Renovación completa de la estructura del camino, con previa demolición parcial o completa de la estructura existente, que generalmente se efectúa usando la explanación y el alineamiento regulares del camino. El objetivo de esta actividad es remediar las consecuencias provocadas por el descuido prolongado y se realiza cuando la rehabilitación ya no es posible. La reconstrucción puede tener dos causas: una deficiente construcción, o bien, la ausencia de un esquema sano de conservación.

Reparaciones de Emergencia o Correctivas. Arreglos superficiales que se ejecutan cuando el camino está intransitable o en pésimo estado, como consecuencia del descuido prolongado o de un desastre natural, por no disponer de los recursos necesarios para reconstruirlo, que es lo que correspondería hacer. Normalmente no se remedian las fallas estructurales, pero se hace posible un flujo vehicular regular durante un tiempo limitado. En el mejor de los casos, las reparaciones de emergencia dejan el camino en estado regular.

Con la conservación se persiguen los siguientes objetivos:

- Preservar el patrimonio carretero nacional.
- Proporcionar condiciones de seguridad y comodidad para el traslado de pasajeros.
- Facilitar el intercambio de bienes y servicios entre diversas regiones del país a un costo mínimo.

Una adecuada evaluación es la base para una buena administración de la conservación y uno de los problemas de mayor relevancia a resolver de manera inmediata en la infraestructura del transporte. Esta evaluación se basa esencialmente en la calificación del estado superficial y en la medición de deflexiones que caractericen su capacidad estructural. La evaluación debe ser objetiva, subjetiva y de recopilación de antecedentes.

II.2. ADQUISICIÓN DE DATOS DE TRANSITO.

II.2.1. INVENTARIO DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

El contar con los datos mas representativos de las características geométricas de todas las carreteras del país es de suma importancia, si consideramos que para poder fijar metas a corto, mediano o largo plazo para el desarrollo de obras de infraestructura del país y dar soluciones a los problemas a los que nos enfrentamos día a día como por ejemplo: el disminuir el número de accidentes que ocurren en una carretera, hacer ampliaciones a carreteras que tienen un alto grado de ocupación o dar a los usuarios vías alternas para llegar a un mismo destino, el tener en buenas condiciones las carreteras por las que pasa la mayor cantidad de dinero en mercancía, etc; es necesario saber cuales, cuantas, como están distribuidas y como son las carreteras con las que cuenta el territorio nacional.

Para este efecto, en los años sesentas, la Secretaría de Obras Públicas por medio de la Dirección General de Planeación y Programa, se dio a la tarea de recabar toda la información necesaria de las características de todas las carreteras del país, ya que de la mayoría de ellas no se contaba con los proyectos con las cuales fueron construidas, con esta información se elaboraron unos planos odométricos en los que se describía:

1. El nombre de la carretera y del tramo.
2. La dependencia que estaba a cargo de la carretera.
3. Longitud del tramo.
4. Longitud en tangente y en curva.
5. Longitud en poblado, en las entidades.
6. Longitud en terreno plano, lomerío y montañoso.
7. Longitud en brecha, terracerías, revestimiento, pavimentadas.
8. Número y longitud de puentes, vados y cruces en chalán.

9. Grado máximo de curvatura.
10. Pendiente máxima.
11. Dibujo en planta del tramo a escala, indicando kilometraje, ubicación de puentes, su longitud y su ancho de calzada, ubicación de obras de drenaje menor, poblados, cruce de ferrocarriles.
12. Dibujo del perfil del tramo a escala, indicando puentes, obras de drenaje menor, entronques, y cruce de ferrocarriles.
13. Una configuración del tipo de terreno dividiéndolo en subtramos.
14. Dibujo a escala del derecho de vía.
15. Dibujo a escala de los diferentes anchos de corona y carpeta que se presentan a lo largo del tramo.
16. Gráfica del alineamiento horizontal a escala, indicando el kilometraje de la curva, grado de curvatura y si es derecha o izquierda.
17. Gráfica del alineamiento vertical a escala, donde se observan los kilometrajes y la pendiente en porcentaje de las curvas verticales.
18. Dibujo de los subtramos que cuentan o no con visibilidad de rebase.
19. Simbología utilizada.
20. Observaciones.
21. Datos de quien realizó los planos, de los directivos de la dependencia.
22. Y la fecha en que fue realizado dicho plano.

Al paso del tiempo, con la construcción de nuevas carreteras y modernización de tramos se hizo obsoleta la información de estos planos, por lo que fue necesaria su actualización. La Dirección General de Servicios Técnicos actualmente cuenta con un compendio de las características geométricas de todas las carreteras del país, escrita ya no en planos sino en tablas, éstas contienen todos los datos anteriormente descritos en cuanto a características geométricas se refiere.

II.2.2. VOLÚMENES DE TRANSITO

Los volúmenes de tránsito se definen como el número de vehículos que pasan por un punto dado, ya sea de un camino o de un carril en particular, durante un periodo específico.

Transito Diario Promedio Anual (TDPA). Es el volumen total de vehiculos que circulan durante todo un año dividido por el número de días del mismo.

Transito Diario Promedio Semanal (TDPS). Es el volumen total de vehiculos aforados durante una semana dividida por el número de días de ella.

Transito Horario Máximo Anual (THMA). Es el volumen mayor correspondiente a una hora especifica de todo el año.

Transito de la Trigésima Hora de Máxima Demanda. Es el volumen correspondiente a una hora, a la cual le anteceden 29 horas del año con volúmenes superiores a ella.

Densidad. Es el número de vehiculos en movimiento que ocupan una unidad de longitud de un carril o carriles de un camino y en un instante determinado, expresada generalmente en vehiculos por kilómetro.

Densidad Promedio. Es el número de vehiculos promedio por unidad de longitud de un camino durante un intervalo específico de tiempo.

Volumen Horario de Proyecto (THP). Es el volumen de vehiculos que circulan durante una hora determinada y que servirá para definir las características geométricas de un camino.

II.2.2.1. Uso de los Volúmenes de Tránsito

Los datos sobre volúmenes de tránsito se utilizan ampliamente en los siguientes campos:

1. Ingeniería de tránsito

- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades
- Caracterización de flujos vehiculares
- Zonificación de velocidades
- Necesidades de dispositivos de control de tránsito
- Estudio de estacionamientos.

2. Planeación

- Clasificación sistemática de redes de carretera
- Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito
- Modelos de asignación y distribución de tránsito
- Desarrollo de programas de conservación, mejoras y prioridades
- Análisis económicos
- Estimaciones de la calidad del aire
- Estimaciones del consumo de combustible.

3. Proyecto

- Aplicación de normas de proyecto geométrico
- Requerimientos de nuevas carreteras
- Análisis estructural de superficies de rodamiento.

4. Seguridad

- Cálculo de índices de accidentes y mortalidad
- Evaluación de mejoras por seguridad.

5. Investigación

6. Usos comerciales

- Hoteles y restaurantes
- Urbanismo
- Actividades de recreación y deportivas.

Específicamente, dependiendo de la unidad de tiempo en que se expresen los volúmenes de tránsito, estos se utilizan para:

1. Los volúmenes de tránsito anual

- Determinar los patrones de viajes sobre áreas geográficas
- Estimar los gastos esperados de los usuarios de las carreteras
- Calcular índices de accidentes

- Indicar variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito especialmente en carreteras de cuota.
2. Los volúmenes de tránsito promedio diario
- Medir la demanda actual de calles y carreteras
 - Evaluar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial
 - Definir sistema arterial de calles
 - Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes.
3. Los volúmenes de tránsito horario
- Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda.
 - Evaluar deficiencias de capacidad
 - Establecer controles en el tránsito, como: colocación de señales, semáforos, marcas viales, jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tránsito; y prohibición de estacionamientos, paradas y maniobras de vueltas
 - Proyectar y rediseñar geoméricamente calles e intersecciones
 - Clasificación de caminos
 - Programas de operación vehicular tales como la implementación de calles de un sentido de circulación, carriles exclusivos para autobuses, carriles reversibles congruentes con la demanda vehicular durante las horas pico
 - Establecimiento de normas y reglamentos, como la prohibición de estacionamiento en la calle en horas de mayor concentración vehicular, restricción de vueltas izquierdas o derechas, etc.

II.2.2.2. Métodos de Conteo

Conteos Manuales. Son realizados por personas denominadas aforadores de tránsito y son usados cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el uso de dispositivos mecánicos. Este método permite conocer el volumen de los movimientos direccionales en intersecciones, los volúmenes por carriles individuales, composición vehicular, número de ocupantes, conteo de peatones.

El método manual es generalmente usado para recuentos de volúmenes de corta duración desde cinco minutos hasta 24 horas de duración.

Las formas de campo utilizadas para este fin se presentan en la Figura II.1 y Figura II.2. En estas hojas son registrados los conteos cuando los volúmenes son bajos, para volúmenes altos es conveniente el uso de contadores automáticos. Los aforadores registran los datos directamente en las formas de campo las cuales pueden ser utilizadas para recuentos de cinco, quince, treinta o sesenta minutos. Estas formas son utilizadas para los diferentes movimientos direccionales pudiéndose diseñar otras que tengan semejanza con una intersección en particular, para evitar errores debido a confusiones del personal.

Dispositivos Mecánicos. Los dispositivos mecánicos permanentes son usados para recuentos de volúmenes de tránsito en forma continua, registrándose las diferentes variaciones horarias, diarias, semanales y mensuales, año con año. Esta inspección es sumamente importante para el conocimiento de la tendencia del crecimiento del tránsito y para el cálculo del tránsito diario promedio anual (TDPA). Para el registro de estos datos, son utilizados diferentes dispositivos, los cuales se mencionan a continuación:

- Dispositivos de contacto eléctrico
- Dispositivo fotoeléctrico
- Radar
- Magnético
- Ultrasónico
- Infrarrojo.

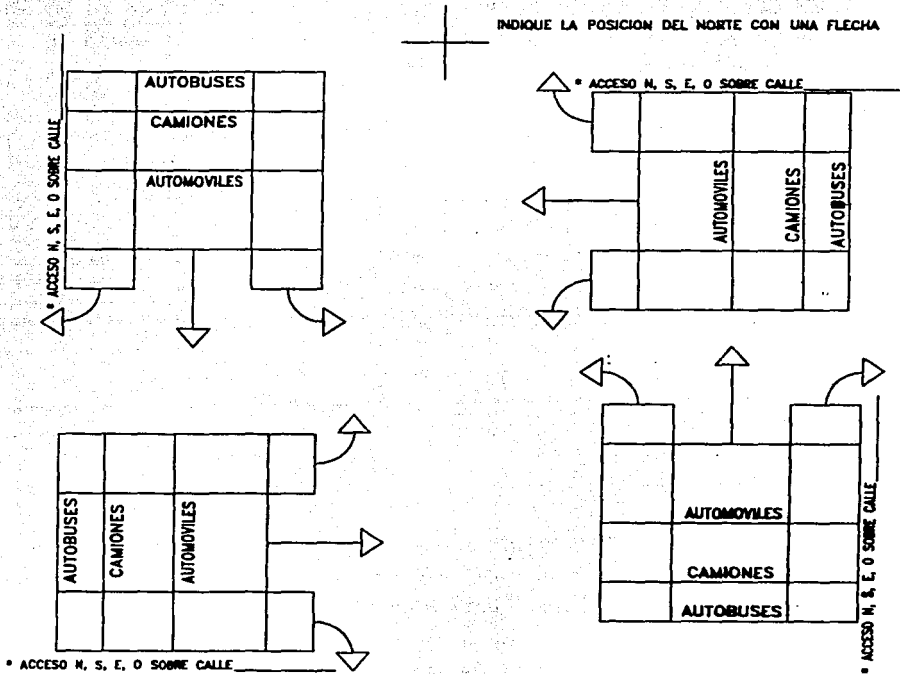
Para efecto de registro de los volúmenes se pueden usar cinta impresa, carta gráfica circular, indicador visual, programas o software para computadora; estos aparatos pueden ser acoplados a los diferentes dispositivos que existen.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Servicios Técnicos es la encargada de hacer año con año aforos de tránsito en toda la república, utiliza para hacer los aforos aparatos como el Afomático 2000 y el Archer 6400 que tienen dispositivos de contacto eléctrico con registradores electrónicos de computadora.

AFORO DE VEHICULOS

UBICACION _____
 FECHA _____ DIA DE LA SEMANA _____
 HORA INICIAL _____ HORA FINAL _____ TOTAL DE HORAS _____
 CONDICIONES ATMOSFERICAS _____ Y DEL PAVIMENTO _____
 OBSERVADOR _____

INDIQUE LA POSICION DEL NORTE CON UNA FLECHA



* MARQUESE EL ACCESO CORRESPONDIENTE: N (NORTE), S (SUR), E (ESTE), O (OESTE)

Figura II.1. Formato #1 de Campo para Aforo Vehicular

II.2.2.3. Periodos Empleados en el Aforo de Vehículos

Los periodos empleados dependen principalmente del método empleado y del propósito para el que son realizados.

En términos generales, si el aforo es por medio de contadores, los volúmenes registrados son por periodos de 24 horas. En cambio, los aforos manuales son efectuados en las horas de mayor demanda de tránsito u horas pico y se realizan con el fin de establecer las regulaciones de tránsito o para realizar cambios geométricos de las vías en las que se presenta alguna deficiencia en la circulación vehicular.

Estos aforos manuales deben ser relacionados con las variaciones semanales y mensuales de las estaciones de conteo permanentes a fin de poder pronosticar los volúmenes de proyecto. Al realizar un aforo se debe evitar realizarlo los días y horas tales, en los que los volúmenes de tránsito presenten características distintas a las que generalmente tienen, a menos que así lo requiera un estudio en particular.

II.2.2.4. Tipos de Estaciones de Aforo

Permanentes. Las estaciones permanentes son lugares donde se instalan dispositivos y registradores para aforar el tránsito durante todo el año, éstas deben estar distribuidas de tal manera que todos los caminos o los representativos de ellos cuenten con una. Estas estaciones deben ser cuidadosamente localizadas para reflejar los padrones de comportamiento del tránsito en las diferentes calles o carreteras, ya que los resultados son utilizados para completar los recuentos cortos realizados en otros puntos.

Estaciones de Control Periódico. Las estaciones de control son colocadas para determinar las características del tránsito a lo largo del día o en periodos específicos, estos aforos sirven también para designar factores que complementen a los recuentos cortos realizados en otros puntos. Se deben realizar en periodos de una semana, con intervalos de tres meses, para definir variaciones estacionales y la relación entre el volumen promedio y el anual. Esta relación y las variaciones son muy útiles para efectos de expandir los volúmenes obtenidos en los recuentos de corta duración.

II.2.2.5. Características de los Volúmenes de Tránsito

Los volúmenes de tránsito sólo son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de fuerzas dedicadas al control de tránsito y la labor preventiva, así como la conservación.

Con respecto a volúmenes de tránsito, para obtener el tránsito promedio diario anual, TPDA es necesario disponer del número de total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces, esta información anual es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades, por los costos que ello implica. Sin embargo, se pueden conseguir datos en las casetas de cobro de carreteras o puentes de cuota, y mediante contadores automáticos instalados en estaciones maestras de la gran mayoría de las carreteras de la red vial de la nación. En estas situaciones, muestras de los datos sujetos a técnicas de análisis permiten generalizar el comportamiento de la población.

II.2.2.6. Expansión y Ajuste de los Conteos

Los volúmenes obtenidos mediante mediciones cortas deben ser expandidos y ajustados a un valor o base común, ya que no se lograrían valores comparables de un día de un mes con respecto a otro. El valor al cual pueden relacionarse dichos conteos es el Volumen Diario Promedio Anual, Este valor es generalmente usado para conocer el nivel de servicio que proporciona una arteria vial. Para poder realizar las tareas de expansión y ajuste, es necesario contar ya sea con estaciones de conteo permanente o de control periódico, en donde los diferentes volúmenes son tomados de tal manera que pueda ser establecida una relación entre el volumen del periodo y el volumen diario promedio. El uso de los factores de expansión y de ajuste de las estaciones de control se basa en la premisa de que existen patrones de tránsito similares para situaciones viales también similares. Por lo tanto solo será necesario identificar la estación de control que tenga un patrón de tránsito igual a la de la estación temporal, para obtener los factores de ajuste adecuados.

La Dirección General de Servicios Técnicos edita cada año un libro de Datos Viales, el cual indica el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de las carreteras de cada estado del país para ese año, indicando si es en un sentido de circulación o en ambos, además detalla la composición vehicular, el factor "K" que relaciona los Volúmenes Horarios más altos registrados en la muestra y el Tránsito Diario Promedio Anual que es de utilidad para determinar el Volumen Horario de Proyecto, el factor Direccional "D" que se obtiene de dividir el volumen en el sentido de circulación más numeroso entre el volumen de ambos sentidos y da en porcentaje las variaciones de los volúmenes según los días de la semana. La última parte del libro de Datos Viales se hace una síntesis de los registros de las estaciones permanentes de las autopistas concesionadas dando el volumen de tránsito promedio mensual y el volumen máximo mensual de cada autopista y su composición vehicular.

II.2.2.7. Proyecciones de Volúmenes de Tránsito

Para designar las características geométricas y operacionales con que deberá diseñarse una arteria vial o un camino, es básico hacer un pronóstico o proyección de su tránsito a futuro, y el contar con los registros de aforo ya sea de estaciones permanentes o mediante muestreos de corta duración es indispensable para su cálculo.

La manera más sencilla de determinar los volúmenes de tránsito a futuro, es mediante la obtención de una tasa de incremento anual del tránsito, lograda del desarrollo histórico de dichos volúmenes. En este método de obtención se considera que los sucesos en el futuro serán función directa de las experiencias pasadas.

II.2.3. ESTUDIO DE ORIGEN, DESTINO Y PESAJE

Los estudios de origen y destino, expresados en forma más simple por las siglas O y D, permiten conocer el comportamiento del movimiento de personas y cosas, dentro de un área en particular.

Son un valioso instrumento para la detección de necesidades, ya que proporcionan origen y destino de los viajes hechos durante un día característico. Además suministran información tal como la hora en que son realizados los viajes y el modo como son hechos. Estudios más

completos contienen información adicional como propósito de los viajes, estratos sociales y económicos de los viajes, entre otros.

En virtud de que estos análisis proveen información de origen y destino de los viajes, es menester que el área que va a ser estudiada se subdivida en zonas con la finalidad de asignar los orígenes y destinos a los centroides de las mismas. Además, deberá establecerse un cordón circundando el área para fines de delimitación del estudio.

La magnitud de estas investigaciones dependerá de las finalidades que sean perseguidas y podrán variar desde un simple muestreo de orígenes y destinos de vehículos que usan una intersección, hasta estudios integrados para ser usados en la planeación de los sistemas de transporte de una población.

La información de origen y destino, permiten estar en la posibilidad de determinar lo siguiente:

- Demanda de viajes en las redes de transporte existentes o futuras.
- Requerimiento de estacionamiento.
- Establecimiento de diferentes modos de transporte.
- Puntos idóneos para la ubicación de terminales o zonas de transferencia.
- Construcción de libramientos.
- Localización y proyecto de nuevas arterias, nuevas carreteras, etc.
- Vías o arterias exclusivas para tránsito carretero y comercial.
- Cambios de rutas del transporte o implantación de carriles exclusivos para el transporte colectivo.
- Sistema prioritario de construcción.
- Programación de nuevas carreteras o modernización y conservación a carreteras existentes.

Antes de iniciar a describir los diferentes métodos para realizar análisis de origen y destino, resulta conveniente definir algunos de los términos comúnmente usados en los estudios de transporte.

Origen. Lugar donde comienza un viaje.

Destino. Lugar donde finaliza un viaje.

Viaje. Movimiento de un sentido entre un origen y un destino, independiente de la distancia entre ellos.

Fin del Viaje. Cualquiera, ya sea origen o destino del viaje.

Viajes Locales. Los realizados dentro del área en estudio.

Viaje Externo. El que tiene su origen y destino fuera del área en análisis.

Líneas de Deseo. Aquellas líneas rectas que conectan centroides de zonas y que representan los viajes que se realizan entre ellas.

Líneas Divisorias. Aquella establecida para dividir el área en estudio, para efectos de investigar la confiabilidad del proyecto.

II.2.3.1. Métodos para Estudios de Origen y Destino

Entrevista Domiciliaria. Es el método que reporta la mayor cantidad de datos confiables, es por ello que resulta costoso, se requiere de gran consumo de tiempo y de bastante personal para realizar las encuestas, consiste básicamente en seleccionar al azar una muestra representativa de viviendas, en las cuales deberán realizarse entrevistas personales para obtener las características de los viajes de todos los integrantes de la familia.

Este método además, permite conocer la estructura socio - económica de los habitantes, cuyos datos son muy útiles para efectos de proyecto. Requiere de información anticipada a los pobladores de la zona en estudio, con el fin de abolir recelos y desconfianza a la hora de obtener la información.

Método del Teléfono. Es una variante de la entrevista domiciliaria, ya que éstas son hechas telefónicamente. Para tal fin se seleccionará una muestra del directorio telefónico, como puede ser deducido, no es tan confiable, ya que las entrevistas son realizadas en viviendas que tienen teléfono. La ventaja de este método es el bajo costo.

Método de la Entrevista en el Camino. Realizada en puntos estratégicos a lo largo de los caminos escogidos para tal fin. El número de personal necesario es mínimo ya que estará formado sólo por los entrevistadores y aparte una o dos personas para contar el total de los

vehículos, esto es con objeto de determinar el porcentaje de los vehículos que fueron encuestados, del total de ellos, y así poder expandir la muestra para tener los valores reales.

Las preguntas que son hechas a los conductores son entre otras:

- Tipo de vehículo
- Número de personas ocupantes del vehículo
- Origen y destino del viaje
- Propósito del viaje
- Localización del estacionamiento
- Paradas intermedias
- Ruta escogida

Tiene la desventaja de que no pueden ser detenidos los vehículos por mucho tiempo ya que ocasionarían daños a la operación vehicular, y por lo tanto sólo pueden ser obtenidas las características de los viajes. En cambio, presenta la ventaja de que es un estudio que no tiene que ser realizado en un solo día, empleándose en casos en donde existe escasez de personal.

Método de Tarjeta Postal (no se utiliza actualmente). Se fundamenta en el uso del servicio postal para el retorno de las tarjetas, a las cuales no se le tiene que adicionar timbres o dirección. Para la llegada de ellas a los usuarios existe la variante de entregarlas en el camino en una parada obligada, tal como casetas de cobro, semáforos, otros; o enviándolas directamente al domicilio de los poseedores de vehículos, cuya dirección es obtenida directamente de los proveedores de dicho transporte.

Las tarjetas entregadas en el camino pueden tener una pregunta referente a la clasificación del vehículo, o estar identificada de antemano, con colores o alguna clave de acuerdo al tipo de vehículo. Además estas tarjetas deben tener una identificación de la ubicación del punto donde se están entregando, con el fin de correlacionarlas con los conteos vehiculares que serán realizados en el mismo punto. Si las tarjetas postales son enviadas por correo, entonces deberán ser codificadas con anterioridad para localizar la zona donde se manda y

el tipo de vehículo al que corresponde. En dicha tarjeta, se les solicita a los poseedores de vehículos la información sobre los viajes efectuados en un día específico.

Este método tiene la ventaja de requerir menos dinero, ahorro de tiempo y mínimo adiestramiento del personal, pero puede conducir a parámetros erróneos al procesar la información, ya sea por falsedad de la misma o por escaso retorno de las tarjetas. La ventaja que también presenta, es que la información será exclusivamente acerca de las características de los viajes.

II.2.3.2. Estudio de Peso y Dimensiones

La Dirección General de Servicios Técnicos, de la SCT, realiza periódicamente estudios de origen-destino en algunos tramos de la red federal y los publica. El último estudio fue hecho en 1996, y en éste se agregó el peso y dimensiones de los vehículos.

Los estudios son realizados por medio de entrevista directa a los conductores que transitan por el sitio de estudio y el peso de los vehículos de carga se determina con una medición dinámica.

Además de la información ya mencionada que proporciona este tipo de estudios, éstos se han orientado también a conocer y resolver el problema general de pesos y dimensiones de los vehículos que circulan por la red carretera con objeto de fundamentar por una parte, la normativa para el proyecto estructural de la infraestructura y por otro lado establecer límites legales sobre el peso y las dimensiones de los vehículos.

La información sintetizada del estudio incluye: ubicación, periodo del estudio, volúmenes de tránsito y su composición vehicular, promedio de pasajeros y de tripulantes por vehículo, motivo del viaje, tipo de carga, toneladas transportadas por tipo de producto, peso bruto vehicular y por eje, si el producto es de importación, exportación o para mercado interno, camiones con carga y sin carga por sentido de circulación, dimensiones del vehículo y distancia entre ejes y las principales rutas de origen - destino agrupadas de acuerdo a la importancia de su volumen, vehículos con exceso de dimensiones.

II.2.4. NIVELES DE SERVICIO

Una corriente de tránsito, dentro de un sistema vial, funciona aceptablemente bien cuando la magnitud del flujo, circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema, en otras palabras, cuando el sistema tiene la suficiente capacidad (oferta) para alojar el flujo vehicular presente (demanda), sin demoras excesivas para los usuarios. Igualmente, se estableció que cuando los valores de los flujos vehiculares están muy próximos a los de la capacidad, el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente. Más aún, los flujos vehiculares inferiores a la capacidad, que circulan a velocidades bajas y densidades altas, representan condiciones de operación forzada, que incluso pueden llegar a detenciones momentáneas del tránsito, produciendo bajos niveles de operación. Por otro lado, las mejores condiciones de operación se logran con la presencia de algunos vehículos circulando en el sistema vial a velocidades de flujo libre.

Para determinar la capacidad de un sistema vial rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones físicas de operación.

Así mismo, no puede tratarse la capacidad de un sistema vial sin hacer referencia a otras consideraciones importantes que tienen que ver con la calidad del servicio proporcionado.

Por lo tanto, un estudio de capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia (cuantitativo) y la calidad (cualitativo) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda).

En la planeación de proyectos y operación de las obras viales, los análisis de capacidad juegan un papel preponderante, pues permiten estimar las máximas magnitudes de tránsito operables, mientras se mantengan los atributos que caracterizan la calidad del flujo vehicular.

Los procedimientos descritos están basados en la tercera edición del Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (edición 1985), lo que se justifica al ser las diferencias entre conductores, vehículos y carreteras de México y Estados Unidos poco significativas y

perder importancia frente a la fuerte variabilidad en las distribuciones de las demandas del tránsito y a la gran incertidumbre de su evolución futura. Cuando los procedimientos lo permitieron se incorporó información de estudios desarrollados en México para en lo posible aclimatar este manual a las condiciones del país.

En general, la capacidad de una infraestructura se define como la máxima razón horaria, en la cual los vehículos pueden pasar por un punto, una sección uniforme o un carril de un camino durante un período de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes del cambio, el tránsito y de control.

La capacidad se define para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar la modifican, éstos pueden agruparse bajo los siguientes rubros.

Condiciones de la Obra. Se refieren a las características físicas de la infraestructura (de tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de accesos, dividida o no, de dos o más carriles, etc.), al desarrollo de su entorno y a las características geométricas (ancho de carriles y acotamientos, obstáculos laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase y características de los alineamientos). En algunos procedimientos, la geometría suele caracterizarse por el tipo de terreno en donde se aloja la obra: plano, lomerío o montañoso. Esta geometría considera, más que la orografía del terreno propiamente dicha, las características operativas de los vehículos al circular por las carreteras alojadas en ese tipo de terreno. Así, un terreno plano se asocia a los caminos con una geometría tal que permite a los vehículos pesados sostener las mismas velocidades que los automóviles; en cambio, un terreno montañoso, se asocia con los caminos en los que los vehículos pesados operan a velocidades de régimen, en distancias significativas o a intervalos frecuentes.

Condiciones del Tránsito. Se refieren a su distribución en tiempo y espacio y a su composición en tipos de vehículos pesados (más de cuatro llantas), que a su vez pueden ser camiones, autobuses y recreativos.

Condiciones de Control. Se refieren a dispositivos para el control del tránsito, tales como semáforos y señales restrictivas (alto, ceda el paso, no estacionarse, sólo vuelta a la izquierda, etc.).

El nivel de servicio es una medida cualitativa para caracterizar las condiciones de operación del tránsito. Se han establecido seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, las condiciones de operación de estos niveles, se ilustra en las fotografías de la Figura II.3, para sistemas viales de circulación continúa son:

Nivel de Servicio A. Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación, es excelente.

Nivel de Servicio B. Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobrar en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

Nivel de Servicio C. Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

Nivel de Servicio D. Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y la libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

Nivel de Servicio E. El funcionamiento está en o cerca del límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobrar para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo a ceder el paso. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo

muy elevada la frustración de los conductores. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

Nivel de Servicio F. Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestable.



Nivel de Servicio A



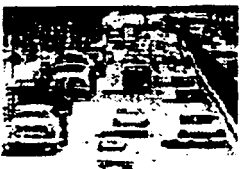
Nivel de Servicio B



Nivel de Servicio C



Nivel de Servicio D



Nivel de Servicio E



Nivel de Servicio F

Figura II.3. Niveles de Servicio de una Carretera.

II.2.5. TIEMPOS DE RECORRIDO

El estudio de tiempos de recorrido y demoras se utiliza para determinar el lapso que toma llegar de un punto de origen, a otro de destino, sobre un tramo de camino o una ruta determinada.

Este tipo de estudio es un indicador potencial del nivel de servicio de los ejes viales o carreteras con un volumen de tránsito diario alto, permitiendo conocer la eficiencia o deficiencias de las vías, ubicación de tramos conflictivos y su comportamiento en el tiempo según las tendencias de crecimiento de la población de la zona de influencia.

Mediante estos estudios se verifica el funcionamiento de una vía antes y después de ser modernizada ya sea geométrica u operacionalmente.

Para los estudios económicos resulta obvia la necesidad de los estudios de tiempos de recorrido, en el análisis de Costo – Beneficio se utilizan para evaluar el monto absorbido por los ahorros en tiempo obtenidos con las mejoras o nuevas rutas.

II.2.5.1. Métodos para Realizar Estudios de Tiempos de Recorrido y Demoras

Técnica del Vehículo Flotante. Se utiliza un vehículo de prueba que es manejado dentro de la corriente vehicular en la sección que se está analizando, de tal manera que la velocidad que lleva se asemeje a la del flujo vehicular. Es decir, el vehículo de prueba pasará tantos vehículos como vehículos lo pasen a él. Otra manera de hacer el estudio es tomar una velocidad que el conductor considere el promedio de todo flujo, sin prestarle importancia a los vehículos que lo rebasen.

El número de viajes que deben ser realizados es un mínimo de 12 para alcanzar resultados satisfactorios en ambos sentidos del tránsito. Sin embargo, es conveniente elaborar una tabla que presente los recorridos a realizar con el fin de obtener un error del 5 y 10% para las diferentes condiciones de la sección de prueba.

La forma de realizar los estudios mediante un vehículo flotante es la siguiente: el observador estará provisto de dos cronómetros, uno de ellos lo pondrá a funcionar cuando inicie un recorrido y lo detendrá al final del mismo. Éste, además de indicar el tiempo transcurrido entre el inicio y el final, servirá para tomar el tiempo al llegar a diferentes puntos que hayan sido establecidos previamente para control. El otro cronómetro servirá para determinar tiempos específicos por las diferentes demoras que existan a lo largo del recorrido. En hojas de campo se registrarán dichos tiempos, ubicación y causas de las demoras.

Método de Placas. Éste supone mayor exactitud por cuanto a la determinación del tiempo transcurrido entre dos puntos, el origen y el final de un tramo analizado, pero presenta la desventaja de que no precisa las diferentes causas de demora, ya que el método consiste en colocar un observador al inicio y otro al final del tramo, y en casos necesarios observadores intermedios. Cada uno de ellos estará provisto de un cronómetro y una tabla con hojas de campo para registrar los tres últimos dígitos de las placas y el tiempo en que pasaron por donde ellos se encontraban. Otra desventaja de este método, es que el trabajo de gabinete es muy tedioso, lo cual pueden ser resuelto mediante el uso de computadoras. El número de muestras necesarias debe ser aproximadamente 50 vehículos para alcanzar datos confiables y con un error menor al 5%.

Método de la Entrevista. Consiste en escoger conductores a los que se les requerirá anoten los tiempos de inicio y fin de su viaje, así como comentarios acerca de las diferentes causas que aumenten su tiempo de viaje. Esto puede ser realizado, localizando estratégicamente algunas empresas de las cuales serán seleccionadas personas a las que se les será solicitada la información. Es un método de bajo costo y de mucha ayuda cuando se requiere de gran cantidad de información y en forma rápida. Con buena disposición de los conductores seleccionados, la investigación resulta con buena confiabilidad.

II.2.5.2. Estudios de Demoras en Intersecciones

Aún cuando existen diferentes factores que afectan la eficiencia de una intersección, el principal que debe ser considerado es la demora, la cual puede ser originada por diferentes causas, entre ellas:

- Factores físicos: número de carriles, pendientes, ancho de calzada, control de accesos, canalizaciones y paradas del tránsito.
- Factores de la corriente vehicular: volúmenes y velocidades en los accesos, movimientos direccionales, composición vehicular, características del operador, estacionamiento y peatones.
- Controles del tránsito: tipos de semáforo, ciclos y fases de ellos, señales de alto o de ceda el paso, dispositivos para el control de movimientos direccionales y estacionamiento.

Otros de los factores que afectan la eficiencia de las intersecciones son:

- Estadísticas de accidentes.
- Deseos de los usuarios, los cuales pueden ser contrarios a la agilidad de movimientos en las intersecciones, como por ejemplo: uso de semáforos accionados por el tránsito, cambio de operación de semáforos en horario nocturno y días festivos, errores de proyecto en el uso de señales de alto, ceda el paso y semáforos.
- Comparación de los costos de instalación y operación de diferentes dispositivos de control del tránsito, y sus efectos en los costos de operación.
- El no respetar las indicaciones de los semáforos por parte de los peatones, obstruyendo el flujo vehicular.
- Estado físico del área de intersección.

II.2.5.3. Método para Determinar Demoras en las Intersecciones (Método del Tiempo de Viaje)

Se basan exclusivamente en la obtención de los tiempos de viaje entre dos puntos, uno antes de la intersección analizada y otro después de la misma. Para el logro de los tiempos de viaje, pueden seguirse cualquiera de los procedimientos siguientes:

1. Mediante un vehículo de prueba el cual será operado entre dos puntos designados y registrados los tiempos cada vez que toque uno de esos dos puntos, identificando su dirección de viaje.
2. Lectura de placas, para lo cual al igual que en el anterior, serán registrados los tiempos que hacen los diferentes vehículos que sean muestreados entre esos dos puntos.

3. Fotografías aéreas tomadas desde un punto superior.
4. Mediante un observador colocado estratégicamente en un edificio para poder seguir la trayectoria de los vehículos de los cuales se registrarán los tiempos en los que pasa por los dos puntos seleccionados.
5. Por medio de un procedimiento que consiste en el conteo de vehículos que ocupan los diferentes accesos de la intersección bajo análisis, en periodos de tiempo establecidos (cada 15 segundos), durante 10 minutos.

Cada conteo sucesivo representa una densidad instantánea, la cual se define como el número de vehículos que ocupan la longitud del acceso de una intersección, por intervalo de tiempo. Durante el periodo dado, también son registrados los vehículos que salen del acceso. Este conteo representará el volumen de tránsito, permite estimar el tiempo promedio de viaje de todos los vehículos que cruzan el acceso de una intersección. El tiempo promedio de viaje es calculado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{Nt}{I^*}$$

donde:

T = Tiempo promedio de viaje, en segundos.

N = Densidad total = suma de los vehículos observados en todos los lapsos que corresponden al periodo establecido.

t = Lapsos considerados para el conteo de los vehículos (15 segundos) dentro del periodo tomado para análisis.

I^* = Volumen de vehículos que fueron registrados saliendo del acceso durante el periodo de análisis (5 ó 10 minutos).

II.2.6. ACCIDENTES

Las causas de accidentes son de diversa índole, siendo los más importantes: los atribuibles al conductor, al peatón, al camino, al vehículo y al estado climatológico.

Factores Humanos. El mayor porcentaje de los accidentes de tránsito son causados por el manejo inadecuado, atribuibles al exceso de velocidad, la no obediencia a las señales

restrictivas de alto o ceda el paso, el manejo al centro del camino, no guardar la distancia debida con el vehículo que le precede, y en todos ellos, aproximadamente en un 50% está presente el consumo de alcohol o drogas.

Naturalmente que la lluvia, heladas y otros agentes climatológicos son causas de accidentes, pero no más que ellos, los causantes lo constituyen el conductor y el peatón al no darle la importancia debida a dichos agentes. En otras palabras, se debe educar tanto al conductor como al peatón, para que cuando existan condiciones diferentes a las normales, tomen las precauciones debidas, disminuyendo la velocidad, poniendo mayor atención en el manejo y otros, con el fin de evitar los accidentes.

Factores Vehiculares. Los accidentes que son atribuibles al estado del vehículo son en menor cuantía y las causas principales son el mal estado de los frenos y las luces.

Factores del Camino. El ingeniero de tránsito tiene una participación muy importante, ya que es él quien puede disminuir la incidencia de accidentes, mediante un buen estudio de tránsito, en donde estén identificados todos los movimientos direccionales a las diferentes zonas de deseo para así poder elaborar un proyecto geométrico que se adecue a las necesidades de los usuarios y tomando siempre en cuenta la seguridad de estos, evitando curvas y obstáculos peligrosos, pavimentos lisos y otros.

II.2.6.1. Reportes de Accidentes

El conocimiento de los accidentes de tránsito, son útiles para contrarrestar el efecto nocivo que los origina. En tal virtud, será necesario llevar un registro estadístico de los mismos, con el fin de estar en posibilidades de efectuar las reformas pertinentes, tanto al camino como a los reglamentos en vigor. Para tal fin, deberá contarse con unas formas diseñadas ex profeso, las cuales serán llenadas tanto por los conductores involucrados en el accidente, como por el representante de la autoridad, es decir, por el agente de tránsito. Este último, antes de llenar dicha forma, deberá haber investigado cuidadosamente el accidente, haciendo preguntas tanto a los conductores participantes como a testigos, tratando de reconstruir científicamente el accidente.

La información que deberá ser vaciada en esas formas o partes de accidentes, incluye:

- Hora del accidente.
- Lugar del accidente.
- Conductor.
- Vehículos
- Personas lastimadas
- Magnitud del daño de los vehículos
- Ubicación y descripción de los dispositivos de control existentes.
- Condiciones del tiempo y del camino.
- Violaciones a las regulaciones.
- Causas probables motivadoras del accidente.
- Diagrama del accidente.

Toda la información anterior es muy necesaria para deslindar responsabilidades, pero desde el punto de vista del ingeniero de tránsito, la probable causa y la ubicación de los accidente son imprescindibles por lo que es necesario llevar un registro estadístico de los puntos con mayor incidencia. En áreas rurales, en donde la ubicación de accidentes pudiera no ser muy precisa, es conveniente la instalación de referencias, tales como postes de kilometraje.

II.2.6.2. Tipos de Accidentes

Para que los registros de accidentes sean realmente útiles, es necesario que todos ellos sean clasificados según la causa, como sigue:

- Salida del camino.
- Volcadura.
- Accidente con peatones.
- Accidente con otros vehículos en tránsito.
- Accidente con ferrocarril.
- Accidente con ciclista.
- Accidente con animales.
- Accidente contra objeto fijo.
- Accidente contra otros objetos.

Adicionalmente, los accidentes que se suscitan entre vehículos deben ser especificados, como sigue:

- En ángulo, que son los accidentes entre vehículos que se mueven en direcciones diferentes, no opuestas, y que generalmente son en ángulo de 90 grados.
- Por alcance, cuando un vehículo golpea a otro que le precede (por atrás). En este caso, los vehículos se mueven en la misma dirección y generalmente en el mismo carril.
- Accidente lateral, que es cuando un vehículo es golpeado de lado por otro que viaja en la misma dirección o en dirección contraria, y que se mueven en carriles diferentes.
- Colisiones frontales que se suscitan entre vehículos que viajan en sentido contrario.
- Otros.

Se hace notar, que los accidentes se suscitan con mucha frecuencia y que el archivo de los mismos presenta problemas sobre todo en ciudades grandes o simplemente en un sistema carretero. Por tal motivo, se hace imprescindible manejar estos datos por medio de computadora, la cual puede almacenar gran cantidad de datos relativos a accidentes, las condiciones y otros datos que se consideren importantes.

II.3. FORMACIÓN DE PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS.

Los planes de conservación corresponden a la organización ordenada, resumida y justificada de todas las actividades necesarias para gestionar en forma adecuada la infraestructura en todo el período de análisis y como tal es normalmente la primera acción a realizar al momento de poner en operación un proyecto de infraestructura. El objetivo de toda agencia encargada de gestionar infraestructura es mantenerla y optimizar los recursos disponibles dentro de los niveles preestablecidos. Para ello se desarrollan planes, los cuales establecen tipo de conservación, período de ejecución, cantidades de obra y costos de ejecución entre otras cosas.

La generación de un plan de conservación tiene una serie de pasos, los cuales requieren un conocimiento pleno de la situación actual, de la historia de la infraestructura a evaluar, de su

comportamiento futuro, recolección de datos y análisis. Cada una de estas etapas tiene diferentes formas de ser ejecutada, que serán analizadas mas adelante.

Dentro de la creación de todo plan, se requieren profesionales debidamente calificados ya que la experiencia cumple un rol importante en el desarrollo de dicho plan, esto se debe a que el área de pavimentos se rigen por muchos procedimientos empíricos que no siempre se cumplen dentro de los proyectos. Dado que los cálculos necesarios para determinar las estrategias de conservación se basan en modelos de deterioro de alta complejidad que requerirían una gran cantidad de horas hombre, se han desarrollado herramientas computacionales que permiten realizar todos los análisis requeridos para evaluar cada una de las estrategias de conservación y así seleccionar la más adecuada.

II.3.1. GENERACIÓN DEL PLAN DE CONSERVACIÓN.

Como ya se mencionó, la creación de un plan de conservación requiere de una secuencia de pasos que permite al profesional a cargo poder conocer y recomendar las estrategias de conservación más eficientes para los proyectos dados. Para ello se pueden definir las siguientes etapas.

1. Definición de Objetivos.

Todo plan de conservación debe tener un objetivo determinado, en este sentido se deben definir los alcances del proyecto y qué se busca al final de la vida útil de éste. Existen planes de conservación completos, los cuales contemplan todos los elementos de la infraestructura, desde el pavimento hasta elementos como señalizaciones u obras de arte y otros que sólo están enfocados a algún elemento particular del camino, como puede ser el pavimento.

Previo a todo desarrollo, se debe tener muy claro el objetivo del plan puesto que esto influye principalmente en los tipos de datos a recolectar y el nivel de agregación de éstos, ya que estos corresponden a gran parte de los costos totales de la generación de un plan, por lo que cualquier error puede costar considerables sumas de dinero. A esto se debe agregar que un buen análisis depende en forma directa de los datos disponibles, de que estos sean lo

suficientemente representativos de modo que los resultados sean lo más ajustados a la realidad posible.

2. Recolección de Datos.

La base de todo plan de conservación son los datos con los cuales se modelará el comportamiento de la infraestructura bajo las condiciones de sollicitación proyectadas, por lo que la forma de recolección es sin duda uno de los aspectos más importantes de este punto. El objetivo principal de la recolección de datos es poder contar con la información necesaria para poder representar la realidad de las condiciones de la infraestructura en forma clara y precisa.

La cantidad y nivel de agregación de los datos requeridos fue especificada en la etapa anterior, por lo que se debe definir la forma de obtención de la información requerida. Para ello existen varias posibilidades, una de ellas es recolectar la información a través de equipo especializado, subcontratando a empresas especializadas, siendo su principal ventaja el poder tener control sobre la procedencia y cantidad de los datos recolectados. Y la otra es obtener los datos directamente del mandante, situación que no es recomendada debido a la poca estandarización que existe para la recolección y almacenamiento de estos que en definitiva producen una serie de conflictos al momento de realizar el análisis.

3. Análisis de Datos.

El análisis consiste en determinar la condición actual y comportamiento futuro de la infraestructura, para ello los profesionales a cargo deben utilizar tanto las herramientas existentes para realizar los cálculos como la experiencia obtenida a través del tiempo. Este punto es la base para todos los programas de modelación existentes, ya que los datos recolectados en el punto anterior sólo pueden ser utilizados previa depuración, mediante la cual se obtienen los índices representativos de la condición de la infraestructura.

Cada elemento de la infraestructura puede ser representado por uno o más índices, los cuales deben ser obtenidos mediante cálculos en base a procedimientos matemáticos y empíricos donde se pueden mencionar el análisis mecanista o análisis multicapa para la

estructura y suelo de fundación del pavimento, estado particular y general de elementos como pasos superiores, puentes, etc. o nivel de retrorreflectancia de las señalizaciones y pinturas. Como se observa existe una gran cantidad de datos que deben ser analizados por un grupo de especialistas, los cuales deben interactuar para poder entregar en forma eficiente los datos requeridos para la modernización.

Este es uno de los puntos más importantes dentro de la generación de un plan de conservación ya que es aquí donde se pueden detectar problemas locales y generales que afectan el comportamiento global de la infraestructura.

4. Tramificación del Proyecto.

Dado que a lo largo de los proyectos de infraestructura se encuentra un sinnúmero de estructuras diferentes, ya sea por características del terreno, diseño estructural, diseño geométrico, etc., se debe lograr que la longitud total del proyecto este dividida en sectores homogéneos no menores a una cierta magnitud (por ejemplo: 1 km), que pueden ser modelados bajo las mismas condiciones. Estos tramos deben ser definidos en función del tipo de pavimento, diseño estructural, características de la subrasante, nivel de tránsito (ejes equivalentes), condiciones climáticas, etc. Cada uno de estos tramos tiene además elementos complementarios como pasos a desnivel, señalizaciones, obras de arte, etc., que no influyen directamente en la tramificación y que son modelados en forma independiente.

El objetivo de la tramificación es poder utilizar los modelos de deterioro en forma más ordenada y eficiente, ya que es imposible aplicar éstos para cada metro de la longitud del proyecto o para cada elemento en particular. Con el objeto de poder contar con un resumen de las características propias de cada tramo se pueden desarrollar fichas que pueden ser almacenadas como archivos o dentro de una base de datos en donde se especifica el valor de todos los parámetros requeridos por los modelos de deterioro.

Cabe destacar que la tramificación se basa principalmente en la estructura y estado del pavimento y no en los elementos complementarios del camino, como son las señalizaciones y obras de arte.

5. Evaluación de Estrategias.

Una vez generadas las fichas para los tramos del proyecto se procede a evaluar distintas estrategias de conservación. Para el pavimento se pueden utilizar programas como el SISTER o el HDM-III, los cuales reciben como entrada los datos de las fichas mencionadas anteriormente, información de costos y características del tránsito. Además se deben entregar los estándares de conservación donde se especifican los umbrales de intervención y tipos de obras posibles de ejecutar. Para los elementos complementarios del pavimento (puentes, tuneles, obras de arte, etc.) existen métodos empíricos que entregan las cantidades de obra a ejecutar por período para cumplir con las exigencias preestablecidas.

Los programas de evaluación mencionados anteriormente modelan los diferentes tipos de deterioro que se pueden desarrollar según tipo de pavimentos, sollicitación de tránsito y clima. En base a esto se obtiene la respuesta teórica de la carpeta de rodado y su comportamiento al aplicar diferentes tipos de conservación. Iterando varias veces, se selecciona la combinación de obras de conservación más eficiente entregando como resultado las obras a ejecutar, el año de aplicación, la cantidad de obra por km-pista y los costos actualizados de la materialización. Cabe destacar que estos modelos son empíricos y el profesional debe aplicar su "criterio" para finalmente definir el plan de conservación más adecuado.

6. Generación del Informe.

Con todos los datos anteriores se genera el informe, el cual cuenta con todos los puntos necesarios para organizar la estrategia de conservación seleccionada a lo largo de la vida útil del proyecto. El plan de conservación es una muy buena herramienta de programación al corto, mediano y largo plazo para toda agencia encargada de gestionar infraestructura. En base a éste se proyectan tanto las inversiones como las actividades a realizar año a año.

Por último los planes de conservación deben ser continuamente actualizados en base al verdadero comportamiento de la infraestructura y además debe ser lo suficientemente flexible a las modificaciones futuras. En este sentido se han desarrollado en el último tiempo herramientas computacionales basadas en Sistemas de Información Geográficos que tienen

las características de manejar información sobre una base georreferenciada (plano), los cuales pueden ser adaptados para poder administrar la información de la condición periódica de la infraestructura, programas los modelos de deterioro existentes y generar procedimientos que permiten modelación y análisis de distinto tipo de estrategias en tiempo real entregando planos geográficos con la información, lo que aumenta en forma considerable la capacidad de análisis de los operadores.

II.3.2. PRESENTACION DEL PLAN DE CONSERVACIÓN.

Actualmente los planes de conservación pueden ser presentados con la siguiente subdivisión. que básicamente representa una forma de diferenciar el modelamiento de elementos complementarios al pavimento y el pavimento propiamente tal.

Plan de Conservación Rutinaria. Esta se entrega generalmente en forma de tablas, las que entregan las cantidades de obra unitarias y totales de actividades de conservación para un proyecto específico, ver Figura II.4.

Actividad	Unidad	Longitud Km	Programación anual de obras					
			2002	2003	2004	2005	2006	2007
Limpieza de faja y desprendimientos	m ² /km	77,000	20,000	20,000	20,000	36,900	36,900	36,900
Limpieza de fosos y contrafosos	ml/km	77,000	3,213	3,213	3,213	3,293	3,293	3,293
Limpieza de cunetas	ml/km	77,000	7,900	7,900	7,900	11,890	11,890	11,890
Limpieza de alcantarillas	ml/km	77,000	960	960	960	2,050	2,050	2,050
Conservación de alcantarillas	ml/km	77,000	960	960	960	2,050	2,050	2,050
Pintura de puentes y estructuras mayores	ml	77,000	188	188	188	356	356	356
Conservación de obras fluviales	hr-maq.	9 Ríos	160	160	160	160	160	160
Reparación de defensas camineras	ml/km	77,000	161	161	161	329	329	329
Conservación de demarcaciones	ml/km	77,000	16,000	16,000	16,000	32,925	32,925	32,925
Limpieza y reposición de señales	unidad/km	77,000	48	48	48	49	49	49
Colocación de tachas reflectantes	unidad/km	77,000	1,446	1,446	1,446	2,963	2,963	2,963

Figura II.4. Ejemplo de Programación de Obras Rutinarias

Plan de Conservación Periódica y Diferida de los Tramos. El plan de conservación y rehabilitación para los pavimentos se entrega en un formato similar al anterior. Los valores que allí se presentan (deterioros, cantidades de obra, etc.) están expresados en términos de

kilómetro-pista de diseño. Por lo tanto, en el momento de calcular las cantidades definitivas que se necesitarán en la vía se requiere multiplicar ésta por la cantidad de pista y su longitud, ver Figura II.5.

Con los datos de cantidad de obra y año de aplicación, el agente responsable de conservar la infraestructura tiene la posibilidad de tomar decisiones políticas, administrativas, económicas y financieras, de aquí la importancia de los planes de conservación.

Actividad	Unidad	Cantidad	Año de Aplicación
<u>Pavimento Asfáltico</u>			
Bacheo superficial asfáltico	M2	5.52	7 y 8
Sellado pavimento asfáltico y bermas	M2	290.00	2 y 8
Repavimentación concreto asfáltico	M2	189.00	12
<u>Pavimento Hidráulico</u>			
Relleno de juntas y grietas	ML	55.00	Cada 4 años
Reposición de losas de concreto	M2	2.00	5 y 10
Sellado de bermas	M2	104.20	10 y 19
Repavimentación concreto asfáltico	M2	210.00	13

Figura II.5. Cantidades de Obra para Ambos Tipos de Pavimentos

SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

D. DIRECCION GENERAL DE PLANEACION Y PROGRAMAS

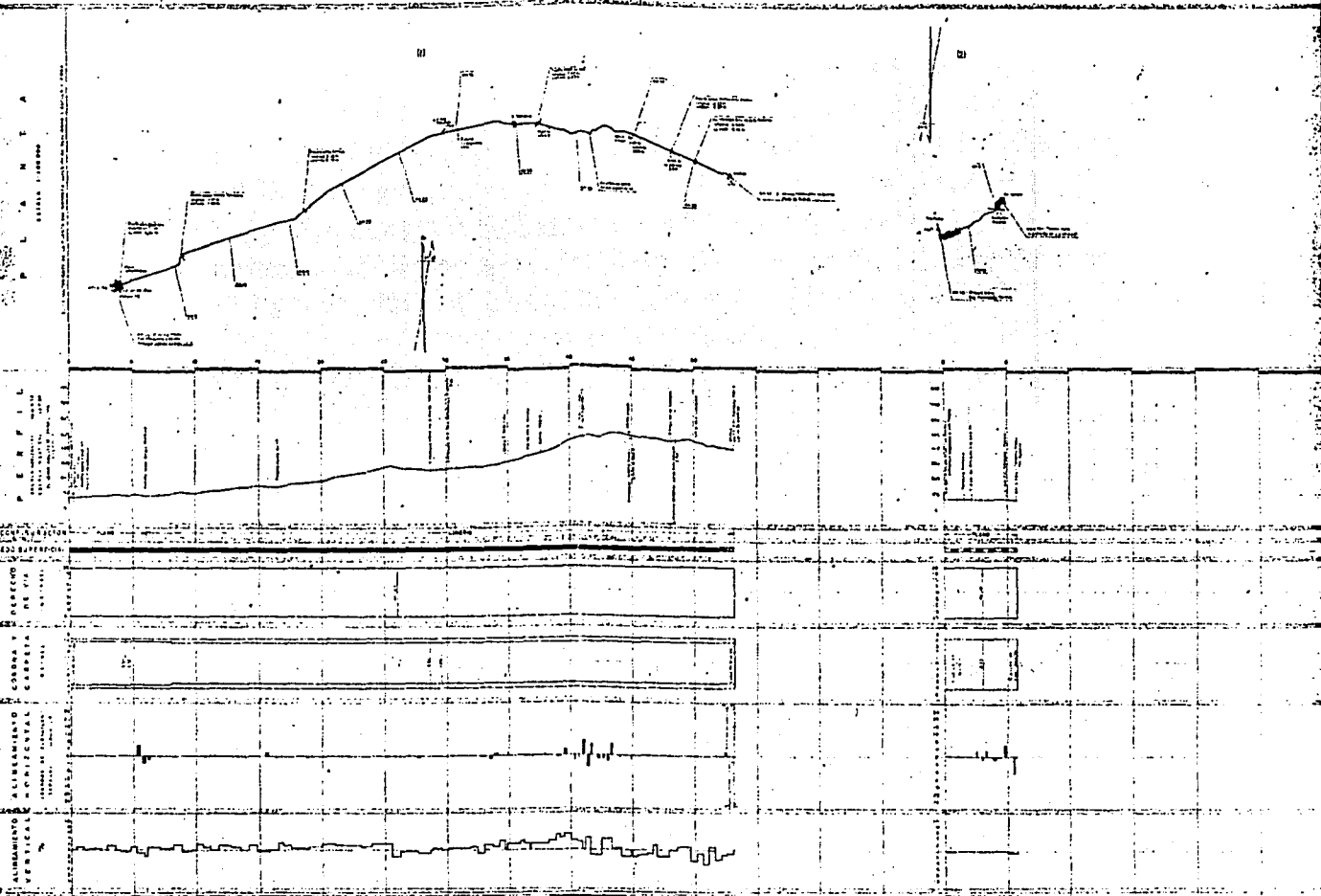
36

CARRETERA

FRANCO-SILNAVOJA-ALAMOS (2) NAVOJA-SAN JUANICO

A CARGO DE LA JUNTA LOCAL DE CAMINO DE ENCHUSA

DATOS GENERALES		DATOS DE OBRAS		DATOS DE MATERIALES		DATOS DE MANO DE OBRA		DATOS DE EQUIPOS	
Longitud de obra	10.73 Km	Superficie de pavimento	1.000 Km ²	Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Mano de obra calificada	100 personas	Mano de obra no calificada	200 personas
Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Mano de obra calificada	100 personas	Mano de obra no calificada	200 personas	Mano de obra calificada	100 personas
Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Mano de obra calificada	100 personas	Mano de obra no calificada	200 personas	Mano de obra calificada	100 personas
Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Mano de obra calificada	100 personas	Mano de obra no calificada	200 personas	Mano de obra calificada	100 personas
Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Superficie de drenaje	1.000 Km ²	Mano de obra calificada	100 personas	Mano de obra no calificada	200 personas	Mano de obra calificada	100 personas



SÍMBOLOS		OBSERVACIONES	
—	LINEA DE ENCHUSA	—	LINEA DE ENCHUSA
—	LINEA DE ENCHUSA	—	LINEA DE ENCHUSA
—	LINEA DE ENCHUSA	—	LINEA DE ENCHUSA
—	LINEA DE ENCHUSA	—	LINEA DE ENCHUSA
—	LINEA DE ENCHUSA	—	LINEA DE ENCHUSA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III

PRINCIPALES ASPECTOS DE GEOTECNIA ASOCIADOS A LA CONSERVACION DE CARRETERAS

III.1. CLASIFICACION DE SUELOS

Dentro del campo particular de las vías terrestres, los suelos se presentan con una gran variedad y complejidad. Así, cualquier intento de sistematización científica, acompañado de la correspondiente tendencia generalizadora, debe ir precedido por otro, en que se procure clasificar a los suelos del modo más completo posible. Los sistemas de clasificación de suelos son tan antiguos como la propia Mecánica de Suelos, pero por el escaso conocimiento que se tenía sobre los suelos, los sistemas que aparecieron en un principio estaban basados en características poco relevantes (olor, color, textura, etc.) o muy difíciles de correlacionar con las fundamentales.

La granulometría ofrece un medio sencillo y evidente para clasificar suelos. En verdad, basta dividir un suelo en sus fracciones granulométricas para tenerlo "clasificado", si previamente se conviene en dar una denominación particular a las distintas fracciones, según queden comprendidas en una determinada gama de tamaños. Los sistemas de clasificación granulométrica, tan populares en el pasado, tuvieron esa génesis tan simple, y los términos grava, arena, limo y arcilla aún tienen para muchos ingenieros un significado relacionado con el tamaño de las partículas constitutivas de esos suelos. Es evidente que un sistema de clasificación de suelos debe agruparlos de acuerdo a sus propiedades mecánicas básicas, por ser estas lo que interesa para las aplicaciones ingenieriles. A la vez, el criterio clasificador ha de ser preponderantemente de naturaleza cualitativa, puesto que un sistema que incluyera relaciones cuantitativas resultaría excesivamente complicado. Probablemente lo menos que espera un técnico de un sistema de clasificación es que sirva para normar un criterio respecto al suelo en cuestión, antes de que adquiera conocimientos más profundos y extensos de las propiedades del mismo; así, al usar el sistema será posible, entre otras cosas, obtener criterios para saber en que direcciones es conveniente profundizar la investigación.

Entre los diversos estudios tendientes a encontrar un sistema de clasificación que satisfaga los distintos campos de aplicación a Mecánica de Suelos, destacan los efectuados por el doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard. Este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que la malla N° 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores que la malla mencionada, el criterio básico de clasificación es aún el granulométrico, que, aunque no es lo determinante para el comportamiento de un material, si puede usarse como base de clasificación en los materiales granulares.

A pesar de que este sistema a sido ligeramente modificado para constituir el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) ampliamente usado en la actualidad en el mundo, conviene mencionar las bases en que A. Casagrande fundamentó su criterio para proponer el Sistema de Clasificación de Aeropuertos, punto de partida para todos los esfuerzos de valor que hasta hoy se han efectuado en este campo.

El S.U.C.S. divide a los suelos en dos grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores que la malla N° 200 (0.074 mm) y menores que la malla de 3" (7.62 cm) y la fina, formada por las partículas que pasan la malla N° 200. La fracción gruesa se subdivide en gravas y arenas, teniendo como frontera la malla N° 4 (4.76mm). Subdivisiones subsecuentes de está fracción toman en cuenta el contenido y naturaleza de los finos, así como características de graduación.

La fracción fina se subdivide en grupos tomando en cuenta sus características de plasticidad, las cuales están relacionadas con las propiedades mecánicas e hidráulicas más importantes de las que el ingeniero precisa tener datos primero cualitativa y después cuantitativamente son: características de esfuerzo-deformación y resistencia, compresibilidad, permeabilidad, velocidad de variación volumétrica, etc. Una de las propiedades que más influye para la formación de estos grupos fue la compresibilidad la cual está íntimamente ligada con las características de plasticidad, específicamente con el valor del límite líquido. La compresibilidad aumenta con el valor del límite líquido, permaneciendo todos los demás valores constantes.

III.1.1. SUELOS GRUESOS

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo, como se especifica a continuación:

- Gravas y suelos en que predominen éstas. Símbolo genérico G (gravel).
- Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico S (sand)

Las gravas y las arenas se separan con la malla N°4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla N°200) no pasa la malla N°4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

- Material prácticamente limpio de finos bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GP y SP.
- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala). En combinación con los símbolos genéricos da lugar a los grupos GM y SM.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.

A continuación presentamos una breve descripción de los grupos anteriores a fin de proporcionar criterios más detallados de identificación, tanto en el campo como en el laboratorio.

1. Grupos GW y SW

Estos suelos son bien graduados y con pocos finos o limpios por completo. La presencia de los finos que pueden contener estos grupos no deben producir cambios apreciables en las

características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje. Los anteriores requisitos se garantizan en la práctica, especificando que en estos grupos el contenido de partículas finas no sea mayor de un 5% en peso. La graduación se juzga, en el laboratorio, por medio de coeficientes de uniformidad y curvatura. Para considerar una grava bien graduada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4, mientras el de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien graduadas, el coeficiente de uniformidad será mayor que 6, en tanto el de curvatura debe de estar entre los mismos límites anteriores.

2. Grupos GP y SP

Estos suelos son mal graduados; es decir son de apariencia uniforme o presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios; en laboratorio, deben satisfacer los requisitos señalados para los dos grupos anteriores, en lo referente a su contenido de partículas finas, pero no cumplen los requisitos de graduación indicados para su consideración como bien graduados. Dentro de esos grupos están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

3. Grupos GM y SM

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores a 12%, en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas.

La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre "nula" y "media"; es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla N°40 debajo de la línea A o bien que su índice de plasticidad sea menor de 4.

4. Grupos GC y SC

Como antes el contenido de finos de estos grupos de suelos debe ser mayor que 12% en peso, y por las mismas razones expuestas para los grupos GM Y SM. Sin embargo, en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla N°40 sobre la Línea A, teniéndose, además, la condición de que el índice plástico sea mayor que 7.

A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el Sistema Unificado los considera casos de frontera, adjudicándoles un símbolo doble, por ejemplo un Símbolo GP-GC indica una grava mal graduada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos (arcillosos).

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

III.1.2. SUELOS FINOS

También en este caso el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

- Limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del sueco mo y mjala)
- Arcillas inorgánicas, del símbolo genérico G (clay)
- Limos y arcillas orgánicas, del símbolo genérico O (organic)

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si este es menor del 50%, es decir si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor del 50 %, o sea de alta

compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (high compressibility), teniéndose así los grupos MH, CH y OH. Ha de notarse que las letras L y H no se refieren a baja o alta plasticidad, pues esta propiedad del suelo, como se ha dicho, ha de expresarse en función de dos parámetros (LL e I_p), mientras que en el caso actual solo el valor del limite del liquido interviene. Por otra parte, ya se hizo notar que la compresibilidad de un suelo es una función directa del limite liquido, de modo que un suelo es más compresible a mayor limite liquido.

También es preciso tener en cuenta que el termino compresibilidad tal como aquí se trata, se refiere a la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad y no a la condición actual de suelo inalterado, pues este puede estar seco parcialmente o preconsolidado. Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forma un grupo independiente del símbolo Pt (del ingles peat; turba). El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos introdujo una modificación en la carta de plasticidad, como se muestra en la Figura III.1. La modificación se refiere a los suelos arriba de la Línea A con índice plástico comprendido entre cuatro y siete, y cambia la clasificación de los suelos que caen en la zona punteada. Los distintos grupos de suelos finos ya mencionados se describen a continuación en forma mas detallada:

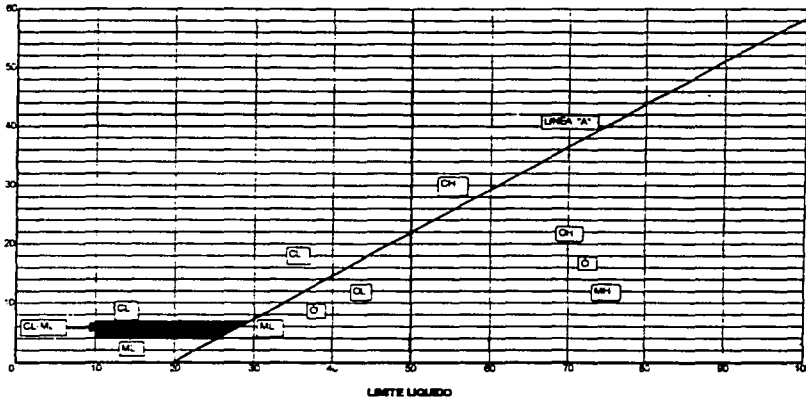


Figura III.1. Carta de Plasticidad para el SUCS

1. Grupos CL y CH

Según ya se dijo, en estos grupos se encasillan las arcillas inorgánicas. El grupo CL comprende a la zona sobre la Línea A definida por $LL < 50\%$ e $I_p > 7\%$. El grupo CH corresponde a la zona arriba de la Línea A, definida por $LL > 50\%$. Las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la Bentonita o la arcilla del valle de México, con límites líquidos de hasta 500%, se encasillan en el grupo CH.

2. Grupos ML y MH

El grupo ML comprende la zona bajo la Línea A, definida por $LL < 50\%$ y la porción sobre la Línea A con $I_p < 4$. El grupo MH corresponde a la zona bajo la Línea A, definida por $LL > 50\%$. En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con $LL < 30\%$, se localizan en el grupo ML. Los depósitos eólicos, del tipo del Loess, con $25\% < LL < 35\%$ usualmente, caen también en este grupo.

Un grupo interesante que caen en esta zona son las arcillas del tipo caolin, derivados de los feldespatos de rocas graníticas; a pesar de que el nombre de arcillas está muy difundido para estos suelos, algunas de sus características corresponden a limos inorgánicos; por ejemplo, su resistencia en estado seco es relativamente baja y en estado húmedo muestran cierta reacción a la prueba de dilatancia; sin embargo, son suelos finos y suaves con un alto porcentaje de partículas tamaño de arcilla, comparable con el de otras arcillas típicas, localizadas arriba de la Línea A. En algunas ocasiones estas arcillas caen en casos de frontera ML-CL y MH-CH, dada su proximidad con dicha línea.

3. Grupos OL y OH

Las zonas correspondientes a estos grupos son las mismas que las de los grupos ML y MH respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos en la Línea A. Una pequeña adición de materia orgánica coloidal hace que el límite líquido de una arcilla inorgánica crezca, sin apreciable cambio de su índice plástico; esto hace que el suelo se

desplace hacia la derecha de la carta de plasticidad, pasando a ocupar una posición mas alejada de la Línea A.

4. Grupo Pt

Las pruebas de límites pueden ejecutarse en la mayoría de los suelos turbosos, después de un completo remoldeo. El límite líquido de estos suelos suele estar entre 300% y 500%, quedando su posición en la carta de plasticidad netamente debajo de la Línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%.

Similamente al caso de los suelos gruesos, cuando un material fino no cae claramente en uno de los grupos, se usaran para el simbolos dobles de frontera. Por ejemplo, MH-CH representara un suelo fino con LL >50% e índice plástico tal que el material quede situado prácticamente sobre la Línea A.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos no se concreta a ubicar al material dentro de uno de los grupos enumerados, sino que abarca, además, una descripción del mismo, tanto alterado como inalterado. Esta descripción puede jugar un papel importante en la formación de un sano criterio técnico y en ocasiones, puede resultar de fundamental importancia para poner de manifiesto características que escapan a la mecánica de las pruebas que se utilizan. Un ejemplo típico de ello es la compacidad.

En los suelos gruesos, en general, deben proporcionarse los siguientes datos: nombre típico, porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo de las partículas, angulosidad y dureza de las mismas, características de su superficie, nombre local y geológico y cualquier otra información pertinente, de acuerdo con la aplicación ingenieril que se va a hacer del material. En suelos gruesos en estado inalterado, se añadirán datos sobre estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.

En los suelos finos, se proporcionarán, en general, los siguientes datos: nombre típico, grado y carácter de su plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, color, nombre local y geológico y cualquier otra información descriptiva pertinente, de acuerdo con la aplicación que se vaya a hacer del material. Respecto del

suelo en estado inalterado, deberá agregarse información relativa a su estructura, estratificación, consistencia de los estados inalterado y remodelado, condiciones de humedad y características de drenaje.

III.1.3. SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS UTILIZADO EN LA S.C.T.

Para fines de clasificación, los materiales que constituyen la corteza terrestre se agrupan en 3 divisiones: "suelos", "fragmentos de roca" y "rocas".

El termino "suelo" se aplica a todas aquellas particulas de material menores de 7.6 cm.(3"). El termino "fragmentos de roca" se aplica a los fragmento mayores de 7.6 cm. (3") y que no forma parte de una formación rocosa masiva. El termino "roca" se usa para formaciones rocosas mas o menos continuas o masivas.

El "suelo" se subdivide en suelos de partículas finas o "finos" y suelos de partículas gruesas o "gruesos". Los "finos" son aquellos cuyas partículas son menores que la malla N° 200, y los "gruesos" son los que se retienen en la malla N° 200 y pasan la malla de 7.6 cm. (3"). Los "finos" comprenden los suelos orgánicos, limos y arcillas. Los suelos orgánicos son los que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica, y un material fino orgánico es limo o arcilla, según sus características de plasticidad. Los suelos en que predomina mucho la materia orgánica quedan en un grupo denominado "turba". Los "gruesos" comprenden los grupos denominados arena y grava, siendo la frontera entre ellos la malla N° 4.

Los "fragmentos de roca" se subdividen en "chicos", "medianos" y "grandes". Los fragmentos chicos son aquellos que se retienen en la malla de 7.6 cm. (3") y su dimensión máxima es menor de 30 cm. Los fragmentos medianos son aquellos cuya dimensión máxima esta comprendida entre 30 cm y 1 m. Los fragmentos grandes son aquellos cuya dimensión máxima es mayor a 1 m.

Cada uno de estos grandes grupos tiene un símbolo genérico, dado por una o mas letras alusivas; en la Tabla III.1 se resumen los grupos que intervienen en el Sistema de Clasificación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Divisiones	Sub - Divisiones	Grupo	Símbolo	Dimensiones de las Partículas ó Fragmentos
Suelos	Altamente Orgánicos	Turba	Pt	-----
	Finos	Orgánicos	O	< Malla # 200
		Limos	M	< Malla # 200
		Arcillas	C	< Malla # 200
	Gruesos	Arenas	S	> # 200 y < # 4
		Gravas	G	> # 4 y < 7.6cm (3")
Fragmentos De Roca		Chicos	Fc	> 7.6cm (3") y < 30 cm.
		Medianos	Fm	> 30 cm Y < 1 m
		Grandes	Fg	> 1 m
Rocas	Ígneas	Extrusivas	Rje	-----
		Intrusivas	Rji	-----
	Sedimentarias	Clasticas	Rsc	-----
		Químicas	Rsq	-----
		Orgánicas	Rso	-----
	Metamórficas	No Foliadas	Rmn	-----
		Foliadas	Rmf	-----

Tabla III.1. Sistema de Clasificación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

III.2. CONSTRUCCIÓN DE TERRACERÍAS

En el medio carretero ya no se acostumbra separar a los pavimentos de las terracerías, pues esto es un gran error, ya que ambas no funcionan independientemente, si no más aún, el funcionamiento de cada una de estas partes, además de depender entre si, también está en función del comportamiento del terreno natural o de cimentación.

De aquí que es necesario introducir un nuevo concepto, que es el de sección estructural, y como su nombre lo indica, implica considerar al pavimento (sub-base, base y carpeta), las terracerías (cuerpo del terraplén, subyacente y subrasante) y el terreno natural como una estructura total.

III.2.1. DEFINICIÓN Y PARTES QUE LAS FORMAN

Las terracerías pueden ser definidas como los volúmenes de materiales que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre; la extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, se dice que se tienen terracerías compensadas; el volumen de corte que no se usa, se denomina desperdicio. Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella o sea en zonas de préstamos; si estas zonas están cercanas a la obra, del orden de los 10 a los 100 m a partir del centro de la línea, se llaman préstamos laterales; si estas zonas se encuentran a más de 100 m son préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en dos zonas (Figura III.2); el cuerpo del terraplén que es la parte inferior, y la capa subrasante que se coloca sobre la anterior, con un espesor mínimo de 30 cm.

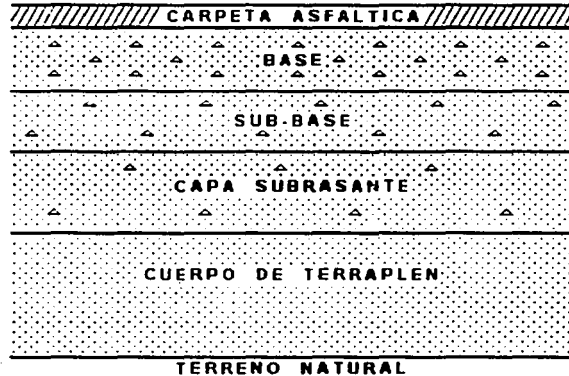


Figura III.2. Sección Transversal de una Obra Vial con Volumen de Hasta 5000 Vehículos Diarios. Las Terracerías se Componen del Cuerpo del Terraplén y la Capa Subrasante.

A su vez, cuando el tránsito que va a operar sobre el camino es mayor a 5000 vehículos diarios, al cuerpo del terraplén se le colocan los últimos 50 cm, con material compactable, y esta capa se denomina capa subyacente (Figura III.3).

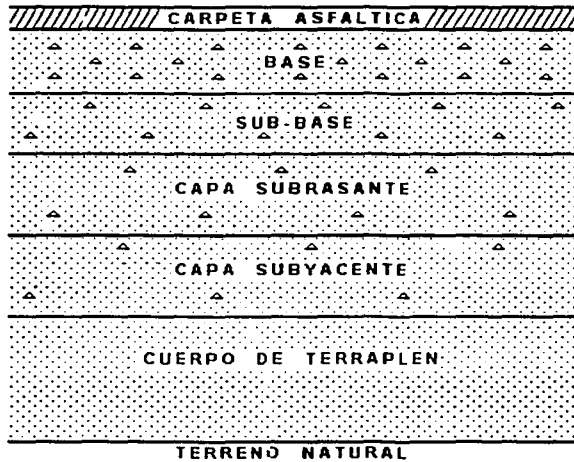


Figura III.3. Sección Transversal con Volumen Mayor de 5000 Vehículos Diarios. Las Terracerías se Componen de: Cuerpo del Terraplén, Capa Subyacente y la Capa Subrasante.

III.2.2. FINALIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL CUERPO DEL TERRAPLÉN

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, sobre todo en lo relativo a pendiente longitudinal, la de resistir las cargas del tránsito transferidas por las capas superiores, y distribuir los esfuerzos a través de su espesor, para transmitirlos, en forma adecuada, al terreno natural de acuerdo a su resistencia. Para el cuerpo del terraplén, las normas que se siguen actualmente establecen que se pueden usar ciertos materiales de dudosa calidad (arcillas hasta con un $LL \leq 100\%$ y $VRS_{esl} \geq 10\%$) y de cualquier tamaño, de

acuerdo a las Normas para Construcción e Instalaciones, y Normas de Calidad de los Materiales de la SCT. Es conocido el efecto que tienen los materiales finos plásticos al dárseles una compactación, como es el aumentar su fuerza de expansión o su deformabilidad, por lo tanto, es necesario evitar emplear estos materiales en su construcción.

Los materiales que se utilizan en la construcción del cuerpo del terraplén, se dividen en dos: materiales compactables y no compactables. Esta clasificación se hace en base a la facilidad de los materiales a ser compactados por los métodos usuales, así como para medir el grado alcanzado. Se dice que un material es compactable, cuando después de disgregado tiene menos de 20% de retenido en malla de 7.5 cm (3"), pero menos de 5% de retenido en malla de 15 cm (6"). Los materiales no compactables son los que no tienen las características anotadas.

El acomodo de los materiales puede realizarse de 3 maneras diferentes:

- 1) Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo que corresponde según su calidad; en general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén será del 90%; el espesor de las capas será de acuerdo al equipo de construcción.
- 2) Si los materiales no son compactables, se forma una capa cuyo espesor sea casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca; pero no menos de 15 cm; sobre esta capa debe pasar un tractor de orugas, tres veces por cada punto de la superficie con movimientos en zigzag.
- 3) Si se requiere realizar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no sea fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite que el material se coloque a volteo, hasta una altura en que ya pueda operar el equipo. Cuando el camino se encuentra a pelo de tierra (al nivel del terreno natural) o en sección en corte y aún en terraplén, y el terreno en el lugar que se va a apoyar es de muy mala calidad, también se llega a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente; con el objeto de reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural como son deformaciones y expansiones, y de reducir espesores de pavimento. Esta capa generalmente se construye entre la capa subrasante y el cuerpo del terraplén o del terreno natural y debe cumplir las mismas normas de calidad de la capa subrasante.

III.2.3. FINALIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA SUBRASANTE

La capa subrasante, es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y el pavimento. Cuando el material del terreno natural es de buena calidad, y cumple con las Normas SCT, únicamente se conforma y compacta, usándose como capa subrasante. En el caso de que el terreno natural sea roca, se usa la capa subyacente para absorber las irregularidades que resultan al efectuar un corte y posteriormente se coloca la capa subrasante.

Las finalidades de la capa subrasante son:

- Recibir y resistir las cargas del tránsito, que le son transmitidas por el pavimento.
- Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
- Evitar que cuando el cuerpo del terraplén esté formado de materiales finos plásticos, éstos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre las fracciones correspondientes al cuerpo del terraplén, y las granulares del pavimento.
- Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías, cuando éstas estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes). En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén, y los granulares del pavimento (base o sub-base).
- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Uniformar los espesores de pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería, a lo largo del camino.
- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

En estudios realizados en el Laboratorio "Fernando Espinosa", del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se observó que la capa subrasante tiene primordial importancia, aún cuando el pavimento sea de muy buena calidad y del espesor adecuado, pues en general los factores de daño a la profundidad a la que se localiza la capa subrasante son mayores. A este respecto, conviene recalcar la propiedad de algunos materiales de aumentar su fuerza de expansión al compactarlos.

A la capa subrasante se le ponen requisitos que debe cumplir de acuerdo a las normas como:

- Espesor de la capa: 30 cm mínimo.
- Tamaño máximo de los materiales: 75 mm (3").
- Grado de compactación: 95% del PVSM.
- Valor relativo de soporte: 10% mínimo.
- Limite líquido: 100% máximo.

En cuanto a los procedimientos de construcción, la compactación se debe realizar utilizando el equipo más adecuado, de acuerdo a sus características, y se construye mediante dos capas de 15 cm de espesor mínimo.

III.3. CONSTRUCCIÓN DE SUB-BASES Y BASES

En caminos y aeropuertos, sobre la capa subrasante se construye el pavimento, que en el tipo flexible está constituido por sub-base, base y carpeta, aunque la sub-base en ocasiones no se requiere; los de tipo rígido están formados por una sub-base y la losa de concreto hidráulico.

III.3.1. DEFINICIÓN Y FUNCIÓN DE LA SUB-BASE

La sub-base es una capa de transición entre la capa de base y la capa subrasante a la que se atribuye una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consiguiente mayor costo, aún a costa de incrementar los espesores.

En este caso conviene revisar el aspecto económico, ya que al aumentar espesores, aumenta el volumen del material y por consiguiente, los acarreos; si la distancia de acarreo es grande, los costos aumentan considerablemente.

La sub-base también puede servir como un colchón que absorbe las deformaciones de las terracerías, debidas a cambios volumétricos por efectos de humedad, y efectos de rebote elástico. Otra de las funciones puede ser desalojar el agua que se infiltre en el pavimento o

impedir la ascensión del agua procedente de las terracerías por el fenómeno llamado capilaridad.

III.3.2. DEFINICIÓN Y FUNCIÓN DE LA BASE

La base es una capa constituida con material seleccionado, de mejor graduación y resistencia que la de la capa de sub-base, que tiene, entre otras, las siguientes funciones: la primera y la más importante, es la de soportar las cargas que le transmita la carpeta y abatir los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de tal manera que lleguen a las capas subyacentes con la intensidad que éstas lo resistan. El incremento en su resistencia se debe a la trabazón que existe entre las partículas, originada por la forma, en general, angulosa de las mismas.

Otra función de la capa de base, puede ser la de drenar el agua que se infiltre por la carpeta e impedir la ascensión capilar del agua natural. Por último, tiene también objetivos económicos, pues al aumentar el espesor de esta capa se pueden reducir espesores en la carpeta, que es más cara, lo que, reditúa en un ahorro bastante considerable.

III.3.3. CARACTERÍSTICAS DE SUB-BASES Y BASES

Las características de estos materiales, en cuanto a resistencia (VRS de la Porter estándar), plasticidad (contracción lineal) y valor cementante, se indican en la Tabla III.2 y la Figura III.4; estas características, que son las más importantes para estos materiales, se deben cumplir en forma simultánea.

Se debe hacer la aclaración que en la Figura III.4, aunque las normas marcan que la granulometría tenga una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas 1, 2 y 3, la realidad es que no es de mucha importancia si es que se cumplen las características que se marcan en la Tabla III.2; sin embargo, si estas características no se cumplen y se mejora la granulometría, por ejemplo, con una estabilización mecánica, se puede mejorar la resistencia; así, la granulometría nos sirve como un índice para decidir la forma de realizar el mejoramiento.

MATERIALES DE SUB-BASE

Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría		
	1	2	3
Contracción lineal, en porcentaje (Máx.)	6.0	4.5	3.0
Valor cementante, para materiales angulosos en kg/cm ² (Mín.)	3.5	3.0	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en kg/cm ² (Mín.)	5.5	4.5	3.5
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	50 Min.		
Equivalente de arena, en porcentaje	20 Min. (Tentativo)		

MATERIALES DE BASE

Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría		
	1	2	3
Límite líquido, en porcentaje (Máx.)	30	30	30
Contracción lineal, en porcentaje (Máx.)	4.5	3.5	2.0
Valor cementante, para materiales angulosos en kg/cm ² (Mín.)	3.5	3.0	2.5
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos en kg/cm ² (Mín.)	5.5	4.5	3.5

MATERIALES DE BASE

Para emplearse en	Intensidad de tránsito en ambos sentidos	Valor relativo de soporte estándar	Equivalente de arena (tentativo)	Índice de durabilidad (tentativo)
Carreteras	Hasta 1000 vehículos pesados al día (Mín.)	80	30	35
	Más de 1000 vehículos pesados al día (Mín.)	100	50	40
Aeropistas (aerona- ves con peso total)	Hasta 20 ton (Mín.)	80	35	35
	Más de 20 ton (Mín.)	100	50	40

Tabla III.2. Características de los Materiales que se Utilizaran como Sub-Base y Base

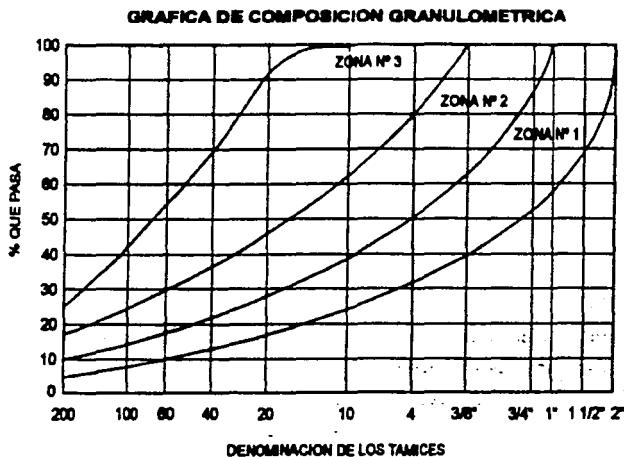


Figura III.4. Zonas de Especificaciones Granulométricas para Materiales de Sub-Base y Base

III.3.4. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LAS SUB-BASES Y BASES

Los procedimientos de construcción para las bases y las sub-bases, incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares, son como sigue:

- 1) Exploración. Se requiere efectuar una exploración completa de la zona en que se construirá la obra vial, a fin de encontrar posibles bancos para pavimentación. Para este fin es muy útil poder hacer uso de las fotografías aéreas, los reconocimientos de tipo terrestre, ya sea que se realicen a pie, en vehículo o a lomo de bestias.
- 2) Muestreo, pruebas de laboratorio y elección de bancos. Una vez que se han localizado probables bancos, se realizan sondeos preliminares, para tener idea de la calidad de los materiales, y si los resultados son positivos, se realizan sondeos definitivos en mayor número que los anteriores, para conocer la extensión del banco y la variabilidad del material. Los sondeos pueden ser a cielo abierto, cuya profundidad varía de 2 a 4 m en

- materiales poco o nada cementados; para materiales con regular cementación y rocas, se realizan perforaciones con máquina rotatoria.
- 3) Extracción y acarreo de materiales. Para realizar la extracción de los materiales, se debe tomar en cuenta, que aquéllos que se encuentran en forma masiva se deben obtener con tamaños accesibles, que en obras viales son del orden de 75 cm como máximo. Para ello, en primer lugar se barrena la roca, se coloca dinamita y algún otro producto de nitrógeno que disminuya el costo, se colocan los estopines y se lleva a cabo la explosión. De acuerdo a la cantidad de explosivos que se colocan en los barrenos, a la posición en que se encuentran éstos, y a la dureza de la roca, será el tamaño máximo de los fragmentos que se producen.
 - 4) Tratamientos previos. En seguida se efectúan los tratamientos previos, o sea los que se llevan a cabo antes de llegar a la obra; estos tratamientos pueden ser de cribado o de trituración; en la mayoría de los casos en que se necesita alguna estabilización, principalmente de tipo químico, también se realiza como tratamiento previo, y en todos estos casos se tienen plantas para realizar con eficiencia los trabajos necesarios.
 - 5) Acarreo a la obra. Los materiales tratados previamente, o los que pueden llevarse en forma directa del banco, se acarrean a la obra, en donde se acamellonan, es decir, se hace un acordonamiento de sección constante para medir su volumen, y en caso de que haya faltante, se deben realizar los recargues necesarios. Para acamellonar los materiales se utilizan motoconformadoras.
 - 6) Tratamientos en la obra. En seguida, a los materiales que lo necesitan, se les efectúan los tratamientos en el tramo, que en general son estabilizaciones mecánicas aunque en ocasiones también son de tipo químico. Para utilizar estos tratamientos, con el material que constituye el mayor volumen, una vez acamellonado y medido, se forma una capa en parte de la corona de la obra, y sobre ella se coloca el material que se le va a mezclar en forma acordonada; si es necesario, se disgrega para luego mezclarlos con motoconformadoras hasta homogeneizarlos, después de lo cual, conviene volver a acamellonarlos para comprobar el volumen debido a que la suma de los volúmenes de materiales separados es mayor que cuando ya están unidos.
 - 7) Compactación. En seguida se efectúa la compactación del material, para lo cual se requiere humedecerlo con una cantidad de agua cercana a la óptima; esta humedad óptima de campo, en general es menor que la de laboratorio, porque las máquinas que se utilizan son de gran peso, aunque se debe compensar el agua que se evapora

mientras se hacen los tratamientos. El agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas de la pipa, que es el nombre del vehículo formado por un tractor y un tanque, con el que se humedece el material.

- 8) Riego de impregnación. Una vez alcanzado en las bases el grado de compactación de proyecto, se dejan secar superficialmente durante varios días, una vez que se tiene a la capa en esa condición, se barre para retirar de ella la basura, polvo y partículas sueltas que pueda haber; esta operación se puede realizar con cepillos manuales o mecánicos. En seguida, se debe proporcionar a la base un riego llamado de impregnación, que se realiza distribuyendo asfalto en proporción de 1.5 l/m². Este riego de impregnación sirve para tener una zona de transición, entre la base de materiales naturales y la carpeta asfáltica.

III.4. COMPACTACIÓN

Compactación de suelos es el proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos; el proceso mas o menos implica una reducción de los vacíos, como consecuencia de la cuál ocurre cambios de volumen de importancia, fundamentalmente perdidas de volumen de aire, por lo general no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación.

El objetivo principal de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra. Desde un principio el problema de compactación de suelos resulta ligado al de control de calidad de los trabajos de campo; después de realizar un proceso de compactación siempre es necesario verificar si con el se lograron los fines propuestos.

III.4.1. PRUEBAS DE COMPACTACIÓN

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, teóricamente, en laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo. Los métodos más conocidos son los siguientes: Proctor Estándar o A.A.S.H.O. (American Association of State Highway Officials) Estándar; Proctor Modificada o A.A.S.H.O. Modificada, Otra prueba es la desarrollada por el Prof. S. D. Wilson En la Universidad de Harvard (E.U.A.) con el nombre de Miniatura

Harvard. En estas pruebas con los datos que se obtiene en laboratorio se dibuja la curva de compactación (Peso volumétrico seco- humedad) obteniéndose de esta curva el valor de la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo del suelo, ver Figura III.5.

Se entiende por energía específica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico que se trate: Es fácil evaluar la energía específica en una prueba de laboratorio en que se compacte el suelo por impactos dados con un pisón; queda dada por la expresión:

$$E_e = \frac{NnWh}{V}$$

donde:

E_e = energía específica

N = número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas

n = Numero de capas

W = peso del pisón compactador

h = altura de caída del pisón

V = volumen total del molde

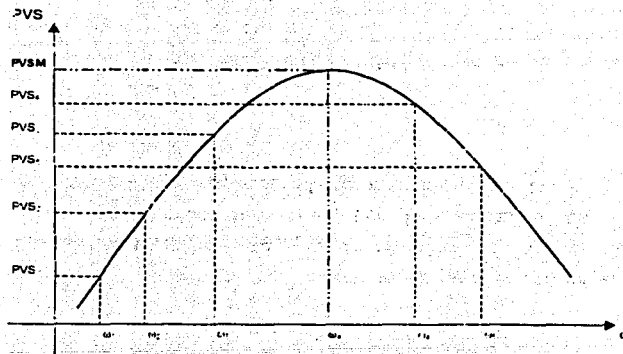


Figura III.5. Curva Proctor que Muestra la Acción del Agua en la Compactación de los Suelos, el Peso Volumétrico Seco Máximo y la Humedad Óptima.

III.4.2. PROCESOS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO

La energía que se requiere para compactar los suelos en el campo se puede aplicar mediante cualquiera de las cuatro formas que adelante se enumeran; para lo cual hacemos mención a los equipos de compactación (ver Figura III.6) para desarrollar las formas de compactación:

1. Compactación Por Amasado.

Rodillo Pata de Cabra. Estos compactadores concentran su peso sobre la relativamente pequeña superficie de todo un conjunto de puntas de forma variada ejerciendo presiones estáticas muy grandes en los puntos en que las mencionadas protuberancias penetran en el suelo. Conforme se van dando pasadas y el material se va compactando, las patas cada vez profundizan menos en el suelo.

Los rodillos mas usuales tienen vástagos de 20 a 25 cm de longitud y se usan para compactar capas de suelo suelto de alrededor de 30 cm de espesor. Por lo general se considera adecuada la operación cuando el vástago penetra del 20 al 50% de su longitud, lo que depende de la plasticidad del suelo; así, para una arcilla blanda se busca hacer penetraciones menores que para una arcilla arenosa, a fin de evitar que se adhieran al vástago cantidades considerables de suelo y se reduzca el rendimiento del equipo.

2. Compactación Por Presión.

Rodillos Lisos. Los rodillos lisos tienen su campo de aplicación circunscrito a los materiales que no requieren concentraciones elevadas de presión, por lo general son gravas y arenas relativamente limpias. También se utilizan para el acabado de la superficie superior de las capas compactadas (terminación de la subrasante, de la base y de carpetas de mezcla asfáltica).

Rodillos Neumáticos. La acción compactadora del rodillo neumático (con llantas rellenas de aire) tiene lugar fundamental por la presión que transmite a la capa de suelo tendida. Estos se usan principalmente en los suelos arenosos con finos poco plásticos, en los que no

existen grumos cuya disgregación requiera grandes concentraciones de presión; en limos poco plásticos también son eficientes los rodillos neumáticos.

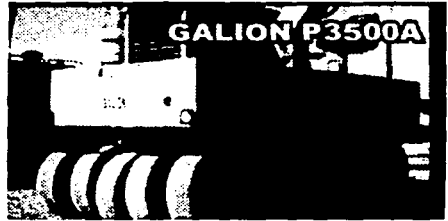
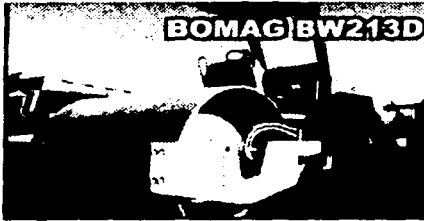
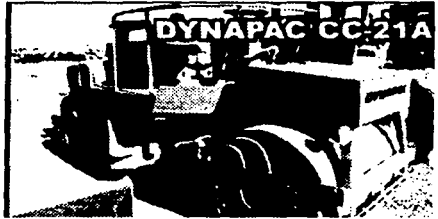
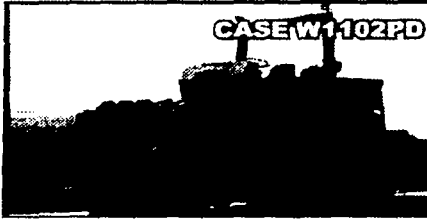


Figura III.6. Maquinaria y Equipo Utilizado para las Distintas Formas de Compactación

3. Compactación Por Impacto.

En los procedimientos de compactación por impacto es corta la duración de transmisión del esfuerzo. Los equipos que se utilizan son los diferentes tipos de pisonos. Cuyo empleo esta reservado a áreas pequeñas. Los pisonos pueden ir desde los tipo mas elemental, de caída libre y accionados a mano hasta aparatos bastante mas complicados movidos por compresión neumática o por combustión interna.

4. Compactación Por Vibración.

Para la compactación por vibración se emplea un mecanismo, bien sea del tipo de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo, que proporciona un efecto vibratorio al elemento compactador, la frecuencia de la vibración influye de manera extraordinaria en el proceso de compactación.

Los procedimientos de compactación de campo combinan siempre la vibración con la presión; la vibración sola utilizada resulta poca eficiente. La presión es necesaria para vencer los nexos interparticulares que se producen tanto en los suelos gruesos como en los finos.

La elección del equipo de compactación es fundamental, antes de la elección, además de las características de los suelos que se vayan a compactar, deberán sopesarse cuidadosamente las condiciones estructurales que se desea obtener, de acuerdo con las condiciones de la via terrestre que se construya y con la ubicación de la zona que se compacte dentro de la sección transversal de la misma. Las condiciones más importantes que se deben ponderar son los siguientes:

- Tipo de suelo.
- Variaciones del suelo dentro de la obra.
- Tamaño e importancia de la obra que se vaya a ejecutar.
- Especificaciones de compactación fijadas por el proyecto.
- Tiempo disponible para ejecutar el trabajo.
- Equipo que ya se posea antes de comenzar los trabajos.

La selección de un equipo de compactación es fundamental la economía, el ingeniero suele tener varias alternativas de equipo, entre las que deberá decidir, escogiendo la combinación más favorable a sus intereses económicos; es decir, la que lo lleve a satisfacer al mínimo costo los requisitos de calidad impuestos por el proyecto.

Símbolo	Características de Compactabilidad	Peso Volumétrico seco máx. típico (Proctor estándar) ton/m ³	Compresibilidad y expansión	Permeabilidad y características de drenaje
GW	Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillos neumáticos. Respuesta perceptible al bandeado en tractor	1.9 a 2.1	Prácticamente nula	Permeable Muy buenas
GP	Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillos neumáticos. Respuesta perceptible al bandeado en tractor	1.8 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable Muy buenas
GM	Buenas. Rodillos neumáticos o pata de cabra ligeros	1.9 a 2.2	Ligera	Sempermeable Drenaje pobre
GC	Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.8 a 2.1	Ligera	Impermeable mal drenaje
SW	Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios	1.7 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable buen drenaje
SP	Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios	1.6 a 1.9	Prácticamente nula	Permeable buen drenaje
SM	Buenas. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.7 a 2.0	Ligera	Impermeable mal drenaje
SC	Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.6 a 2.0	Ligera a mediana	Impermeable mal drenaje
ML	Buenas a malas. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.5 a 1.9	Ligera a media	Impermeable mal drenaje
CL	Regulares a buenas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.5 a 1.9	Media	Impermeable no drena
OL	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.3 a 1.6	Media a alta	Impermeable mal drenaje
MH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.1 a 1.6	Alta	Impermeable mal drenaje
CH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.3 a 1.7	Muy alta	Impermeable no drena
OH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.0 a 1.6	Alta	Impermeable no drena
Pt	No debe usarse	-	Muy alta	Regular o mal drenaje

Tabla III.3. Características de Compactabilidad de los Suelos, Clasificación SUCS.

Capítulo III "Principales Aspectos de Geotecnia Asociados a la Conservación de Carreteras"

La Tabla III.3 y la Tabla III.4 son un resumen de los diferentes suelos tomando en cuenta las propiedades de los mismos para poder utilizar correctamente los suelos según la clasificación SUCS.

Símbolo	Características como material de terrapién	Características como sub-resante	Características como base	Características como pavimento provisional	
				Con revestimiento ligero	Con tratamiento asfáltico
GW	Muy estable	Excelente	Muy buena	Regular a mala	Excelente
GP	Estable	Buena a excelente	Regular	Pobre	Regular
GM	Estable	Buena a excelente	Regular a mala	Pobre	Regular a pobre
GC	Estable	Buena	Regular a buena	Excelente	Excelente
SW	Muy estable	buena	Regular a mala	Regular a mala	Buena
SP	Razonablemente estable en estado compacto	Permeable buen drenaje	Mala	Mala	Regular a mala
SM	Razonablemente estable en estado compacto	Regular a buena	Mala	Mala	Regular o mala
SC	Razonablemente estable	Regular a buena	Regular a mala	Excelente	Excelente
ML	Mala estabilidad si no esta muy compacto	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
CL	Buena	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
OL	Inestable. Debe evitarse su uso	Mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
MH	Inestable. Debe evitarse su uso	Mala	No debe usarse	Muy mala	Muy mala
CH	Regular. Vigílese la expansión	Mala o muy mala	No debe usarse	Muy mala	No debe usarse
OH	Inestable. Debe evitarse su uso	Muy mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
Pt	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse

Tabla III.4. Características de Construcción de los Suelos, Clasificación SUCS.

III.5. ESTABILIDAD DE TALUDES

Los estudios que se requieren, así como proyectos para estabilizar un terraplén, un corte o una ladera en el entorno de una vía terrestre, son el objetivo de este tema, describiéndose las causas que provocan los deslizamientos y de las técnicas para su corrección.

Los problemas de inestabilidad de terracerías y de laderas se deben resolver desde la etapa de elección de la ruta del camino, detectando las zonas inestables mediante fotointerpretación y reconocimientos geológicos, posteriormente con el estudio geotécnico efectuado sobre el trazo definitivo, pueden proporcionarse las recomendaciones de estabilización para elaborar el proyecto geométrico de terracerías, en muchos casos, durante la etapa de construcción no se resuelven los problemas, por lo que estos aparecen durante la etapa de operación con las siguientes implicaciones de tipo financiero, de inseguridad y de incomodidad para los usuarios.

Una masa de tierra que posee inclinación y cambios de altura, se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y se llama talud cuando se tiene una superficie plana y se conformó mediante una excavación o un relleno artificial.

Una falla geológica se entiende como un desplazamiento de bloques de roca y una falla geotécnica como un deslizamiento de suelos y rocas a lo largo de una superficie plana o curva provocado por la construcción de una vía terrestre.

La estabilidad se define como la facultad de las obras de conservar su posición de equilibrio, aunque actúen sobre éstas otras fuerzas tendientes a alejarlas de dicha posición de equilibrio. La estabilidad de una obra depende del factor de seguridad que se asigne en los análisis efectuados.

Las causas que llegan a provocar deslizamientos de taludes y laderas, están íntimamente ligadas con las propiedades índice y mecánicas de los suelos y rocas, como son el contenido de agua, los límites de consistencia, la granulometría, estructura, resistencia, deformabilidad, permeabilidad y cambios volumétricos.

Por lo anterior, las causas más comunes que provocan deslizamientos son:

- Existencia de suelos blandos
- Inclinación inadecuada de los taludes
- Drenaje deficiente superficial y subterráneo
- Estratificación de roca y suelo
- Fracturas
- Fallas y diaclasas de la roca
- Discordancia geológica entresuelo y roca
- Uso de materiales de construcción inapropiados

Las actividades que se requieren para la elaboración de un estudio de estabilización de un talud de corte o terraplén y de una ladera natural, de manera no limitativa, son las siguientes:

1. Efectuar visitas de campo al sitio para observar los movimientos ocurridos y las fuerzas actuales debidas a los materiales y al drenaje superficial y subdrenaje, a fin de determinar las posibles causas que están provocando la falla, suponer un posible mecanismo de falla y una probable solución, para tener una idea de la magnitud del problema.
2. Programa los trabajos de campo y efectuar levantamiento topográfico, zonificación y estructura geológica, análisis geohidrológico, geofísico y de drenaje y exploración con pozos a cielo abierto o con maquina perforadora; con los resultados obtenidos programar los trabajos de laboratorio e instrumentación de campo mediante inclinómetros y líneas de colimación.
3. Con los estudios efectuados, con las propiedades de los materiales en cuanto a resistencia, deformación, permeabilidad, cambios volumétricos y drenaje y con la instrumentación, determinar la superficie de falla y establecer el mecanismo geotécnico que lleve a los modelos físicos y matemáticos del problema por establecer un homomorfismo o isomorfismo entre estos dos últimos modelos.
4. Con el modelo elegido, efectuar el análisis de estabilidad de varias opciones de solución utilizando factores de seguridad acostumbrados en la práctica de las vías terrestres.
5. Definir la solución recomendable, elegida con base en un análisis de costos y en su viabilidad de construcción.

6. Elaborar un proyecto constructivo del conjunto de obras recomendables.
7. Conservar la instrumentación implementada para dar seguimiento al comportamiento de las acciones de solución.

En el análisis de estabilidad efectuado durante el estudio se involucran algunas de las técnicas de protección y estabilización de taludes de corte y terraplén, los que se mencionan a continuación:

- Protección de la superficie de un talud con vegetación, drenaje, sellado de grietas, concreto lanzado, zampeado, malla de triple torsión, cables con malla, etc.
- Técnicas de tratamiento para estabilización de taludes, abatimiento del talud, taludes compuestos, bermas, drenes transversales de penetración, drenes longitudinales de zanja, trincheras estabilizadoras, anclaje, tablaestacas, sustitución de material, inyección de cal y cemento, etc.

El mecanismo de falla de un talud se puede intuir para dar la solución técnica de la estabilización, para ello requiere de experiencia de muchos años y buen juicio del ingeniero geotecnista dedicado principalmente al estudio de la estabilización de deslizamientos.

Todo proyecto para la estabilización de taludes de corte, terraplén y de laderas en una vía terrestre, debe ser debidamente soportado por un estudio geotécnico que considere algunos de los trabajos que han sido mencionados en este tema.

III.5.1. TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES EN LOS TALUDES

En primer lugar se distinguen las que afectan principalmente a las laderas naturales de las que ocurren sobre todo en los taludes artificiales. En todo momento se deberá tener en cuenta que no se intenta tratar temas conectados con la mecánica de las rocas.

Al considerar las diferentes fallas que pueden existir en los taludes naturales y artificiales, también será necesario distinguir las que ocurren en suelos residuales, en suelos transportados o en materiales que han sufrido un proceso de compactación durante su puesta en obra.

1. Fallas Ligadas a la Estabilidad de las Laderas Naturales

Se agrupan en esta división las fallas que ocurren típicamente en laderas naturales, aun cuando de un modo u otro también pudieran presentarse de manera ocasional en taludes artificiales.

Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento (creep), se refiere esta falla al proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales.

El creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las inmóviles más profundas. No se puede hablar de una superficie de deslizamiento. El creep suele deberse a una combinación de las acciones de las fuerzas de la gravedad y de otros varios agentes. La velocidad de movimiento ladera debajo de un creep típico puede ser muy baja y rara vez excede de algunos centímetros por año.

Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionadas con perfiles geológicos desfavorables, se producen en las laderas naturales como consecuencia de procesos de deformación acumulativa, por la tendencia de grandes masas a moverse ladera abajo. Este tipo de fallas quizá es típico de laderas naturales en depósitos de talud o en otras formaciones análogas en cuanto a génesis geológicas, formadas por materiales bastantes heterogéneos, no consolidados y bajo la acción de fuerzas gravitacionales.

Flujos, se refiere al tipo de fallas con movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en si y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerda el comportamiento de un líquido viscoso.

Flujo en materiales relativamente secos, comprende en primer lugar, los flujos de fragmentos de roca, desde los muy rápidos (avalanchas) hasta los que ocurren lentamente, estos movimientos pueden explicarse en términos de la falla plástica de los contactos

profundos entre los fragmentos de roca y consecuentemente, afectan siempre a grandes masas de fragmentos y suelen ser de catastróficas consecuencias.

Flujo en materiales húmedos (flujos de lodos), se trata ahora de flujos que requieren una proporción apreciable de agua contenida en el suelo, la cual desempeña un papel de la génesis y naturaleza de la falla, existe amplia graduación en la cantidad de agua que pueden contener los materiales, así como en el papel que ésta llega a tener en el desarrollo de la falla.

2. Fallas Relacionadas a la Estabilidad de Taludes Artificiales

Falla rotacional, son movimientos rápidos o prácticamente instantáneos que ocurren en los taludes y que afectan a masas profundas de los mismos, con deslizamientos a lo largo de una superficie de falla curva que se desarrolla en el interior del cuerpo del talud, interesando o no al terreno de cimentación. Se considera que la superficie de falla se forma cuando en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia del material.

Falla traslacional, estas fallas por lo general consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos por los cantiles, por lo general formados por agrietamiento.

Fallas con superficie compuesta, abarca movimientos en que se combinan la rotación y la traslación, dando lugar a superficies de falla compuestas en que se desarrollan zonas planas a la vez que tramos curvos. En general, estas superficies están predeterminadas por la presencia de heterogeneidades dentro del talud.

Fallas múltiples, son aquellas que se producen con varias superficies de deslizamiento, sean simultáneas o en rápida sucesión.

Derrumbes y caídos, estas fallas son típicas tanto en las laderas naturales como en los cortes practicados en aquéllas. A veces suceden en otros lugares fuera de las vías terrestres propiamente dichas, pero ejerciendo cierta influencia sobre éstas; por ejemplo, es el caso de los derrumbes que pueden ocurrir en la orilla de un río, como consecuencia de la erosión de la corriente.

Fallas por licuación, consisten en la pérdida rápida de resistencia al esfuerzo cortante, temporal o definitivo, tal pérdida conduce al colapso a cualquier estructura vial edificada sobre o hecha de un material que entre en licuación.

Por incremento de los esfuerzos cortantes actuantes y desarrollo correspondiente de presión de poro o en el caso que realmente interesa, por desarrollo rápido de elevadas presiones en el agua intersticial, quizá como consecuencia de un sismo, una explosión, etc.

Falla por deformación en los hombros de los terraplenes, consiste en la deformación progresiva y acumulativa de los hombros del terraplén, que se desplazan verticalmente hacia abajo, produciendo una sección redondeada o escalonada en la corona. A veces, entre la zona desplazada y el resto del terraplén aparece una grieta en la dirección paralela al eje de la vía, la cual puede llegar a ser el inicio de un deslizamiento de tierra.

III.5.2. MÉTODOS DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Se trata ahora de presentar los métodos de cálculo de que dispone el ingeniero para establecer si un talud en que piense será estable en la etapa de proyecto, o para poder revisar la condición de un talud construido y poder juzgar, quizá, de la bondad de algún método correctivo que desee emplear.

Antes de proseguir ha de insistirse en que, como se verá, todos los modelos matemáticos que sirven de base a métodos de cálculo presuponen una homogeneidad en materiales, estratificación, disposición, circunstancias y modo de actuar de los agentes naturales, que muy pocas veces encontrará en sus obras en ingeniero de vías terrestres.

Será preciso tener en cuenta una vez más la enorme diferencia que existe en cortes y terraplenes; en aquellos será mucho más difícil que se den las condiciones que proporcionen una base racional a un método matemático de cálculo; en terraplenes, será más probable contar con tal base, a condición, en primer lugar, de que se hayan construido o se vayan a construir siguiendo un procedimiento conocido y de cierta uniformidad en el uso y tratamiento de los suelos y, en segundo, claro está, de que se haga el necesario estudio de campo y laboratorio.

Las fallas que se pueden presentar en los taludes, son susceptibles de representarse en un modelo matemático que pueda servir de base a un método de cálculo. Algunas de las más comunes y peligrosas formas de falla (flujos, erosión, etc.) no se pueden analizar numéricamente, ya sea porque el actual conocimiento sobre sus mecanismos no es satisfactorio, o simplemente porque se presentan con tal variedad y complejidad que desafían todo intento de encuadramiento concreto.

Los métodos de cálculo más populares se comentan a continuación:

1. Método Sueco (Falla Rotacional)

Los métodos de análisis disponibles para calcular la posibilidad de que se desarrolle un deslizamiento de tipo rotacional en el cuerpo de un talud, al igual que prácticamente todos los métodos de cálculo de estabilidad de taludes, siguen tres pasos fundamentales:

- a) Se establece una hipótesis sobre el mecanismo de la falla que se producirá. Ello incluye tanto la forma de la superficie de falla como una descripción cinemática completa de los movimientos que se producirán sobre ella y un análisis detallado de las fuerzas motoras.
- b) Se adopta una ley de resistencia para el suelo. Las leyes en uso en la falla han sido discutidas anteriormente. Con base en tal ley se podrán analizar las fuerzas resistentes disponibles.
- c) Se establece algún procedimiento matemático de confrontación, para definir si el mecanismo de falla propuesto podrá ocurrir o no bajo la acción de las fuerzas motoras, venciendo el efecto de las fuerzas resistentes.

La razón para que se utilice un método como el anterior es que no se ha desarrollado ninguno satisfactorio con base en una hipótesis convincente de distribución de esfuerzos en el interior de la masa del talud, de hecho no existe hoy ninguna solución a tal fundamental cuestión que parezca prometedora.

En si el método propuesto por Fellenius, considera la superficie circular como forma apropiada de la superficie de falla para muchos casos de deslizamiento en el cuerpo del talud. La superficie de falla es un cilindro, cuya traza con el plano del papel es un arco de circunferencia.

El procedimiento de cálculo que se propone para este caso fue establecido primeramente por A. Casagrande y en principio se puede utilizar para estudiar tanto fallas por el pie del talud como fallas de base. El procedimiento se describe en la Figura III.7. Considérese el arco de circunferencia de radio R y de centro en O como la traza de una superficie hipotética de falla, en la que se movilizaría la zona rayada de la figura. Las fuerzas actuantes, es decir, las que tienden a producir el deslizamiento, serán el peso W del área $ABCD$, más cualquiera sobrecargas que pudieran actuar en la corona del talud. El peso W se calcula considerando un espesor de la sección unitaria en la dirección normal al plano del papel.

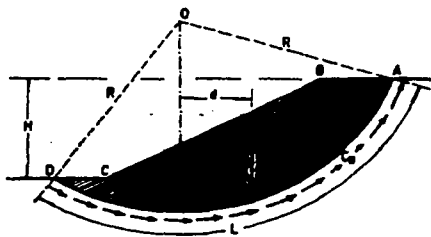


Figura III.7. Diagrama de la Falla Rotacional (Método Sueco).

El momento de las fuerzas motoras podrá expresarse como, $Mm = \Sigma Wd$ que incluye el peso de la tierra más las sobrecargas que pudieran existir.

Las fuerzas resistentes las genera la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de toda la superficie de falla supuesta y su momento en relación al mismo polo O será:

$M_r = cuLR$ en el instante de la falla incipiente, $M_m = Mr$ y, por lo tanto, se podrá escribir para ese instante: $\Sigma Wd = cuLR$, si se define un factor de seguridad, F_s , como:

$$F_s = \frac{M_r}{M_m} = \frac{cuLR}{\Sigma Wd}$$

Se podrá expresar la seguridad del talud en términos del valor de F_s , siendo evidente que la condición de falla incipiente es $F_s = 1$.

2. Método de la Cuña (Fallas Traslacionales)

Se trata de un método para analizar la estabilidad del cuerpo de un talud, en principio aplicable a los mismos casos que cubre el método sueco a través de su hipótesis de falla circular; sin embargo, por la naturaleza de la superficie de falla que ahora se manejan (superficies planas), en los cálculos prácticos el método de la cuña se ha ligado más bien a las fallas traslacionales, considerándose que el caso típico para su aplicación es el de un terraplén construido sobre un terreno de cimentación que incluya un estrato muy blando cercano a la superficie (o quizá en la propia superficie, como podría ser el caso de zonas de meteorización intensa en suelos residuales mucho más duros a mayor profundidad) o el de un terraplén de suelo construido sobre un terreno de cimentación duro y resistente.

En el método, la superficie de deslizamiento potencial o real se representa por dos o más segmentos de recta, se definen así cuñas dentro de la masa deslizante (I y II en el caso de la Figura III.8), la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de deslizamiento se debe expresar en función de los parámetros de resistencia aplicables.

Existen en el equilibrio de las dos cuñas cuatro conceptos mecánicos desconocidos (E, N1, N2 y a) y una quinta incógnita que es el factor de seguridad correspondiente a la superficie de falla escogida. En efecto para una geometría dada y unos parámetros de resistencia

dados deben quedar definidas unas condiciones de estabilidad para la masa deslizante, las que han de reflejarse en un factor de seguridad determinado.

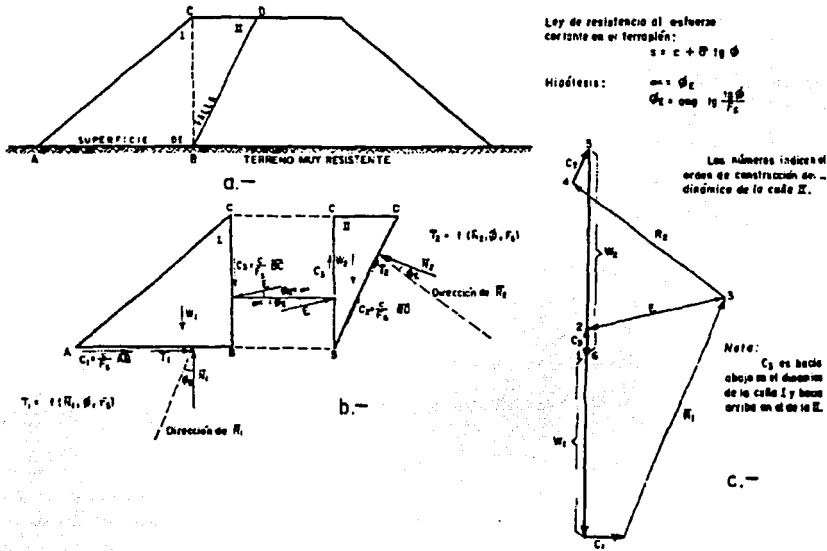


Figura III.8. Diagrama de las Fallas Traslacionales (Método de la Cuña).

Para resolver el problema se tienen dos ecuaciones de equilibrio de fuerzas en cada cuña, por lo que éste está indeterminado. Al hacer el diagrama del cuerpo libre de la cuña I ó de la II aparecen sobre ella las siguientes fuerzas:

- Una fuerza $C1 = \frac{C}{F_s}(\overline{AB})$
- Una fuerza $T1$, que depende del valor de $N1$, de los parámetros de resistencia y del propio valor de F_s .
- La fuerza $N1$

- El peso de la cuña $W1$
- El empuje de tierra que sobre la cuña I produce la cuña II, E .
- Una fuerza $C3 = \frac{C}{Fs} (\overline{BC})$

De esto se deduce que es preciso hacer una hipótesis que permita eliminar algunas de las incógnitas para determinar el problema. Esta hipótesis se refiere por lo común a la dirección de la fuerza E ; suele aceptarse que E es paralela al plano del talud o decirse que forma con la normal a la superficie de contacto entre las cuñas un ángulo, Q_e definido por la expresión:

$$Q_e = \text{Ang. Tan} \frac{\text{Tan} Q}{Fs}$$

CAPITULO IV

HIDRÁULICA DE LAS OBRAS DE DRENAJE EN CARRETERAS

Desde la etapa de la Selección de Ruta, los ingenieros especialistas en localización, conjuntamente con los hidrólogos son los encargados de observar la hidrografía de la zona, analizando el tamaño, tipo y comportamiento de cuencas para prever las dificultades que se puedan presentar en el cruce de las corrientes fluviales, y decidir en donde se hagan éstos. Un buen estudio hidrológico incide en gran medida en el funcionamiento futuro del camino.

Si bien, la conservación de las obras de drenaje de una carretera se basa únicamente en tenerlas limpias y libres de hierbas y troncos que puedan obstruir su entrada y su salida, se llegan a presentar casos donde la obra de drenaje no esta funcionando de acuerdo a lo planeado, por ejemplo, que a causa de las lluvias, el agua rebasó la rasante del camino o se produjo un remanso aguas arriba de la obra, en cuyo caso convendría estudiar de nuevo la cuenca para corregir dicha obra. A continuación damos una breve repaso de la obtención del gasto de diseño para una obra de drenaje menor (tubos, cajones, y losas de menos de 6 m de largo).

Para obtener el gasto de diseño de obras de drenaje menor a proyectar, los datos que debemos conocer son las características fisiográficas de la cuenca como son: el área de la cuenca, la pendiente media y longitud del cauce principal, el tipo y uso de suelo, densidad de vegetación, existencia de cuerpos de agua naturales o construidos por el hombre (coeficientes de escurrimiento y de rugosidad), y sus características hidrológicas como son las características de la precipitación y del escurrimiento.

Esta información la podemos obtener apoyándonos en cartas topográficas, geológicas, hidrológicas, edafológicas y de uso de suelo elaboradas por instituciones gubernamentales como el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y/o privadas, a escala 1:50 000, de la región donde se ubique la cuenca. Además de contar con el estudio geotécnico del camino.

La información de estas cartas siempre se debe comparar con la que nos puedan mostrar las fotografías aéreas, revisando que no haya sufrido cambios sustanciales debido a la construcción de otras obras, explotación de recursos o desastres naturales, de ser así, los cambios hallados serán asentados en las mismas cartas o fotografías aéreas para que se tomen en cuenta en los cálculos hidrológicos e hidráulicos.

IV.1. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA

Para hacer un estudio hidrológico necesitamos primero definir todas las cuencas que atraviesa el camino a construir. La cuenca es el área sobre un plano horizontal que define un punto sobre un escurrimiento superficial quedando éste encerrado por una línea curva llamada parteaguas, de tal manera que cada partícula de lluvia que caiga dentro de esta área contribuirá al escurrimiento y podrá ser registrada en el punto sobre el río donde cierra la cuenca, que es a su vez el punto que nos interesa.

El parteaguas es la línea imaginaria que une los puntos de mayor nivel topográfico y que separa a la cuenca de cuencas vecinas. Las características de un parteaguas son:

- El parteaguas y las curvas de nivel forman un ángulo de 90° en su intersección.
- El parteaguas pasa por la parte más alta de los cerros.
- El parteaguas nunca se intersecta con el escurrimiento a no ser en la salida de la cuenca.
- El sentido del escurrimiento es contrario a los picos de las curvas de nivel.

Una vez definida la cuenca se mide su área con cualquier procedimiento que elijamos como puede ser con planímetro, por el método de triangulación o con la ayuda de softwares como AutoCad si se cuenta con la fotografía aérea digitalizada, etc.

IV.1.1. PENDIENTE DE LA CUENCA

Es la pendiente media del cauce principal o corriente de mayor longitud dentro de la cuenca, medida desde su inicio hasta el sitio donde se ubicará la obra por proyectar. Las corrientes

de menor longitud se consideran tributarias del cauce principal. La longitud y la pendiente se determinan como sigue:

La longitud del cauce principal (L), expresada en kilómetros, es la distancia desde su origen en el parteaguas hasta el cruce con el eje de la carretera, medida perpendicularmente a las curvas de nivel, con un curvímeter o un escalímetro.

Se deduce y se dibuja el perfil del eje del cauce principal, desde su origen hasta su cruce con el eje de la carretera, con el propósito de observar las variaciones de las pendientes a lo largo del cauce, seleccionar tramos de igual pendiente y determinar de cada tramo, sus longitudes (L_j), expresadas en metros y sus pendientes (Sc_j), expresadas adimensionalmente con aproximación al diezmilésimo.

Con los datos anteriores, la pendiente media del cauce principal (Sc), se calcula mediante la expresión de Taylor - Schwarz, como sigue:

$$Sc = \left(\frac{L}{\sum_{j=1}^N \frac{L_j}{Sc_j}} \right)^2$$

donde:

Sc = Pendiente media del cauce principal, adimensional con aproximación al diezmilésimo.

Sc_j = Pendiente del tramo j , adimensional con aproximación al diezmilésimo.

L = Longitud del cauce principal, desde su origen hasta su cruce con el eje de la obra, en metros.

L_j = Longitud del tramo j , en metros.

N = Número de tramos.

IV.2. CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y GASTO ESPERADO.

IV.2.1. PRECIPITACIÓN Y ESCURRIMIENTO

La precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera. Para que se origine la precipitación debe previamente producirse la condensación del vapor atmosférico y esto generalmente sucede por el enfriamiento de una parte de la atmósfera. Para el cálculo de la precipitación se utilizan aparatos como el pluviómetro y el pluviógrafo, son instrumentos que están a la intemperie, son de forma cilíndrica, abiertos en su parte superior y en el cual se recoge el agua producto de la lluvia, registrando la altura de la lámina de agua en milímetros.

Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación " i ", que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se produjo, los registros de los pluviógrafos se pueden transformar y obtener el hietograma de las diversas tormentas medidas. El hietograma es una gráfica de barras que indica el incremento de la altura o de su intensidad con respecto a un intervalo de tiempo.

Con el pluviógrafo se puede obtener:

- La altura de la precipitación total de la tormenta
- Cuantas tormentas produjeron la altura de precipitación.
- Cual es el comienzo y fin de cada tormenta.
- Cual es la altura de precipitación de cada tormenta.

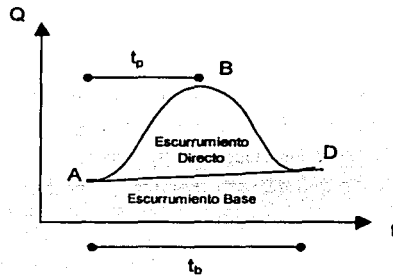
Con los datos obtenidos de las estaciones pluviográficas instaladas en todo el territorio nacional, se elaboran cartas o mapas de isoyetas que son curvas que unen puntos de igual altura de precipitación.

El escurrimiento es la parte de la precipitación, así como de cualquier otro flujo contribuyente, drenada por las corrientes superficiales de la cuenca hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes, y con base a ellas, se considera el escurrimiento como superficial, subsuperficial o subterráneo.

El escurrimiento superficial es el que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, pero que se mueve sobre el horizonte superior del mismo. Esto puede ocurrir si existe un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo, este efecto puede ser inmediato o retardado dependiendo de las características del suelo, en cuyo caso si es inmediato se le considera como escurrimiento superficial, y si es retardado como subterráneo.

Y por último el escurrimiento subterráneo es la recarga por parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que éste se ha saturado.

Hidrograma. Es una gráfica donde se relacionan los gastos medidos (Q) de cada tormenta en la sección de un escurrimiento a través del tiempo (t).



donde:

A = Punto de levantamiento. Este depende del área de la cuenca, intensidad de la lluvia y de las características fisiográficas de la zona.

B = "Pico del Hidrograma". Que indica el gasto máximo producido por la tormenta

D = Marca el fin de un escurrimiento directo de una tormenta.

t_p = Tiempo del pico del hidrograma y es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma.

t_b = Es el tiempo de base y es el tiempo que tarda en pasar el escurrimiento directo.

Hidrograma Unitario. Es el hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una altura de precipitación efectiva de lámina de espesor unitario (1 mm) con duración en exceso d_e y repartida uniformemente en toda la cuenca.

IV.2.2. MÉTODOS PARA EL CALCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS

Los métodos para el cálculo de avenidas máximas se clasifican en:

- *Empíricos.* Estos métodos arrojan resultados poco confiables pues proporcionan el gasto con base en las características fisiográficas, por lo que sólo deben emplearse cuando no se disponga de información sobre precipitaciones o escurrimientos dentro de la cuenca en estudio, o bien para tener un resultado preliminar y programar los trabajos en campo.
- *Semiempíricos.* Se aplican si se dispone de información que caracterice la precipitación, que relacionada con las características fisiográficas de la cuenca en estudio permite calcular la magnitud de los escurrimientos, para los periodos de retorno que se establezcan. Estos métodos son más confiables que los empíricos, los más utilizados son el método Racional, de Horton y de Chow.
- *Estadísticos.* Se aplican cuando se dispone de los gastos máximos anuales medidos en las estaciones hidrométricas instaladas en la corriente en estudio o en corrientes vecinas de características fisiográficas semejantes, y son los más confiables para determinar la magnitud de los escurrimientos, según los periodos de retorno que se establezcan.

Los métodos más usados en el proyecto de carreteras para drenaje menor son el Racional y el de Chow que son los que describiremos a continuación.

IV.2.2.1. Método de Chow

El método de Chow está basado principalmente en el concepto de hidrograma unitario y del hidrograma unitario sintético, es aplicable a cuencas hasta de 25 Km², aunque también se puede utilizar en cuencas hasta de 205 Km², considerando que a mayor área, los resultados son menos confiables.

Antes del procedimiento de cálculo se requieren los siguientes datos:

- Área de la cuenca
- Longitud del cauce principal
- Pendiente del cauce principal
- Tipos de suelo en la cuenca
- Uso de suelo de la cuenca
- Isoyetas de intensidad- duración- frecuencia.

Para obtener el gasto máximo con un determinado periodo de retorno, se tiene el siguiente procedimiento:

1. Con los datos del tipo y uso de suelo se calcula el valor de escurrimiento N (adimensional) empleando la Tabla IV.1
2. Se escoge una cierta duración de lluvia d (en horas).
3. De las isoyetas de intensidad-duración- frecuencia, con el valor de d y el periodo de retomo escogido, se obtiene la intensidad de lluvia para esa tormenta. Multiplicando la intensidad de lluvia por la duración d , se obtiene la precipitación total P (en cm).
4. Con el valor de N calculado y el valor de P , se calcula la lluvia en exceso P_e (en cm) empleando la ecuación siguiente o la Figura IV.1:

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{508}{N} + 5.08\right)^2}{P + \frac{2.032}{N} - 20.32}$$

5. Con el valor de P_e calculado y el valor de d , se calcula factor de escurrimiento X (en cm/h) aplicando la siguiente ecuación:

$$X = P_e \cdot d$$

6. Con la longitud y la pendiente del cauce, se calcula el tiempo de retraso t_p (en horas) ya sea con la Figura IV.2 o la ecuación:

$$t_p = 0.00505 \left(\frac{L}{S} \right)^{0.64}$$

Capítulo IV "Hidráulica de las Obras de Drenaje en Carreteras"

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Bosques sembrados y cultivados	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, media transpiración	36	60	73	79
	Espeso, alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	De superficie dura	72	84	90	92
Bosques naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, media transpiración	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso o alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Surcos rectos	77	86	91	94
	Surcos rectos	70	80	87	90
Cultivos de surco	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
	Surcos rectos	64	76	84	88
Cereales	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
	Surcos rectos	62	75	83	87
Leguminosas	Surcos en curvas de nivel	50	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
	Pobre	68	79	86	89
Pastizal	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero permanente	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable		100	100	100	100

Los tipos de suelo para este método, se clasifican en:

- *Tipo A:* Suelos con potencial de escurrimiento mínimo. Incluye gravas y arena de tamaño medio, limpias y mezcla de ambas.
- *Tipo B:* Suelos con infiltración media inferior al tipo A. Incluyen arenas finas, limos, orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo.
- *Tipo C:* Suelos con infiltración media inferior al tipo B. Comprenden arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcillas.
- *Tipo D:* Suelos con potencial de escurrimiento máximo. Incluye principalmente arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

Tabla IV 1. Selección del Número de Escurrimiento *N*.

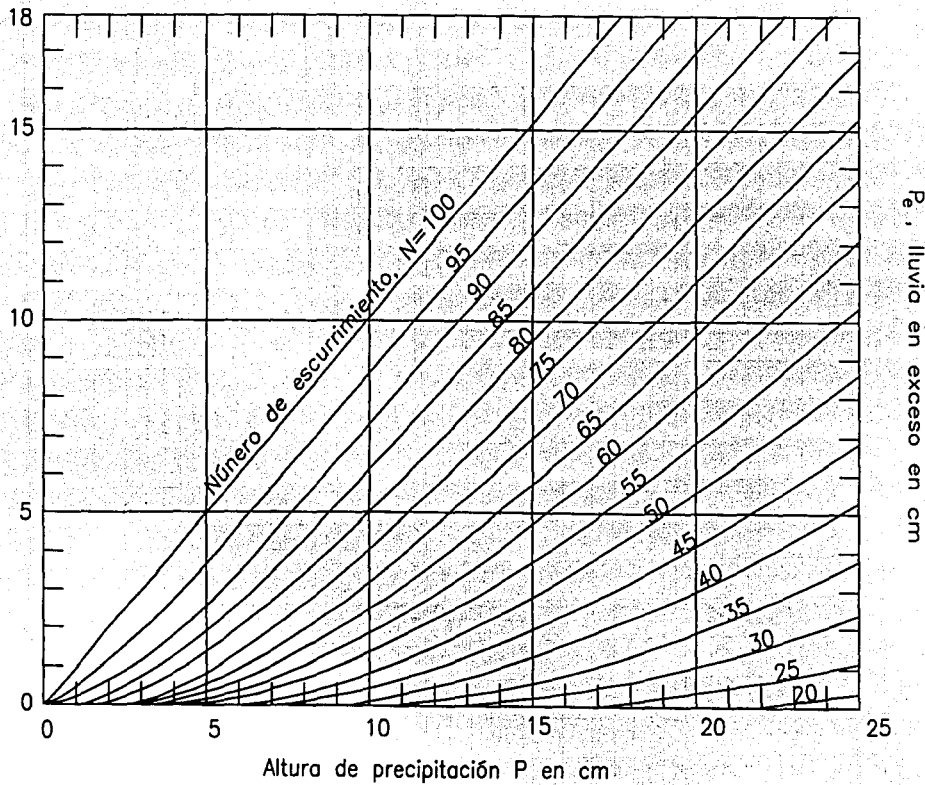


Figura IV.1. Relación entre altura de precipitación P y la Lluvia en Exceso P_e para Diferentes Números de Escurrimiento N .

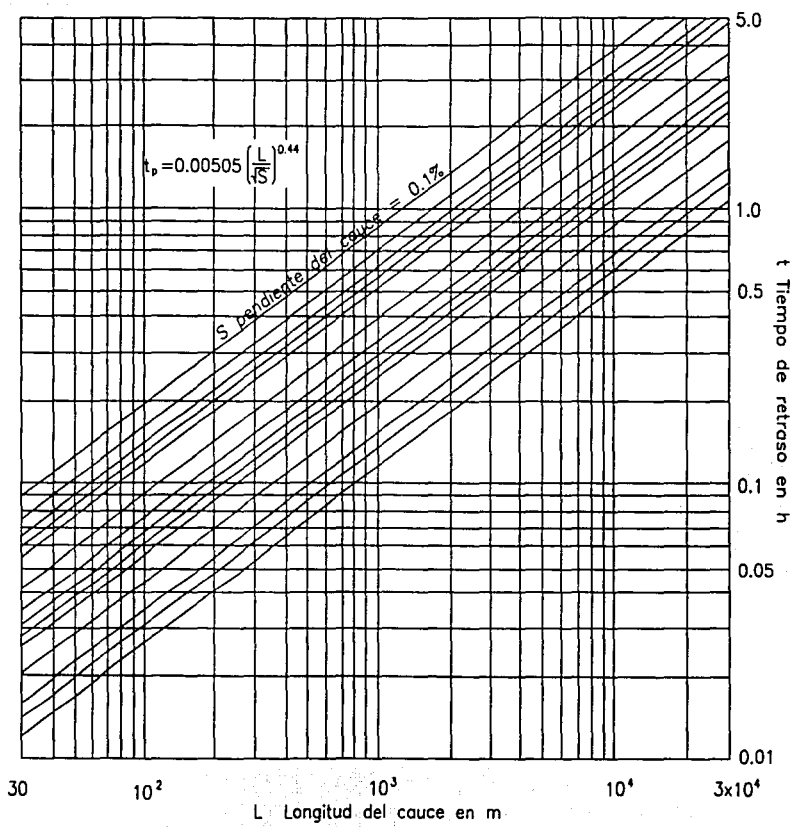


Figura IV.2. Determinación del Tiempo de Retraso

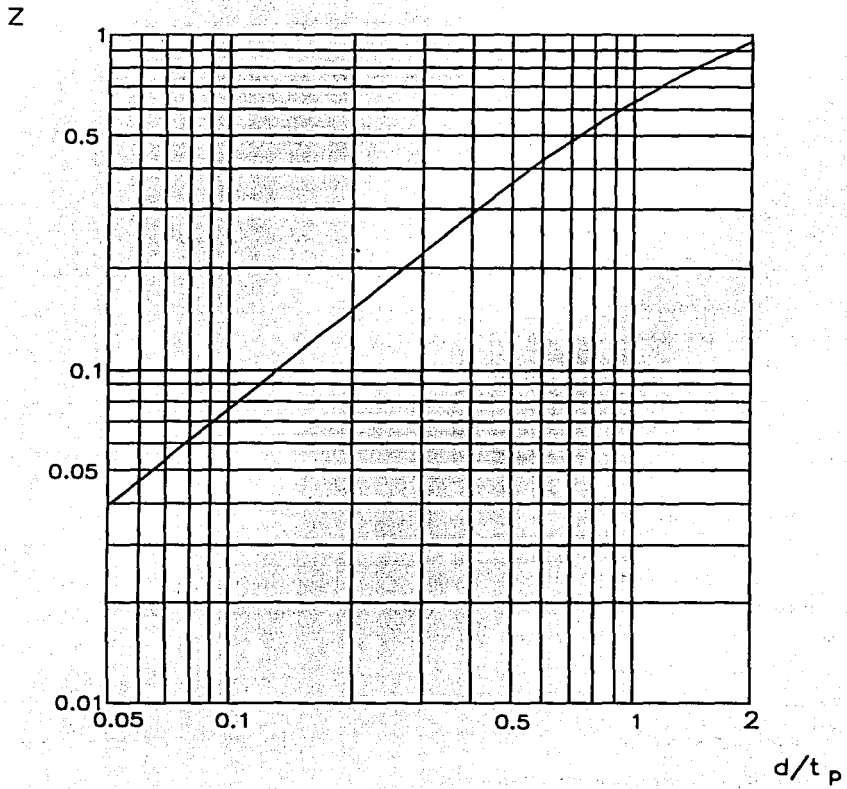


Figura IV.3. Relación entre Z y d/t_p

7. Se calcula la relación d/t_p y empleando la Figura IV.3 se obtiene el valor del factor de reducción de pico Z (adimensional).
8. Se calcula el gasto con: $Q_m = 2.78AZ$
9. Se repite el procedimiento desde c) a h) para distintas duraciones de tormentas.
10. Se hace una gráfica de los gastos obtenidos contra las duraciones de tormentas correspondientes, siendo el gasto que resulte mayor el gasto de diseño.
11. Si la corriente es perenne, se le agrega al gasto máximo determinado en j) el flujo base Q_b .

Este método tiene la desventaja de que usa una expresión para el tiempo de retraso y una relación entre Z y d/t_p , que fueron deducidas empíricamente para una región de los Estados Unidos de América., otro inconveniente es que sus resultados se vuelven muy sensibles a las variaciones del número de escurrimiento N , por lo que se necesita determinar su valor muy cuidadosamente. No obstante los inconvenientes, este método proporciona resultados satisfactorios en el mayor número de casos. Además asocia la frecuencia a cada gasto de avenidas lo que permite establecer un criterio económico para adoptar el gasto de diseño más adecuado.

IV.2.2.2. Método Racional

Se utiliza en cuencas hasta de 25 Km² obteniendo resultados muy buenos, aunque se puede utilizar en cuencas hasta de 100Km² teniendo un grado de confiabilidad menor. El método es el siguiente:

$$Q_p = 0.278C'IA$$

donde:

Q_p = gasto pico en m³/s

C' = Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

I = Intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, en mm/hr.

A = Área de la cuenca en Km²

0.278 = Factor de homogeneidad de unidades.

El coeficiente C representa la relación entre el volumen escurrido y el llovido y depende de las características de la cuenca. En la Tabla IV.2 se muestran los valores de C comúnmente empleados.

Tipo de área por drenar		Coefficiente de Escurrimiento
Con Césped	Pendiente en %	
Suelo arenoso	2	0.05 - 0.10
Suelo arenoso	2 a 7	0.10 - 0.15
Suelo arenoso	7	0.15 - 0.20
Suelo grueso	2	0.13 - 0.17
Suelo grueso	2 a 7	0.18 - 0.22
Suelo grueso	7	0.25 - 0.35
Zonas comerciales		
Áreas céntricas		0.70 - 0.95
Áreas vecinales		0.50 - 0.70
Zonas Residenciales		
Áreas Familiares		0.30 - 0.50
Áreas Multifamiliares separadas		0.40 - 0.60
Áreas Multifamiliares juntas		0.60 - 0.75
Áreas suburbanas		0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos habitacionales		0.50 - 0.70
Zonas industriales		
Claros		0.50 - 0.80
Zonas densamente construidas		0.60 - 0.90
Parques y cementerios		0.10 - 0.25
Áreas de recreo		0.20 - 0.35
Patios de FFCC		0.20 - 0.40
Áreas provisionales		0.10 - 0.30
Calles		
Asfaltadas		0.70 - 0.95
De concreto		0.80 - 0.95
Enmadrillado		0.70 - 0.85
Calzadas y banquetas		0.75 - 0.85
Azoteas y Techados		0.75 - 0.95
Zonas rurales		
Campos cultivados		0.20 - 0.40
Zonas forestadas		0.10 - 0.30

Tabla IV.2. Coeficientes "C" Comúnmente Empleados en el Método Racional.

En caso de que la cuenca por drenar esté compuesta por diferentes tipos de suelo, el coeficiente de escurrimiento global se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum_{j=1}^n C_j A_j}{A}$$

Una de las hipótesis en que está basada la fórmula racional expresa que el gasto producido por una lluvia constante sobre una cuenca es máxima cuando dicha intensidad se mantiene por un lapso igual o mayor que el tiempo de concentración, el cual se define como el tiempo de recorrido del agua desde el punto hidráulicamente más alejado hasta el punto de salida de la cuenca, ya que al cumplir con esta condición toda el área de la cuenca contribuye al escurrimiento. Por consiguiente, es necesario calcular previamente el tiempo de concentración, como por ejemplo la determinada por Kirpich:

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S_c^{0.385}}$$

donde:

T_c = tiempo de concentración

L = longitud del cauce principal, más la distancia entre el inicio de éste y el parteaguas medida perpendicularmente a las curvas de nivel, en Km.

S_c = pendiente del cauce, en decimales.

Una vez calculado el tiempo de concentración, se puede determinar la intensidad de lluvia de diseño, a partir de las Isoyetas de Intensidad – Duración – Frecuencia para lo cual se considera la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración calculado y se fija un periodo de retorno en función de la vida útil de proyecto y del riesgo que se puede aceptar de que la obra falle. Las hipótesis en que se basa este método son:

- La duración de la precipitación coincide con el tiempo pico del escurrimiento.
- Todas las porciones de la cuenca contribuyen a la magnitud del pico del escurrimiento.
- La capacidad de infiltración es constante todo el tiempo.
- La intensidad de precipitación es uniforme sobre toda la cuenca.
- Los antecedentes de humedad y almacenaje de la cuenca son despreciables.

IV.3. DISEÑO DE TUBERÍAS (ALCANTARILLAS) Y CANALES

Los puntos principales que deben considerarse en la elección y proyecto de una obra de drenaje, son los siguientes:

IV.3.1. LOCALIZACIÓN DEL EJE DE LA OBRA

Este es uno de los puntos más importantes y en el que se debe tener especial atención, ya que una mala localización puede provocar la falla de la obra, aunque ésta haya sido bien proyectada.

La localización del eje de la obra deberá hacerse de preferencia siguiendo el cauce de los escurrideros, siempre y cuando la forma del mismo y su pendiente longitudinal lo permitan, tomando en consideración que la pendiente esta limitada de la manera siguiente:

- Para losas y cajones de 0 a 12%.
- Para bóvedas de 0 a 20%, pudiendo incrementarse hasta 25% siempre y cuando el cimientado sea escalonado.
- En tubos varía de 0 a 45%, a partir de 30% se pondrán muros de anclaje por lo menos cada 5 o 10 m, estas pendientes son máximas.

Deberá procurarse hasta donde sea posible que los ejes para apoyar los proyectos de las obras sean normales o radiales al eje del camino; ya sea que esté localizado en tangente o en curva respectivamente; cuando la dirección del escurrimiento no permita trazarlos en esa forma, tendrán que esviarse de acuerdo con el eje del escurridero.

Se entiende por esviaje el ángulo que forma el eje de la obra con una normal o radial al eje del camino, dicho esviaje podrá ser izquierdo o derecho, según se encuentre desplazado a la izquierda o a la derecha de dicha normal o de la radial; el ángulo de esviaje deberá variar de 10° a 45°, sin embargo se permiten esviajes menores de 10° y mayores de 45° en casos que por condiciones muy especiales se justifiquen (canales de riego, cauces encajonados, ductos, etc.).

IV.3.2. ÁREA POR DRENAR

Una vez que se tiene localizado el eje de la obra respecto al eje del camino es necesario conocer el área por drenar para lo cual se recurrirá a cualesquiera de los procedimientos conocidos con objeto de poder estimar con la mayor aproximación posible la superficie la superficie que limitada por dos o más líneas de parteaguas y el eje del camino, sea tributaria del escurridor para el cual se pretende proyectar la obra.

El cálculo del área por drenar se puede efectuar en la forma siguiente:

- Midiéndola directamente en el campo cuando se trate de superficies pequeñas.
- Apoyándose en plantas topográficas de restitución fotogramétrica a escala, delimitando las cuencas respecto al eje de la carretera previamente ubicado y midiendo el área con planimetro.
- Apoyándose en fotografías aéreas de contacto a escala y siguiendo el mismo procedimiento indicado en el inciso anterior.

El área obtenida por cualesquiera de estas formas, deberá transformarse a unidades de superficie (m^2 o Ha).

IV.3.3. ÁREA HIDRÁULICA NECESARIA

Se entiende por área hidráulica necesaria, aquella capaz de dejar pasar un determinado gasto (Q) producto de la precipitación del lugar, igual a una lámina de agua de 10 cm de altura en tiempo de una hora. Existen formulas empíricas para determinar el gasto en corrientes de diferentes condiciones hidráulicas, así como otras muy elaboradas y otros métodos hidrológicos; en este caso y para efectos de la magnitud de los volúmenes de agua que se manejan se consideró que es suficiente con utilizar las siguientes formulas:

- Fórmula de Talbot.
- Método de Sección y Pendiente.
- Método Racional.
- Por Comparación.

IV.3.4. ELECCIÓN DEL TIPO DE OBRA

Una vez calculada el área hidráulica necesaria, se procede a elegir el tipo de obra que satisfaga las necesidades hidráulicas y seguridad de estabilidad durante la operación, actualmente se utilizan: tubos, losas, bóvedas de mampostería y de concreto armado, y cajones de concreto armado. Las tres primeras no deberán trabajar llenas o a presión, las otras no tendrán problemas en ese aspecto, ya que no permitirán infiltraciones hacia los terraplenes que las arropan.

Para una buena elección del tipo de obra, debe tomarse en cuenta:

1. Área Hidráulica Necesaria.

De acuerdo con el área hidráulica, la obra puede ser de una, dos o más líneas de tubos dispuestos en batería cuando proporcionen alguna economía con respecto a otra obra de igual área y que sea factible de construir; se puede elegir una losa, una bóveda o un cajón de concreto armado, dependiendo de los factores que se citarán posteriormente.

2. Pendiente de la Obra.

Si la pendiente de la obra rebasa ciertos límites, que se citaron en la localización del eje de la obra, entonces es importante tomar en cuenta que una pendiente hasta del 12%, permite elegir una obra de tubos, losa, bóveda o cajón. Cuando esta pendiente sea mayor de 12%, pero menor de 20%, podrá elegirse entre una batería de tubos y una bóveda, cuando se rebase el 20% deberá elegirse una obra compuesta por tubos, no debiendo admitir una pendiente mayor de 45%.

3. Altura Mínima y Máxima de Terraplenes o Rellenos.

Otro de los factores importantes en la elección del tipo de obra es la altura del terraplén o relleno sobre las mismas, ya que depende de ésta, el que podamos alojar un tubo, una bóveda o una losa. En terreno de lomerío suave o plano, normalmente no existe ningún problema para dejar el terraplén mínimo de acuerdo con el tipo de obra elegido.

La altura mínima de terraplén será aquella que nos permita alojar el tipo de obra elegido y además que nos garantice un colchón mínimo sobre la parte más desfavorable (hombro) de la superestructura o clave, se han venido considerando los siguientes valores para estos casos:

Tubo de concreto	0.80 m
Tubo de lámina	0.30 m
Losas y cajones de concreto armado	0.20 m
Bóvedas de mampostería	1.00 m

El colchón se mide de la parte superior de la superestructura de la obra al nivel de la rasante.

En terreno montañoso y escarpado no es posible dejar la altura de terraplén necesaria para las obras por las condiciones especiales que prevalecen en los mismos, por lo que no se toma en cuenta dicha altura, obligándonos esto a cambiar de tipo de obra teniendo muchas veces que enterrarlas a la entrada y construirseles cajas captadoras de los escurrimientos.

4. Materiales de Construcción.

Los materiales de construcción constituyen otro de los factores que influyen en la elección de tipo de obra, ya que cada uno requiere de la facilidad y manejo de materiales específicos, así se tiene una obra vial localizada en terreno montañoso y sin acceso en donde resultan complicadas las maniobras para transportar tubos de concreto o lámina hasta el lugar de su construcción, ésta resulta costosa pudiéndose elegir otro tipo de obra, por ejemplo: una bóveda ya que en esas zonas generalmente existe material pétreo producto de los cortes que puede utilizarse en la construcción de la alcantarilla.

5. Capacidad de Carga del Terreno.

Por último este factor es determinante para la elección del tipo de obra ya que proporciona seguridad en gran parte de los proyectos para su estabilidad y evita que obras como losas, bóvedas o cajones fallen en su cimentación. Sin embargo se tiene la experiencia de que con

base en dicha capacidad pueden cambiarse los tipos de obras y adaptarlos para obtener mejores resultados aunque en algunos casos no muy económicos.

Conociendo la ubicación de las obras, su área por drenar, el área hidráulica necesaria, el esviaje, el tipo y las condiciones del terreno de que se trate, así como el registro y perfil del eje de la obra, reunimos los suficientes elementos de juicio para continuar con el estudio, y así poder elaborar y relacionar otros datos pendientes a la solución correcta de los proyectos.

Los datos pendientes que se mencionaron son:

- *Relación de Obras del Tramo en Estudio.* Esta se refiere a las obras levantadas en el tramo en estudio, normalmente se acostumbra hacer esta relación en tramos de 5 km, no queriendo decir con esto que sea una regla, sino por comodidad en su revisión.
- *Justificación al Funcionamiento de Drenaje.* Esta justificación se consigna en una relación de obras de cada tramo de 5 km y la explicación de cada caso, porque se ubicó la obra en tal o cual lugar y la necesidad de su proyecto, en fin todos aquellos datos que se juzgen convenientes para el buen proyecto de la misma, así como la necesidad de construir o no contracunetas, etc.

CAPITULO V

SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA CONSERVACIÓN

No basta diseñar y construir adecuadamente una carretera, se tiene que asegurar que el comportamiento en su vida útil este dentro de las consideraciones de diseño y que las modificaciones realizadas durante la construcción sean valorizadas adecuadamente.

Por esta razón para el seguimiento de un diseño se debe contar con herramientas necesarias para informarnos en todo momento del comportamiento de un pavimento, los cuales nos permiten contar con la información necesaria del comportamiento para programar y planificar las estrategias a seguir para mantener una red de carreteras en niveles de servicio adecuados.

La conservación es un factor importante, en el proceso de diseño se considera un nivel determinado de conservación suponiendo tiempos de vida útil del pavimento en los cuales se tendrán que realizar trabajos por la aparición de los primeros deterioros, en todas las obras: pavimentos hidráulicos, pavimentos flexibles y laterales.

V.1. PAVIMENTOS HIDRÁULICOS.

Es el conjunto de capas de materiales que están compuestas por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de la superficie de la losa.

V.1.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

La evaluación es una herramienta por medio del cual podemos detectar como se esta comportando la carretera a través de una medición de varias variables como la capacidad estructural, el índice de servicio, la seguridad y el costo de conservación. Las diferentes formas de determinar el estado actual de los pavimentos a nivel de red, son los siguientes:

1. Presentación Detallada.

Para determinar el estado de los pavimento hidráulicos se utiliza un formato , el cual cuenta una serie de columnas en donde se tabulan las características del tramo, los datos recolectados y los índices que representan el estado el camino.

Para evaluar los tramos existen varias metodologías, las más sencillas consisten en aplicar una nota a cada elemento de la infraestructura (que afectan su Índice de servicio) como ejemplo podemos indicar el porcentaje de grietas, ahuellamiento, escalonamiento, resistencia al deslizamiento, estado de la señalización, estado de las zonas laterales, etc.

Los rangos de notas pueden ser 0 – 5 (ISA Índice de Servicio Actual) ó 0 – 100 (IRI Índice de Rugosidad Internacional), en donde el 0 representa el pésimo estado del elemento y el 5 ó 100 representa un estado excelente del elemento.

2. Histogramas y Mapas.

El histograma es una forma valiosa de presentación para los niveles de administración superior y resume la información detallada. Pueden ser compilados para varias regiones o para varias categorías de caminos o para una red completa.

A pesar de tener una información detallada de salida en esta presentación gráfica, se puede recoger una abundante información de la red. Por ejemplo el estado de diferentes categorías de caminos o calles en distintos sectores puede ser comparado o se puede observar un tipo general de problemas a simple vista.

La utilización de Sistemas de Información Geográficos (SIG) para la administración y presentación de información de características de una red, presenta hoy en día una de las herramientas más poderosas del administrador.

La capacidad de manejar grandes volúmenes de información que puede ser georeferenciada a un plano digital, permite a los operadores una visión más clara, realista y detallada de la

red. A esto se debe agregar la posibilidad de tener bases de datos, las que son actualizadas cada año.

De acuerdo a las funciones del pavimento existen diversos parámetros que deben ser controlados para asegurar el cumplimiento del objetivo de este. A continuación presentamos dos tablas que se refieren a las funciones del pavimento vs parámetros a medir, y equipos para diversos parámetros a medir.

Función	Calidad	Parámetro de salida
Estructural	Capacidad resistente	Deflexión Inspección visual
	Envejecimiento	Inspección visual Ensayos de Laboratorio.
Seguridad	Rozamiento	CRT
	Regularidad superficial	PSR PSI IRI Análisis espectral
	Textura	Mancha de arena Mancha de grasa Péndulo Rugoláser
Confort	Regularidad superficial	PSR PSI IRI Análisis espectral
	Textura	Mancha de arena Mancha de grasa Péndulo Rugoláser

Tabla V.1. Funciones de los Pavimentos vs Parámetros que se Deben Medir

Parámetros	Equipo
Deflexión	Viga Benkelmam Deflectógrafo Lacrois Deflectómetro de impacto Curviámetro.
Inspección visual (deterioros)	Inspección visual Pasco ARAN Gerpho Road Surface Tester (RST)
Regularidad superficial	Regla de tres metros Mays meter Perfilómetro Viágrafo Dispstick APL Road Surface Tester (RST) Merlin
Deslizamiento	Mu meter Péndulo TRRL SCRIM
Textura	Minitextúrometro Mancha de arena Road Surface Tester (RST)

Tabla V.2. Equipos para los Diferentes Parámetros a Medir

En la evaluación de las deflexiones, se evalúan las propiedades elásticas para cada capa (Losa de Concreto, Base Hidráulica, Terreno natural), el modulo de elasticidad (kg/cm^2) de todos los datos obtenidos se calcula: la media, la desviación estándar, y el coeficiente de variación

3. Auscultación.

Existen diferentes tipos de información de auscultación de pavimentos, los cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos, auscultación estructural y auscultación funcional. A continuación se muestra un esquema de auscultación de pavimentos:

Auscultación estructural.	Auscultación funcional.
1. Medidas de deflexiones.	1. Medida de resistencia al deslizamiento (coeficiente de rozamiento transversal CRT).
2. Medida de deterioros (inspección visual): grietas baches otros deterioros.	2. Medida de regularidad superficial: Present Serviciability Rating (PSR), Present Serviciability Index (PSI), International Roughness Index (IRI)
	3. Medida de la textura.

La auscultación de los pavimentos en forma sistemática produce múltiples beneficios:

- Determinación de la capacidad estructural.
- Índices de la condición y comportamiento de los pavimentos
- Identificación de cambios en la condición de comportamiento de año en año.
- Distribución de fondos de mantención y rehabilitación en forma más acertada.

V.1.1.1. Deterioro en Pavimentos con Juntas.

Para poder tener una evaluación muy detallada se debe de tener una base de datos muy completa de toda la red para lo cual se hace un inventario de deterioros de los concretos hidráulicos, que se agrupan dentro de las siguientes categorías:

1. Agrietamiento.

Roturas de Esquina. Una porción de losa está separada por una grieta que intercepta las juntas adyacentes transversal y longitudinal, describiendo aproximadamente un ángulo de 45° en la dirección del tránsito. Se registra el número de roturas de esquina.

Agrietamiento Tipo "D". Con apariencia de cuarto de luna, ocurren adyacentes a las juntas, grietas, u orillas libres; con inicio e las esquinas de la losa. Se registra en metros cuadrados el área afectada.

Agrietamiento Longitudinal. Grietas predominantemente paralelas a la línea central del pavimento. Se registra la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales, también la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales con sello en buenas condiciones.

Agrietamiento Transversal. Grietas predominantemente perpendiculares a la línea central de pavimento. Se registra el número y longitud de las grietas transversales.

2. Fallas de las Juntas.

Sello Dañado en las Juntas Transversales. Es el daño en el sello es cualquier condición que permite que el material incompresible o una cantidad de agua importante se infiltre a las juntas desde la superficie. Endurecimiento, pérdida total del sellador. Penetración de material ajeno y crecimiento de hierba en la junta. Se debe indicar si las juntas transversales han sido selladas. (si ó no), en caso afirmativo registrar el número de juntas transversales selladas.

Sello Dañado en las Juntas Longitudinales. El concepto del daño es el mismo que en las juntas transversales. Se debe registrar el número de juntas longitudinales que están selladas, también la longitud total de las juntas longitudinales selladas que presenten sello dañado de la forma ya descrita. Las ocurrencias individuales se registran únicamente cuando tengan al menos un metro de longitud.

Desportillamiento de las Juntas Longitudinales. Agrietamiento, rotura, desconche o desgaste de las orillas de la losa dentro de 0.6 m. desde la junta longitudinal. Se debe registrar la longitud en metros de los desportillamientos de la junta longitudinal.

Desportillamiento de las Juntas Transversales. Agrietamiento, rotura, desconche o desgaste de las orillas de la losa dentro de 0.6 m. desde la junta transversal. Se debe registrar el número de juntas transversales afectadas y la longitud en metros de los desportillamientos.

3. Defectos de la Superficie.

Agrietamiento Tipo Mapa y Escamadura. Serie de agrietamientos que se presentan únicamente en la superficie de la losa. Frecuentemente unas grietas mayores están orientadas en la dirección longitudinal del pavimento y están interconectadas por grietas más finas transversales o al azar. Se debe registrar el número de ocurrencias y los metros cuadrados del área afectada.

Escamadura. Es el desperfecto de la superficie de la losa de concreto, normalmente de 3 a 13 mm. Y puede ocurrir en cualquier lugar del pavimento. Se debe registrar el número de ocurrencias y los metros cuadrados del área afectada.

Pulimento del Agregado (Desgaste de la Superficie). El mortero superficial y texturizado está gastado, exponiendo el agregado grueso. Se debe registrar los metros cuadrados del área afectada.

Desprendimientos. Son fragmentos pequeños de pavimento que se sueltan de la superficie, normalmente en un rango de 25 a 100 mm de diámetro y una profundidad de 13 a 50 mm. Se debe registrar el número de desprendimientos por metro cuadrado.

4. Otros Deterioros.

Estallamientos. Es el movimiento ascendente localizado de la superficie del pavimento en las juntas transversales o grietas, a menudo acompañados de la destrucción del concreto en esta área. Se debe registrar el número de estallamientos.

Escalonamiento de las Juntas Transversales y Grietas. Es la diferencia de elevación a lo largo de la junta o grieta. Se debe registrar en milímetros al milímetro más cercano: 0.3 m desde la cara exterior del carril y 0.75 desde la cara exterior de carril. Si la losa de aproximación es mas alta que la losa de salida, registre el escalonamiento como negativo (-), si la losa de acercamiento es mas baja registre el escalonamiento como positivo (+).

Hundimiento Carril - Acotamiento. Es la diferencia entre la cara de la losa y el acotamiento exterior; a menudo ocurre cuando el acotamiento exterior se asienta. Se debe medir la junta longitudinal de construcción entre la cara del carril y el acotamiento. Registrando en milímetros al milímetro más cercano, en intervalos de 15 metros a lo largo de la junta carril acotamiento. Si la superficie recorrida está más baja que el acotamiento, regístrela como negativa (-).

Separación Carril - Acotamiento. Es el ensanchamiento de la junta entre la cara de la losa y el acotamiento. Se debe registrar en milímetros al milímetro más cercano, en intervalos de 15 metros a lo largo de la junta carril acotamiento. Indique si la junta está bien sellada (sí o no) en cada separación.

Bacheo (Daño del Bacheo). Es una porción mayor de un metro cuadrado o toda la losa de concreto original que ha sido movida y reemplazada, o material adicional aplicado al pavimento después de la construcción original. Se debe registrar el número de bacheos y los metros cuadrados del área afectada. Para el reemplazo de losas clasifique cada losa como un bacheo separado y continúe para clasificar la junta.

Escurrimiento de Agua y Bombeo. Filtración del agua por medio de las grietas. En algunos casos se detecta por pequeños depósitos de material fino en la superficie del pavimento, que fueron erosionados (bombeados), desde las capas de soporte y han manchado la superficie. Se debe registrar el número de ocurrencia del escurrimiento de agua y bombeo y la longitud en metros del pavimento afectado.

V.1.1.2. Deterioro en Pavimentos con Refuerzo Continuo.

1. Agrietamiento.

Agrietamiento Tipo "D". Con apariencia de cuarto de luna, ocurre adyacentes a las juntas, grietas, u orillas libres; con inicio en las intersecciones. Se registra en metros cuadrados el área afectada.

Agrietamiento Transversal. Grietas predominantemente perpendiculares a la línea central de pavimento, con este tipo de agrietamiento puede esperarse en pavimento de concreto con refuerzo continuo en operación normal. Se registra el número total de grietas transversales que se encuentran dentro del área de supervisión, incluyendo aquellas que no presentan deterioros.

Agrietamiento Longitudinal. Grietas predominantemente paralelas a la línea central del pavimento. Se registra la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales, también la longitud en metros de los agrietamientos longitudinales con sello en buenas condiciones.

2. Defectos de la Superficie.

Agrietamiento Tipo Mapa y Escamadura. Serie de agrietamientos que se presentan únicamente en la superficie de la losa. Frecuentemente unas grietas mayores están orientadas en la dirección longitudinal del pavimento y están interconectadas por grietas más finas transversales o al azar. Se debe registrar los metros cuadrados del área afectada.

Escamadura. Es el desperfecto de la superficie de la losa de concreto, normalmente de 3 a 13 mm. y puede ocurrir en cualquier lugar del pavimento. Se debe registrar los metros cuadrados del área afectada.

Pulimento del Agregado (Desgaste de la Superficie). El mortero superficial y texturizado está gastado, exponiendo el agregado grueso. Se debe registrar los metros cuadrados del área afectada.

Desprendimientos. Son fragmentos pequeños de pavimento que se sueltan de la superficie, normalmente en un rango de 25 a 100 mm de diámetro y una profundidad de 13 mm a 50 mm. Se debe registrar el número de desprendimientos por metro cuadrado.

3. Otros Deterioros.

Escurrimiento de Agua y Bombeo. Filtración o expulsión de agua por debajo del pavimento a través de grietas. En algunos casos se detecta por pequeños depósitos de material fino en la

superficie del pavimento, que fueron erosionados (bombeados), desde las capas de soporte y han manchado la superficie. Se debe registrar el número de ocurrencia del escurrimiento del agua y bombeo y la longitud en metros del pavimento afectado.

Estallamientos. Es el movimiento ascendente localizado de la superficie del pavimento en las juntas transversales o grietas, a menudo acompañados de la destrucción del concreto en esta área. Se debe registrar el número de estallamientos.

Deterioración de las Juntas Transversales de Construcción. Serie de grietas transversales cercanamente espaciadas o un gran número de grietas interconectadas que ocurren cerca de la junta de construcción.

Hundimiento Carril - Acotamiento. Es la diferencia entre la cara de la losa y el acotamiento exterior; a menudo ocurre cuando el acotamiento exterior se asienta. Se debe medir la junta longitudinal de construcción entre la cara del carril y el acotamiento.

Separación Carril - Acotamiento. Es el ensanchamiento de la junta entre la cara de la losa y el acotamiento. Se debe registrar en milímetros al milímetro mas cercano, en intervalos de 15 metros a lo largo de la junta carril acotamiento. Indique si la junta esta bien sellada (si o no) en cada separación.

Bacheo (Daño del Bacheo). Una porción mayor de un metro cuadrado o toda la losa de concreto original que ha sido movida y remplazada, o material adicional aplicado al pavimento después de la construcción original. Se debe registrar el número de bacheos y los metros cuadrados del área afectada.

Agrietamiento Tipo Bloque. Es el área cercada por dos grietas transversales cercanamente espaciadas, un grieta longitudinal pequeña y la cara del pavimento o una junta longitudinal. También incluye grietas tipo "Y" que muestren desportillamientos, rotura o escalonamiento. Las grietas que delimitan el agrietamiento tipo bloque se registran bajo agrietamiento longitudinal y agrietamiento transversal.

Sello Dañado en las Juntas Longitudinales. Endurecimiento, pérdida total del sellador, penetración de material ajeno o crecimiento de hierba en la junta. Se debe registrar el número de juntas que están selladas y la longitud de juntas con daños en el sello.

Desportillamiento de las Juntas Longitudinales. Agrietamiento, rotura, desconche o desgaste de las orillas de la losa dentro de 0.6 m. desde la junta longitudinal. Se debe registrar la longitud en metros de los desportillamientos de la junta longitudinal.

V.1.2. PLANEACION DE LA CONSERVACIÓN.

Es la resultante de la etapa de evaluación, mediante la cual podemos optimizar el comportamiento de un diseño y planificar para que los trabajos se realicen con la calidad, el tiempo y el costo adecuado en una red de caminos para una buena conservación.

Un pavimento de concreto hidráulico de calidad dura mucho tiempo; el pavimento requerirá en algún momento de rehabilitación, para esto existen muchas técnicas para la rehabilitación y conservación.

El propósito de cada técnica es el de reparar un deterioro en particular del pavimento de concreto hidráulico, Solo una técnica sería necesaria para pavimentos con deterioros menores, pero se requieren de seis deterioros cuando el deterioro es más serio, las cuales son: estabilización de la losa, reparación profunda, reparación parcial, recolocación de pasajuntas, fresado con diamante, resellado de juntas y grietas del pavimento.

Estabilización de Losa. Este proceso consiste en bombear un lechada por unos orificios taladrados en la losa para llenar los vacíos que se han formado por debajo de está, los vacíos son causados por varias fuerzas destructivas. Las cargas pesadas del tránsito inducen las mayores deflexiones y estas deflexiones pueden causar bombeos, consolidación y pérdida del material de la sub-base o pérdida de soporte de la subrasante.

Reparación Profunda. Una reparación profunda implica quitar y remplazar por lo menos una porción de una losa hasta el fondo del pavimento para restaurar áreas deterioradas. El problema más común que requiere de una reparación profunda, es el deterioro de las

juntas, cualquier agrietamiento, rompimiento, o desportillamiento de los bordes de cualquier lado de una junta y de las esquinas.

Reparación Parcial. El propósito de la reparación parcial es el de restaurar áreas específicas de deterioros que no se extiendan a través de la losa, y cubren normalmente áreas muy pequeñas, severamente escamadas y con desportillamientos en la superficie, también se realizan para corregir los bordes para el resellado de juntas y grietas.

Recolocación de Pasajuntas. La colocación de pasajuntas es un método para restablecer la transferencia de carga a través de las juntas o grietas. Requiere de realizar cortes a lo largo de cada junta para albergar las nuevas pasajuntas. Este proceso sirve para reparar juntas deterioradas o grietas y prevenir la repetición de estos deterioros, si las juntas y grietas deterioradas ya están sumamente desportilladas, no se recomienda la colocación, entonces será necesaria la reparación profunda o parcial.

Fresado con Diamante. El propósito principal de fresado con diamante es eliminar las protuberancias y reperfil la superficie del pavimento, disminuyendo la severidad de las cargas de impacto. También integra las superficies de las reparaciones profundas o parciales con el concreto que las rodea, eliminando los charcos para mejorar el drenaje de la sección transversal.

Resellado de Juntas y Grietas. Es el último paso que se hace para proteger el pavimento, el propósito principal es el de minimizar la entrada de agua y material incomprensible dentro de las juntas y grietas.

V.1.3. PROGRAMACION.

Los organismos y encargados de administrar las vías terrestres, cuentan con oficinas centrales, regionales y subregionales para conservar estas obras viales.

En las oficinas centrales se revisan los proyectos de los trabajos de conservación, los cuales se programan en forma adecuada. Después se gestionan ante las autoridades hacendarias,

las asignaciones monetarias que requiere cada región; también se ven los mecanismos para controlar la calidad, las finanzas y el avance de las obras.

En las oficinas regionales que están a cargo de un residente general, se realizan las funciones de proyecto y control y se controlan los gastos realizados en las subregiones; así mismo, se realizan actividades de supervisión de obras.

Las oficinas subregionales a cuyo frente se encuentra un residente de conservación, se encargan de realizar los trabajos por administración o de vigilar que estos se efectúen de acuerdo con la calidad y el programa.

En todas las oficinas, existe una organización tal que es posible proyectar las obras con anticipación debida para que, después de transmitir la suficiencia presupuestal, ésta se ejerza con toda oportunidad.

Según el volumen de obras, se cuenta con una organización para controlar la calidad (laboratorios), el avance de las finanzas. Los planes de las obras de conservación pueden ser de aplicación inmediata o a largo plazo.

V.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES

V.2.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL.

Se requiere que al revisar o analizar una estructura carretera, se detecten las fallas que existan o puedan existir y una vez localizadas, se efectúen estudios para conocer sus alcances a las causas que las provocaron, a fin de ejecutar las acciones correspondientes.

Una falla se define como el resultado apreciable de la intervención de varios factores sobre la estructura conduciendo a una reducción de su capacidad de servicio. Se pueden originar por varias razones como son mal diseño, mala construcción, empleo de materiales inadecuados y específicamente por consolidación o por esfuerzos cortantes en las terracerías, subrasante o alguna capa del pavimento.

Una falla puede ser de dos tipos:

- *Funcional:* Se puede observar como un defecto en la superficie del pavimento. Al circular sobre ella hay incomodidades, pero no impide la circulación de los vehículos. En este caso es necesario tomar las medidas pertinentes para evitar un mal mayor.
- *Estructural:* Son fallas que pueden presentarse sin que por algún tiempo nos demos cuenta de su existencia; pero que, inevitablemente provocan graves daños, reduciendo la capacidad de carga y propiciando deformaciones o destrucción generalizada. La falla inicial puede extenderse hasta destruir por completo la estructura si no se toman las medidas convenientes.

V.2.1.1. Evaluación Estructural en Pavimentos.

Es importante señalar que los métodos de evaluación estructural de pavimentos suelen clasificarse en destructivos y no destructivos, dependiendo del nivel de alteraciones físicas al que se sujeta a los materiales de las capas del pavimento durante su evaluación. Los primeros involucran la ruptura del pavimento, al excavar en el mismo un "pozo a cielo abierto" para muestrear y probar, generalmente en el sitio (in-situ), los materiales componentes de las distintas capas. Los segundos se refieren a las técnicas efectivas de evaluación que involucran la medición superficial de deflexiones o curvaturas (ante la aplicación de una cierta carga), combinada con la obtención de "calas" del pavimento, con el fin de obtener espesores y muestras de los materiales de las distintas capas que permitan probarlos posteriormente en el laboratorio; este tipo de evaluación no involucra alteraciones significativas de los materiales de las capas del pavimento.

Los métodos de prueba no destructivos son clasificados generalmente en cuatro categorías generales:

1. *Medición de la respuesta a una carga estática o a la aplicación simple de una carga con movimiento lento.* Se obtiene midiendo la deflexión de la superficie del pavimento bajo la carga. Los instrumentos más comunes que se emplean para hacer estas mediciones son la Viga Benkelman, el Deflectómetro viajero, y el Deflectómetro de Lacroix. Este método no representa adecuadamente los efectos de las cargas circulantes del tránsito y no

permite fácilmente determinar el nivel de transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos rígidos.

2. *Medición de la respuesta a una carga compuesta por una parte estática y otra repetida o dinámica de tipo senoidal.* Las deflexiones se miden a través de sensores inerciales de velocidad (geófonos), los equipos de este tipo más comúnmente empleados son el Dynaflect y el Calificador de Caminos (Road Rater), una desventaja es que dan lugar a deflexiones bajas no representativas, adicionalmente la frecuencia de la carga dinámica afecta la deflexión resultante, siendo generalmente difícil establecer una frecuencia de carga que sea representativa del paso de los vehículos.
3. *Medición de la respuesta a una carga dinámica de impacto.* Se emplean geófonos para medir las deflexiones, el equipo que se utiliza es el FWD (Falling Weigh Deflectometer), una ventaja que tiene es su habilidad para modelar adecuadamente las cargas circulantes del tránsito tanto en magnitud como en duración, produciendo una deflexión causada por un vehículo en movimiento. Otras ventajas son su habilidad para medir el nivel de transferencia de cargas en juntas y grietas, detecta la presencia de oquedades, registra la cuenca de deflexiones y la velocidad con que puede realizarse las pruebas, por lo que hace el equipo más conveniente. Dentro de las versiones comerciales de este equipo se encuentran el Dynastest, el KUAB y el Phoenix FWD.
4. *Medición continua de la respuesta ante la aplicación de una carga rodante también continua.* El aparato que se emplea es el RWD (Rolling Wheel Deflectometer), el cual mide deflexiones del pavimento continuamente y con buena precisión utilizando sensores a base de rayos láser, sin embargo, sus diferentes versiones actuales aún se encuentran en desarrollo.

V.2.1.2. Evaluación de Daños en Pavimentos.

1. Desprendimientos:

Baches. Son oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial de los agregados originada por el paso de los vehículos. Se deben a

falta de resistencia de la carpeta, espesor deficiente, drenaje deficiente, desintegración causada por tránsito o puntos débiles en la superficie.

Identación. Encajamiento de objetos duros en la superficie de rodamiento, produciendo desgaste en la superficie, La causan las huellas de tractores o equipo pesado de construcción, ponchaduras de llantas, o accidentes de tránsito.

Pulido de Superficie. Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas. Es causado por tránsito intenso, o agregados no apropiados.

Levantamiento por Congelación. Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de las capas del pavimento. La causan las heladas, los ciclos de congelamiento y descongelamiento o la expansión de las capas inferiores.

Desprendimiento de Agregados. Pequeñas depresiones en forma de cráter, dejando huecos en la superficie de rodamiento. El desprendimiento de agregados se debe a: falta de afinidad con el asfalto, escasez de asfalto o expansión del agregado grueso.

Desintegración. Deterioro de la carpeta en fragmentos con pérdida progresiva de los materiales que la componen. Se origina por fin de la vida útil de la carpeta, tránsito, contaminación, envejecimiento y fatiga o desintegración de los agregados.

Erosión. Agrietamiento transversal en los acotamientos formando oquedades que destruyen los taludes del terraplén y desintegran la carpeta reduciendo su ancho. Es causada por el viento, la lluvia, falta de protección de los taludes, mala compactación, escasez de drenaje superficial los ciclos de hielo y deshielo, o el crecimiento de hierba.

2. Agrietamientos:

Grietas de Reflexión. Grietas longitudinales y transversales que reflejan juntas de un pavimento al ser reencarpetado. Causas probables son movimiento del pavimento subyacente, liga inadecuada entre capas, o contracciones de capa subyacente.

Grieta Errática o en Zig-Zag. Agrietamiento en desorden de la carpeta siguiendo patrones longitudinales en forma errática o en zig-zag. Causas probables son acción del hielo, cambio de temperatura, base defectuosa, o terraplenes con taludes inestables.

Grietas Finas. Pequeñas fisuras superficiales muy próximas que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta. Son causadas por envejecimiento, oxidación, o exceso de finos en carpeta.

Grieta Transversal. Agrietamiento de la carpeta siguiendo un patrón perpendicular al eje del camino. Se origina por acción del tránsito, o espesor insuficiente de la carpeta.

Agrietamiento Piel de Cocodrilo. Fisuras en la superficie de la carpeta formando polígonos de hasta 20 cm. Causas que lo originan son soporte inadecuado de la base, debilidad en la estructura del pavimento, sollicitaciones de tránsito, fatiga, envejecimiento o escasez de espesor de la carpeta.

Agrietamiento Longitudinal. Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino. Se genera por asentamiento de capas por tránsito, espesor insuficiente, contracción de materiales de la capa de rodamiento, asentamientos de capas interiores, o drenaje insuficiente.

Agrietamiento Parabólico. Grietas en forma de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito. Se originan por carpeta débil, zonas de frenaje de las ruedas o efecto en el arranque de las ruedas.

Agrietamiento Tipo Mapa. Forma de desintegración de la superficie de rodamiento con patrón semejante a un mapa, con polígonos mayores a 20 cm. Es causado por la mala calidad en alguna capa estructural, tránsito, fatiga, o espesor escaso de la carpeta.

Grieta Transversal. Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal o perpendicular al eje del camino. Las causas que los originan son la acción del tránsito pesado, o un espesor insuficiente de la carpeta asfáltica.

3. Deformaciones:

Corrugaciones. Ondulaciones de la carpeta asfáltica en sentido perpendicular al eje del camino que contiene en forma regular crestas y valles alternados, con una separación menor a 60 cm entre ellas. Se generan por unión deficiente entre mezclas asfálticas y/o base, tránsito intenso, bases de mala calidad, o mala calidad de los materiales.

Roderos o Canalizaciones. Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas de los vehículos. Las causas probables son baja estabilidad de la carpeta, carpeta mal compactada, o consolidación de una o varias de las capas subyacentes.

Crestas Longitudinales Masivas. Montículos o crestas en sentido paralelo al eje del camino, presentándose 2 y hasta 4 a lo largo de ciertos tramos. Causas probables son liga inadecuada entre capas asfálticas, pésima estabilidad de la mezcla asfáltica, ligante de mala calidad, flujo de la mezcla por acción de derrame de diesel o tránsito intenso muy canalizado.

Protuberancias. Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones. Son originadas por acción del tránsito intenso, estabilidad inadecuada, liga deficiente entre capas, compactación inadecuada, o acción de heladas.

Desplazamiento Transversal de la Sección del Pavimento. Protuberancias prolongadas de magnitudes considerables en la dirección del tránsito, al borde de la carretera causando destrucción a corto plazo. Las causas son asentamientos longitudinales, sobrecargas, nula estabilidad de la carpeta, o nulo soporte lateral o confinamiento.

Burbuja. Ampolla de tamaño variable en la superficie de rodamiento, pudiendo ser originada por presiones de vapor o aire en zonas de la capa de rodamiento, debilidad en espesor o consistencia, o liberación de cal en bases estabilizadas.

Asentamientos. Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño en el sentido transversal o longitudinal al eje del

camino. Se originan por el peso propio de la sección del pavimento, cargas excesivas o superiores a las de diseño, drenaje deficiente o compactación inadecuada.

4. Defectos Varios:

Llorado de Asfalto. Liberación de asfalto hacia la superficie de la carpeta, formando una capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas. Se origina por exceso de asfalto, excesiva compactación de mezclas ricas, o sobredosificación de riego de liga.

Crecimiento de Hierba. Jardín que crece entre la carpeta asfáltica y las cunetas. Se debe a drenaje deficiente, conservación inadecuada, o falta de sellado de grietas.

Afloramiento de Humedad. Aparición de zonas húmedas en la superficie con o sin encharcamiento. Las causas probables son deficiencia de drenaje o de subdrenaje, zonas mal compactadas, o bases saturadas.

Marcado de Huella. Impresión en relieve en la superficie de rodamiento. Se origina por superficies de rodamiento débiles o suaves, exceso en el contenido de asfalto, o estacionamiento prolongado de vehículos pesados.

Contaminación de Agregados. Inclusión de materiales diferentes a los agregados especificados y propiedades mecánicas. Es causado por la dosificación inapropiada, un control de calidad pobre, o la contaminación de los bancos de agregados.

Expulsión de Finos. Material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas. Se origina por el exceso de finos en capas de la sección del pavimento, o la acción de tránsito intenso.

Borde Longitudinal o Elevación Diferencial de la Carpeta Entre Carriles. Cambio brusco del perfil transversal de la superficie de rodamiento entre tendido de capas. Se debe a la deficiencia en procedimientos constructivos, deficiencias de control de calidad, o asentamientos longitudinales.

Obstrucción de Alcantarillas o Drenaje. Hierba silvestre que invade y crece obstruyendo el flujo de agua y el señalamiento. Es frecuente el desprendimiento de rocas sobre la carretera y acotamientos, impidiendo el flujo del agua, repercutiendo en el comportamiento del pavimento. La causa es la conservación inadecuada.

V.2.1.3. Evaluación Funcional en Pavimentos.

Los indicadores del estado superficial de una carretera son el marco de referencia para poder establecer si la estructura tiene las características funcionales y de resistencia adecuadas para la operación eficaz y eficiente del transporte dentro del sistema vial. Para medir el deterioro en una carretera, en México se emplean indicadores del estado superficial, conocidos como el índice de servicio (empleado por la A.A.S.H.T.O.), el índice internacional de rugosidad (sugerido por el Banco Mundial), y el ciclo de vida de una carretera.

1. Índice de Servicio.

El índice de servicio es el marco de referencia para poder establecer si la estructura tiene las características funcionales y de resistencia adecuadas para la operación del transporte dentro del sistema vial; esto es, la máxima carga a que puede ser sometida sin afectarla estructuralmente.

El índice de servicio se mide de acuerdo al confort del usuario y su seguridad al transitar en una carretera indicando las condiciones superficiales y estructurales del pavimento que sirvan a estudios detallados.

Para obtener este índice de servicio, se requiere la presencia de 4 valuadores, forzosamente uno con experiencia a bordo de un vehículo con buena suspensión, buena alineación y dirección estable.

Estos valuadores hacen recorridos continuos a la velocidad normal de operación en el tramo y van registrando en un formato, la calificación estimada por cada observador. Las calificaciones promedio servirán para decidir la intervención de los tramos.

El estado del pavimento se evalúa de acuerdo con la siguiente escala de calificaciones para cada estado del pavimento:

CALIFICACIÓN	ESTADO DEL PAVIMENTO
0-1	Intransitable
1-2	Malo
2-3	Regular
3-4	Bueno
4-5	Excelente

Además, es necesario hacer una evaluación basada en estudios de laboratorio para saber con más precisión el estado real que guarda la carretera.

2. Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

El índice internacional constituye una medida de rugosidad, entendida como las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad del viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino, ver Figura V.1. Por tanto, el IRI puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo; su unidad de medida es m/km.

La condición ideal en una carretera es una empresa no sólo imposible, sino también indeseable. Imposible, porque el nivel de recursos necesario para colocar toda una red nacional en los más altos niveles de índice de servicio (en los más bajos niveles del índice internacional de rugosidad) resultará siempre inalcanzable. Indeseable, porque aunque ese costo pudiera erogarse, resultaría excesivo y poco rendidor de frutos. No debe olvidarse que la relación entre el costo de una acción de conservación y su ahorro en los costos de operación vehicular, tienen que ser un mecanismo evidente de control en cuestiones de gasto público. Lo esencial radica en el costo nacional total. Si la acción de conservación, conduce a un abatimiento del costo total nacional, será justificable desde el punto de vista económico; pero justificable no quiere decir posible ya que deben existir recursos suficientes.

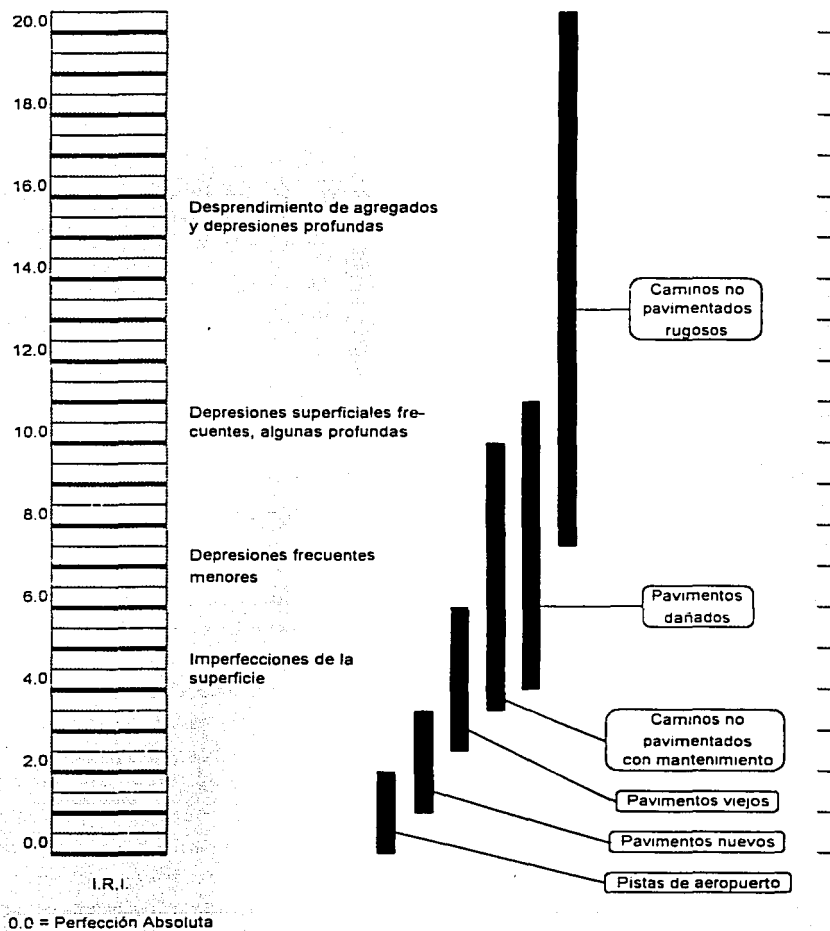


Figura V.1. Escala de Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

3. Ciclo De Vida De Un Pavimento.

Una obra va sufriendo deterioros a través de los años, presentando diferentes condiciones de servicio a lo largo de su ciclo de vida. Este deterioro puede expresarse gráficamente. La Figura V.2, nos muestra que la curva de deterioro empieza en un punto alto y luego desciende gradualmente hasta llegar a un punto bajo.

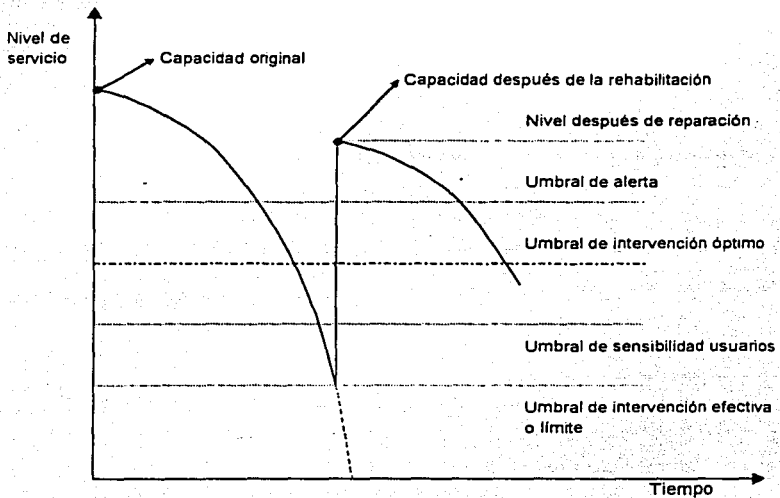


Figura V.2. Ciclo de Vida de una Carretera (Evolución/Tiempo)

El organismo encargado debe intervenir antes de la descomposición total del camino, mediante su rehabilitación o reconstrucción. Después de efectuada la medida, la carretera vuelve a ser muy buena, hecho que queda representado por una subida abrupta de la curva, hasta un nivel alto. Con el correr del tiempo, todo el proceso se repite y la curva toma la forma de una sierra invertida, en la cual los dientes representan las intervenciones al camino.

Los dientes pueden estar más o menos distantes uno del otro, representando la rapidez del deterioro y dependiendo del volumen de tránsito, del clima, de la calidad de la construcción original y del mantenimiento que se efectúa. Los espacios entre dientes pueden ser más o menos profundos, lo que representa la política de intervención; ésta puede ser de conservación o de rehabilitación/reconstrucción.

Existen además un número infinito de curvas y ciclos que representan las distintas decisiones que se adoptan en la práctica, constituyendo una "colección de sierras".

La utilización de estas gráficas permite vigilar la evolución y el comportamiento de los tramos, así como su velocidad de degradación para programar las nuevas acciones en el tiempo preciso; permitiendo prolongar la vida útil del pavimento más allá del proyecto, con productividad y repercusión en los costos de mantenimiento futuros.

Pero después de 4 o 5 rehabilitaciones, el daño que se ha causado a la obra es tal, que lo más conveniente es una reconstrucción, pues la eficiencia de la rehabilitación es cada vez menor.

V.2.2. PLANEACIÓN DE CONSERVACIÓN.

La conservación tiene por objetivo lograr que las carreteras presten el servicio para el que fueron construidas, bajo condiciones de seguridad y confort, prolongando la vida de la misma. Para lograr esto, se realizan diferentes actividades para eliminar los defectos y problemas que se presentan ya que de no resolverse provocan el deterioro del camino.

De esta manera se derivan dos tipos de conservación:

- Conservación Menor.
- Conservación Mayor.

La *Conservación Menor* se tiene que realizar a todo lo largo de su vida útil de la vía, mientras que en la *Conservación Mayor* se tiene que llevar a cabo cada tres años como mínimo; esto dependiendo el estado que guarda la vía, la calidad en que se encuentre, lo cual esta en

función de los materiales que se hayan ocupado en la construcción de los caminos, que hayan sido de buena calidad, así como el proceso de construcción.

Algunos de los principales trabajos de conservación mayor son los siguientes:

- Bacheos de caja.
- Renivelaciones ligeras.
- Riegos de sello (deben de durar en promedio 3 años).
- Señalamiento (rayas que se pintan en la superficie de rodamiento para marcar los carriles e indicar las zonas donde se permite el rebase de vehículos).

Algunos de los trabajos de conservación menor son los siguientes:

- Chapaleo (deshierbe a todo lo largo de la autopista, derecho de vía y donde se requiera).
- Limpieza de las obras de drenaje (alcantarillas, cunetas, lavaderos, etc.)
- Reposición y reparación de las obras de señalamiento (defensas metálicas, malla sobre la barrera central, fantasmas, señales informativas, preventivas y restrictivas, etc.)

Es evidente que los métodos de mantenimiento utilizado en México dependen de los recursos escasos asignados a estos trabajos. El equipo asignado es, generalmente, antiguo e inadaptado a los tipos de obras que se deben realizar.

En esta sección se mencionará la política de conservación que actualmente se lleva a cabo en las carreteras nacionales y se describirán, en forma breve, algunas de las estrategias alternativas que se plantean en el ámbito de la conservación denominadas: Mantenimiento Normal, de Espera, Mantenimiento Reducido y Rehabilitación Rápida con Mantenimiento Reducido.

1. Estrategia de Mantenimiento Normal.

Las estrategias de mantenimiento normal tienen como objetivo conservar la carretera en buen estado a largo plazo y consisten en una serie de obras programadas a lo largo de

ciclos de vida relativamente cortos que corresponden a la vida útil de las carreteras. Al final de estos ciclos las carreteras se rehabilitan completamente.

La limpieza y conservación normal del pavimento se prevén cada año; el bacheo es excepcional y es previsto un año antes del mantenimiento periódico consistente en tratamientos superficiales simples en las carpetas asfálticas y ajustan su frecuencia la nivel de tránsito.

Al final del ciclo de las carreteras se realiza una rehabilitación completa de éstas, ya que los ciclos de vida terminan siempre con una nota de calidad igual a 14, escala del IRI, cerca del límite inferior de la clase de estado regular. Estas obras conciernen a las carreteras en buen estado.

2. Estrategia de Espera.

Las carreteras en estado pésimo, malo y regular merecen una atención previa antes de rehabilitarse, por lo que reciben un mantenimiento reducido que evita malgastar los recursos.

Con la aplicación de una estrategia de espera se mantiene la carretera con un nivel reducido hasta el año previsto para una rehabilitación completa. A partir de esta fecha empieza el mantenimiento previsto a largo plazo.

El mantenimiento consiste en obras esporádicas de limpieza, de conservación del pavimento y a veces de tratamientos superficiales. Después de su rehabilitación, la carretera sigue una política de mantenimiento normal.

3. Estrategia de Mantenimiento Reducido.

Para seguir una política de mantenimiento normal se ha diseñado una política de mantenimiento reducido que permita mejorar paulatinamente el estado de la red con gastos intermedios ubicados entre la política actual y el mantenimiento normal.

Las obras previstas contemplan un mantenimiento rutinario de limpieza casi normal con bacheos regulares. El mantenimiento periódico consta de tratamientos superficiales a intervalos regulares adaptados a la intensidad del tránsito con posibles carpetas asfálticas y renivelaciones para las carreteras con mayor tránsito.

Al final del ciclo de vida de las carreteras se realiza una rehabilitación completa para que estén en un estándar compatible con el nivel de tránsito. Los ciclos de vida se terminan con notas de calidad iguales a 1, lo que significa que se espera la degradación completa de la carretera antes de rehabilitarla.

4. Estrategia de Rehabilitación Rápida y Mantenimiento Reducido.

Para hacer frente a la situación actual sin sobrecargar el presupuesto, se adopta una estrategia de tipo mixto entre las estrategias de mantenimiento reducido y las de mantenimiento normal que parte de los siguientes objetivos:

- La red en estado bueno o regular debe rebasar el 50% del total a corto plazo (3 o 4 años).
- El nivel de gasto no debe ser más elevado que lo previsto en el mantenimiento normal.
- La rehabilitación debe favorecer a las carreteras más cargadas.

Esta es una estrategia con un nivel razonable de gastos y una rentabilidad elevada donde, para compensar el alto costo de las rehabilitaciones, se prevé un mantenimiento de tipo reducido en toda la red, incluso a largo plazo. El nivel escogido depende de la clase de tránsito, con el propósito de mejorar la rentabilidad del programa.

Las rehabilitaciones se manejan a través de estrategias de espera. Las carreteras que no justifican un mantenimiento regular merecen una rehabilitación previa y antes de rehabilitarse deben recibir un mantenimiento reducido. Las labores correspondientes a este tipo de estrategias consisten en obras esporádicas de limpieza y de conservación del pavimento hasta el año previsto para una rehabilitación completa. Después de su rehabilitación, la carretera sigue una política de mantenimiento como las demás.

V.2.3. PROGRAMACIÓN.

Los organismos encargados de administrar las vías terrestres de un país cuentan con oficinas centrales, regionales y subregionales para conservar estas obras.

En las oficinas centrales se revisan los proyectos y los trabajos en todo el país que pueden ser de conservación mayor o menor, que se programan en forma adecuada. Después se gestionan ante las autoridades hacendarias, las asignaciones monetarias que requiere cada región; en las oficinas centrales también se revisan mecanismos para controlar la calidad, las finanzas y el avance de las obras.

En las oficinas regionales que están a cargo de un residente general; se realizan las mismas funciones de proyecto y control que se explicaron anteriormente y se controlan los gastos realizados en las subregiones; así mismo, se realizan actividades de supervisión a las obras.

Las oficinas subregionales a cuyo frente se encuentra un residente de conservación, se encargan de realizar los trabajos por administración o de vigilar que éstos se efectúen de acuerdo a la calidad y el programa, cuando se dan por contrato a compañías especializadas, además, en las oficinas subregionales se estiman los costos de las obras realizadas para que, previa revisión en las oficinas de más jerarquía se efectúen los pagos en su oportunidad.

En todas las oficinas existe una organización tal que es posible proyectar las obras con la anticipación debida para que, después de transmitir la suficiencia presupuestal, ésta se ejerza con toda oportunidad. En todas esas oficinas según el volumen de obras, se cuenta con una organización para controlar la calidad (laboratorios), el avance y las finanzas. Los planes de las obras de conservación pueden ser de aplicación inmediata o a largo plazo.

Las actividades incluidas automáticamente en esos planes son las de conservación mayor, a las que es posible dar un costo anual más o menos constante (se tiene que tomar en cuenta la inflación). En los planes a largo plazo se considera reconstruir y rehabilitar tramos importantes de la red.

En nuestro país se toma gran importancia a la planeación a largo plazo, pues una gran parte de la red debe ser rehabilitada y reconstruida; a causa del gran incremento de tránsito en los últimos años. En esto ha influido notablemente la construcción en la última década de 80,000 km de caminos de bajo costo (caminos rurales). Estos planes de conservación a largo plazo deben atender a que toda la red solo requiera la conservación normal o la rehabilitación cuando las condiciones de tránsito lo exigen.

V.3. LATERALES DE CAMINOS Y OBRAS DE PROTECCIÓN

Como parte integral de una carretera la conservación de zonas laterales y obras de protección inciden sobre el buen desempeño que esta vía debe ofrecer al público que transita. Como cualquier otra parte del camino, las zonas laterales y obras de protección cuando son conservadas apropiadamente, cubren las necesidades del usuario, protegen su vida y además se preserva la inversión que se tiene en diversas instalaciones de los caminos.

Otro aspecto fundamental que debe tomarse en consideración y que en la actualidad está tomando mucha relevancia es el relacionado con el medio ambiente, por lo que todas las acciones de conservación de las zonas laterales y las obras de protección deben estar enfocadas a mantener un medio ambiente ecológico balanceado.

Las zonas laterales y obras de protección son aquellas que se encuentran localizadas ya sea en las orillas del camino, en la zona del derecho de vía, las zonas que se encuentran comprendidas entre dos cuerpos de carreteras y las zonas de intersecciones. También deben incluirse las zonas de descanso, los sitios históricos, los miradores y otras zonas incluidas dentro del camino.

En términos generales los elementos que quedan comprendidos en las zonas laterales y obras de protección se pueden englobar:

- Acotamientos e intersecciones
- Derecho de vía
- Drenaje.

V.3.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

Para evaluar el estado de las laterales de caminos se requiere en principio de una inspección visual muy minuciosa, en la cual se califica o define el estado actual de los objetivos funcionales y estéticos de proyecto que en general son:

- Asegurar un buen drenaje y minimizar la erosión
- Minimizar la ocurrencia de incendios
- Minimizar el mantenimiento
- Delinear el camino
- Evitar con pantallas el deslumbramiento producido por otros vehículos
- Abatir los niveles de ruido
- Aliviar el tedio y la monotonía del conductor
- Fortalecer la seguridad de los transeúntes, motociclistas y ciclistas
- Reducir los problemas de fauna silvestre y ganado
- Mejorar los requisitos de visibilidad
- Reducir el daño del pavimento producido por plantas o por agua
- Reducir el deterioro de la infraestructura en las laterales de camino tales como: postes, defensas, etc.
- Dar o proporcionar una adecuada perspectiva en las intersecciones
- Proporcionar áreas de descanso
- Mantener en buen estado el señalamiento
- Mantener adecuadamente la vegetación existente
- Producir un efecto placentero a través de colores, texturas y formas
- Mejorar las cualidades escénicas del camino.

Además de verificar conforme a las normas la vegetación existente en el derecho de vía y las áreas destinadas a bancos, accesos, paraderos y miradores en los cuales la hierba no debe ser mayor de 30 cm en una faja de 5 m y de 1 m de altura en el resto del derecho de vía en proyectos que incluya pasto, plantas de ornato o seto vivo en camellones verificar el estado en que estos se encuentran, si existen árboles o arbustos deben de estar ubicados a una distancia no menor de 5 m y la proyección de sus ramas no debe quedar sobre la corona del camino.

Así como también se requiere la revisión de estas zonas en lo que se refiere a basura y otros desperdicios que pueden afectar su buen funcionamiento.

La condición de estas también se mide por medio de varias variables como son: la rugosidad, fisuración, descascamiento, baches, resistencia al deslizamiento y aflojamiento de la superficie entre otros.

Los datos anteriormente descritos nos dará como resultado el estado actual de las laterales de los caminos en general.

V.3.2. PLANEACIÓN DE LA CONSERVACIÓN

Basados en los datos obtenidos en la evaluación del estado actual de las laterales podemos hacer una planeación para su conservación.

El mantenimiento de este tipo de obras debe ser considerado como una actividad rutinaria, las mediciones que serán usadas y las frecuencias de este, estarán reguladas por el volumen de tráfico, el peso de los vehículos, su condición general, estación del año y los materiales con que fueron construidos.

Regularmente los métodos de reparación son los mismo que se emplean en la reparación de pavimentos (relleno de grietas, renivelación, bacheo, riego de sello, etc., según sea el caso).

Además de otros como el desmonte que comprende la ejecución de algunas o todas las operaciones siguientes:

- Tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos
- Rosa, que consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras
- Desenraíce, que consiste en sacar los troncos o tocones con todo y raíces y cortando estas
- Limpia y quema, que consiste en retirar el producto del desmonte a un lugar asignado, estibarlo y quemar lo no utilizable.

Para la planeación de esto debe considerarse que:

- En ningún caso deberá permitirse la existencia de hierba en los acotamientos
- La hierba no deberá sobrepasar de 30 cm de altura en una faja de 5 m colindantes a la corona del camino
- La hierba no deberá sobrepasar de 1 m de altura en el resto del derecho de vía
- No deben de existir árboles o arbustos que disminuyan la visibilidad del usuario
- Debe de mantenerse la lateral libre de toda basura y otros desperdicios.

V.3.3. PROGRAMACIÓN

La programación para la conservación de las laterales de caminos, estará dada de tal manera que se cumpla con los requisitos planteados en la planeación, la cual esta regulada como ya lo habíamos mencionado por el volumen de tráfico, el peso de los vehículos, la zona geográfica del camino, su condición general, estación del año, y los materiales con que fueron construidos. Debido a las diferentes condiciones de clima, cultura, materiales, etc. Antes mencionados sería muy difícil programar y establecer un manual de conservación que pueda ser aplicado a cada situación. Es por esta razón que se requerirá establecer los procedimientos y acciones para cada camino según sus condiciones.

V.4. SISTEMA DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS UTILIZADO EN MÉXICO.

En México el sistema de administración para la conservación de carreteras utilizado por la Dirección General de Conservación de Carreteras de la Red Federal (DGCC) es el sistema de simulación de estrategias de mantenimiento vial (SISTER). El Instituto Mexicano del transporte. propone el sistema Mexicano para la administración de pavimentos (SIMAP).

V.4.1. SISTEMA DE SIMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO VIAL (SISTER)

Este sistema ha sido desarrollado por una sociedad Europea de ingeniería, su finalidad es describir las estrategias de mantenimiento, simular la evolución de la red y proporcionar

todos los resultados financieros y económicos para evaluar la estrategia, siendo introducido en el país en 1993, con autorización para el uso exclusivo de la DGCC.

El objetivo principal del SISTER, es el de planear a corto, mediano, largo plazo el estado físico de la red carretera federal mediante la aplicación de una estrategia de mantenimiento vial en la cual se definen los trabajos necesarios para alcanzar las metas establecidas considerando los apremios presupuestales.

La meta, es el de prever a futuro el estado físico de la red carretera, definir los recursos financieros necesarios para alcanzar las metas y determinar las obras de mantenimiento a efectuar en la red carretera.

Esta al servicio de los responsables encargados de la definición de la política de mantenimiento permitiéndoles soportar sus proposiciones durante la presentación a las autoridades políticas y argumentar con los organismos nacionales e internacionales.

SISTER, pretende ser solamente una herramienta, que no puede ser utilizado por cualquier técnico; debe ser manejado solamente por especialistas con experiencia en campo capaz de realizar la síntesis de todos los fenómenos que son las causas de los defectos aparentes.

El programa permite su adaptación rápida a situaciones tanto técnicas como de investigación. Permite verificar estrategias de mantenimiento definidas por el usuario y de medición de los efectos a largo plazo sobre la evolución técnica de la red, y su nivel de servicio.

Cada estrategia esta compuesta por un cierto numero de escenarios que se refieren a condiciones particulares como el clima, volumen de transito y la política general en materia de rehabilitación. Así, dentro de una misma estrategia, resaltan los principios generales de política vial y la importancia socioeconómica, se pueden diferenciar los tratamientos particulares los grupos de tramos homogéneos.

Las estrategias y cada uno de sus escenarios son descritos a lo largo de toda una vida de la carretera, cuya duración es fijada para utilizarse en función de la estrategia y de las

condiciones particulares de los grupos de trabajos homogéneos. Cada ciclo de vida termina normalmente con una rehabilitación o al menos con un trabajo de refuerzo de la carretera.

Cuando este es alcanzado el programa regresa sobre el primer año y no comienza el siguiente hasta el año del fin del proyecto. La red carretera es dividida en tramos homogéneos de acuerdo con varios parámetros, que están ligados en particular por su identificación, administración, su zona geográfica, su nivel de tráfico, su estado actual, sus características geométricas y su código de decisión. Cada tramo carretero es una rama sobre la crónica de su estado resultante de un inventario previo muy reciente.

El modelo considera dos tipos de vehículos: los ligeros, combinación de vehículos particulares, camionetas pick-ups, etc. y los pesados, combinación de autobuses, camiones simples y articulados, etc. El estado de la red esta caracterizado por dos notas: una nota de calidad representativa de su estado actual y una nota de rugosidad representativa de su nivel de servicio al usuario.

Con los agrietamientos y deformaciones estructurales obtenidos, se obtiene el índice de degradación, y la nota de calidad de la siguiente manera:

$$\text{Nota de calidad} = 23 - (3 * \text{Índice de degradación})$$

Con las condiciones de drenaje, subdrenaje y características de los materiales en la estructura del camino se obtiene el estado físico y la nota de calidad según la siguiente tabla:

Estado físico	Nota de calidad
Bueno	20 a 18
Regular	17 a 12
Malo	11 a 7
Pésimo	6 a 1

Los niveles de gravedad de las degradaciones de los pavimentos son de dos tipos A y B, como se muestran en la Tabla V.3 y en la Tabla V.4.

DEGRADACION	GRAVEDAD		
	1	2	3
Deformaciones	Sensible para el usuario pero poco importante $f < 2$ cm.	Graves deformaciones asentamientos localizados o roderas $2 \leq f \leq 4$ cm	Deformaciones muy graves afectándola seguridad o el tiempo de recorrido $f > 4$ cm.
Agrietamiento	Fisuras finas en las huellas de las llantas o en el eje de la carretera	Fisuras abiertas y/o a veces ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas; arrancamientos en los bordes
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo sin movimientos de los materiales malla larga ($>$ a 50 cm.)	Mallas reducidas ($<$ 50 cm) a veces pérdidas de materiales arrancamientos y baches en formación	Piel de cocodrilo muy abierta, mallas pequeñas ($<$ 20 cm) en forma de adoquín, con pérdidas de materiales
Reparaciones	Reconstrucción de todo o parte del cuerpo del pavimento	Intervenciones superficiales para corregir defectos de tipo A	
	Intervención en la superficie para corregir defectos de tipo B	Buen comportamiento de la reparación	Defectos apareciendo sobre la reparación misma

Tabla V.3. Nivel de Gravedad de Degradación del Tipo A

Los costos de operación de vehículos (COV) están estimados para permitir las comparaciones económicas de las estrategias consideradas. La variable explicativa principal es el estado de la superficie de la carretera, medido por la nota de rugosidad. El SISTER no toma en cuenta la naturaleza del terreno (Plano, Lomerío, Montañoso), considerándolo

prácticamente plano, lo que evita la captura de esta información y también la división de tramos de las redes demasiadas pequeñas.

DEGRADACION	GRAVEDAD		
	1	2	3
Fisura longitudinal de la junta	Fina y única	Ancha (1 cm o más) sin desprendimientos o fina ramificada	Ancha con desprendimientos de los bordes o ancha ramificada
Baches	Cantidad < 5 Tamaño ϕ 30 cm max.	5 a 10 ó ϕ 30 ϕ 100	> 10 5 a 10 ó ϕ 30 ϕ 100
Erosión longitudinal de la carpeta	Secciones aisladas se aprecia la erosión de la carpeta	Inicio de la erosión del borde de la carpeta en secciones continuas sin afectar el ancho del carril	La erosión de la carpeta afecta el ancho de la calzada
Desprendimientos. Descascaramientos Ojos de pescado Pérdida de ligante Pérdida de agregado	Puntuales sin la aparición de la capa base	Continuos o puntuales con aparición de la capa base	Continuos con la aparición de la capa base
Movimiento de materiales	Puntual	Continuos sobre una huella de llanta	Continuos sobre una huella de llanta y muy marcados

Tabla V.4. Nivel de Gravedad de Degradación del Tipo B

El inventario de a pie de carreteras es un procedimiento alternativo para el registro (BANCO DE DATOS) de las condiciones físicas de la superficie del rodamiento y alrededores de carreteras; el cual consiste en un recorrido de observación a pie a lo largo de los tramos

carreteros que integran la Red Federal; además es el punto de partida para efectuar la planeación con el programa.

Se logran apreciar de forma minuciosa todos los daños que se presentan en la carpeta asfáltica; permite establecer, de antemano, las causas de la degradación de los pavimentos; permite contar con la información actualizada de las condiciones físicas de la red, así como datos importantes relativos a los alrededores de las carreteras.

Se sigue el siguiente procedimiento para realizar el inventario de a pie:

1. Intersecciones, datos de ubicación, tipo de intersección, identificación de la intersección, (formato #1).
2. Tipo de Sección, datos de ubicación (Km. Inicial y Km. Final), y el trazo de que esta compuesto a la izquierda y derecha, (formato #2).
3. Geometría de la carretera, datos de ubicación (Km. Inicial y Km. Final), trazo pendiente vertical y horizontal, (formato #3).
4. Obras de drenaje, datos de ubicación, tipo de obra, % de azolve, medidas, estado físico, (formato #4).
5. Obras Complementarias de drenaje, datos de ubicación (Km. Inicial y Km. Final), tipo de obra, características, calificación, condiciones físicas, en la izquierda y derecha, (formato #5).
6. Registro de subdrenaje, datos de ubicación (Km. Inicial y Km. Final), tipo de obra, estado físico, (formato #6).
7. Condiciones de Señalamiento, datos de ubicación (Km. Inicial y Km. Final), tipo de señal, estado físico, dimensión, silueta o leyenda, sentido, (formato #7).
8. Estructura del pavimento, datos de ubicación (Km. Inicial y Km. Final), capa, compactación, Humedad, clasificación SUCS, material, (formato #8).
9. Superficie del rodamiento, datos de toda la superficie del rodamiento, (formato #9).

El estándar técnico de las carreteras esta tomado en cuenta en un cálculo normalizado que considera los valores promedio la velocidad posible y las características geométricas. El programa compara todas las estrategias generadas con una de referencia definida por el usuario, calcula el balance actualizado y la relación entre el beneficio en los COV y los costos adicionales de mantenimiento.

REGISTRO DE OBRA DE INTERSECCIONES			
Centro SCT _____		# Residencia _____	# Tramo _____ Fecha _____
Nombre de Tramo _____		Km. Inic. _____	Km. Final _____ N° de Carretera _____
UBICACIÓN	TIPO DE INTERSECCION	IDENTIFICACION DE LA INTERSECCION	OBSERVACIONES

Formato #1

REGISTRO DE TIPOS DE SECCION							
Centro SCT _____		# Residencia _____		# Tramo _____		Fecha _____	
Nombre de Tramo _____		Km. Inic. _____		Km. Final _____		N° de Carretera _____	
UBICACIÓN		SECCION		UBICACIÓN		SECCION	
Km. Inic.	Km. Final	IZQUIERDA	DERECHA	Km. Inic.	Km. Final	IZQUIERDA	DERECHA

Formato #2

REGISTRO DE LA GEOMETRIA DE LA CARRETERA			
Centro SCT _____	# Residencia _____	# Tramo _____	Fecha _____
Nombre de Tramo _____	Km. Inc. _____	Km. Final _____	Nº de Carretera _____

UBICACIÓN		TRAZO		UBICACIÓN		TRAZO	
Km. Inic.	Km. Final	VERTICAL	HORIZONTAL	Km. Inic.	Km. Final	VERTICAL	HORIZONTAL

Formato #3

REGISTRO DE OBRA DE DRENAJE			
Centro SCT _____	# Residencia _____	# Tramo _____	Fecha _____
Nombre de Tramo _____	Km. Inc. _____	Km. Final _____	Nº de Carretera _____

UBICACIÓN	TIPO DE OBRA				% DE AZOLVE	MEDIDAS	ESTADO FÍSICO	IDENT. DE DAÑOS Y PROPUESTA DE MANT.
	BV	L	φ	LV				

Formato #4

REGISTRO DE OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE													
Centro SCT _____			# Residencia _____			# Tramo _____			Fecha _____				
Nombre de Tramo _____					Km Inic. _____		Km Final _____		N° de Carretera _____				
UBICACION		IZQUIERDA					DERECHA						
Km. Inic.	Km. Final	TIPO DE OBRA			CALIFICACION	CARACTERISTICAS	CONDICIONES FISICAS	TIPO DE OBRA			CALIFICACION	CARACTERISTICAS	CONDICIONES FISICAS
		C	CT	B				C	CT	B			

Formato #5

REGISTRO DE OBRAS DE SUBDRENAJE								
Centro SCT _____			# Residencia _____		# Tramo _____		Fecha _____	
Nombre de Tramo _____				Km Inic. _____		Km Final _____		N° de Carretera _____
UBICACION		OBRA						
Km Inic.	Km Final	TIPO	ESTADO FISICO	DETECCION DE NECESIDADES DE SUBDRENAJE PROPUESTA DE MANTENIMIENTO				

Formato #6

REGISTRO DE LAS CONDICIONES DE SEÑALAMIENTO						
Centro SCT _____		# Residencia _____	# Tramo _____	Fecha _____		
Nombre de Tramo _____			Km Inic _____	Km Final _____	Nº de Carretera _____	
UBICACIÓN		TIPO DE OBRA	ESTADO FISICO	MEDIDAS	SILUETA O LEYENDA	SENTIDO
Km. Inc.	Km. Final					

Formato #7

REGISTRO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO										
Centro SCT : _____		# Residencia : _____	# Tramo : _____	Fecha : _____						
Nombre de Tramo : _____			Km. Inic : _____	Km. Final : _____	Nº de Carretera : _____					
UBICACION	CAPA	COMPACTACION				HUMEDAD		CLASIF SUCS	MATERIAL	
		ESPESOR	SUELTO	MEDIO	MUY COMPACTO	SATURADO	NO SATURADO		EXCESO DE FINOS	SUELOS PLASTICOS
DEL Km	CARPETA									
	BASE									
AL Km										
DEL Km	CARPETA									
	BASE									
AL Km										

Formato #8

Capítulo V "Sistemas de Administración de la Conservación"

FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DEL INVENTARIO DE A PIE CORRESPONDIENTE A LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO									
Nombre y N° de Carretera									
Tramo					Fecha				
SUPERFICIE DE RODAMIENTO									
D A A O S	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO									
DEFLEXIONES									
Año 1/190 mm									
D A A O S	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO									
DEFLEXIONES									
Año 1/190 mm									
D A A O S	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO									

Formato #9

Para caracterizar los tramos de carreteras y diferenciar los escenarios de degradación y los precios unitarios de obra, es necesario dividir el país en diferentes zonas.

Para los tres parámetros utilizados se define un código y un nombre y son:

Zonas climáticas, permite diferenciar la velocidad de degradación ligada las condiciones climáticas y geotécnicas de la región, así como ajustar los escenarios de mantenimiento y son:

- CL1 Altiplano central
- CL2 Franja costera (aproximadamente 50 km tierra adentro).

Zonas de costo, permite diferenciar zonas bien comunicadas donde los precios son relativamente bajos y las zonas mas aisladas, donde los precios son mas elevados en razón de los costos de traslado de los materiales necesarios y las mismas son:

ZC1 = 0.77

ZC2 = 0.85

ZC3 = 1.00

ZC4 = 1.37

Zonas administrativas o entidades responsables.

El tipo de decisión debe ser tomado de acuerdo al:

- Mejoramiento previo de la carretera.
- Mantenimiento normal inmediato.

Cada tipo de trabajo esta caracterizado por un código y un nombre que permiten un punto de referencia .Por otra parte es necesario diferenciar las carreteras según el nivel del transito que soportan o si es necesario realizar los trabajos de reforzamiento antes de comprometerse con una política de mantenimiento normal.

Y los volúmenes de transito TPDA (transito diario promedio anual). Son:

Tipos de tránsito (TP)

TP0	de	0	a	75
TP1	de	76	a	300
TP2	de	301	a	1000
TP3	de	1001	a	2000
TP4	de	2001	a	6000
TP5	de	6001	a	mas

Las estrategias son definidas por los parámetros siguientes: identificación, código, norma.

Campo de aplicación, zona climática, clase de trafico, decisión en cuanto al estatuto, a la prioridad, etc.

Descripción año por año, año de reparación, nota de calidad de la estructura, nota de rugosidad, naturaleza de los trabajos.

Los precios unitarios son proporcionados en forma de precios base modificables en función al promedio de coeficientes estándares introducidos por el usuario.

Con el SISTER el usuario describe las estrategias de mantenimiento que se desea probar y comparar. Existen tantos escenarios como combinaciones de valores para los parámetros característicos. Pero, cuando dos estrategias son semejantes existe un procedimiento especial que permite derivar una estrategia de otra definida antes.

Antes de empezar el cálculo se verifica la coherencia de la estrategia. El programa describe la red troncal por tramo. Para cada uno de ellos busca el escenario correspondiente a su zona climática y su clase de tránsito, se divide este escenario el año correspondiente al valor de las notas de calidad estimadas para el primer año, después de la descripción hasta el último año.

El último año corresponde a una rehabilitación que permite empezar de nuevo la descripción del escenario. Para cada año el programa prevé los valores de los parámetros útiles para la sucesión de los cálculos, esencialmente el tránsito, las notas de calidad, la naturaleza de los trabajos y sus códigos, así como los COV.

El programa permite también enlistar los trabajos considerados por orden de urgencia con el fin de preparar una programación plurianual.

Los resultados están almacenados en ficheros informativos que pueden ser visualizados en la pantalla o impresos en forma de tablas o gráficos. Pueden también ser exportados a hojas de cálculo y/o base de datos para realizar tratamientos adicionales o preparar documentos con gráficas personalizadas.

Las tablas y las gráficas contienen las cantidades acumuladas de tres variables principales: kilometraje, costo de las obras y los COV. Las tablas pueden tener hasta cuatro dimensiones

definidas por el usuario (gráficas hasta tres dimensiones), lo que permite clasificar los resultados según una combinación de parámetros.

La información que se vaya teniendo se ira ampliando y confirmando con los años

El modelo de planeación SISTER, define las obras prioritarias dentro del contexto nacional, tomando en cuenta los volúmenes de tránsito y la importancia socioeconómica de la carretera. Efectúa el análisis económico para determinar la rentabilidad de los proyectos seleccionados. Determina los techos financieros necesarios anualmente, para alcanzar las metas programadas del estado físico de la red carretera en un horizonte de mediano y largo plazo.

La meta por alcanzar en la conservación de una red carretera es de:

50% es estado físico bueno

50% en regular estado

El catalogo de los trabajos de conservación es el siguiente:

Naturaleza de las obras	
Código	Tipo de obra
P1	Riego de sello
P2	Reparación Superficial y sello
P3	Renivelación y sello
P4	Microcarpeta
P5	Carpeta
P6	Renivelación y carpeta
P7	Recuperación de pavimento y riego de sello
P8	Recuperación de pavimento y microcarpeta
P9	Recuperación de pavimento y carpeta
R1	Reconstrucción del carril

El modelo SISTER permite observar rápidamente las consecuencias a corto mediano largo plazo de la aplicación de una determinada política de mantenimiento, valiéndose de un

sencillo esquema de operaciones que contempla procedimientos de recolección de datos poco demandantes y que opera proporcionando resultados que permiten:

- Visualizar el estado físico de un conjunto de red en el tiempo.
- Establecer necesidades presupuestarias
- Comparar los beneficios de un conjunto de estrategias para seleccionar la óptima
- Sustentar proposiciones ante autoridades políticas y argumentar ante organismos financieros nacionales e internacionales.

En la Figura V.3 se muestra un algoritmo simplificado del modelo del sistema de simulación de estrategias de mantenimiento vial (SISTER).

V.4.2. SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SIMAP)

El sistema Mexicano para la administración de pavimentos (SIMAP) es una metodología adaptada a las condiciones y recursos nacionales para detectar y manejar las necesidades de mantenimiento y refuerzo en su caso reconstrucción de los pavimentos.

El SIMAP permite disponer de un banco de información para que de manera simple y fácil se ponga en marcha un mantenimiento ordenado y sistemático de los pavimentos existentes con su priorización detallada y con la participación de todos los elementos involucrados, permitiendo implantar un plan de conservación preventiva. El sistema se puede definir como el conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización coordinación y control que afectan la funcionalidad economía y vida útil de los pavimentos permitiendo una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles.

El SIMAP esta compuesto básicamente por siete subsistemas:

El DATAGEN, que registra y archiva los datos generales de ubicación y de tránsito.

El ISA, que procesa los índices de servicio actuales de las carreteras en estudio.

El CAPES, que procesa deflexiones obtenidas en el campo para obtener refuerzos necesarios

El INVEDET, que maneja los inventarios de fallas o deterioros de tramos devaluados.

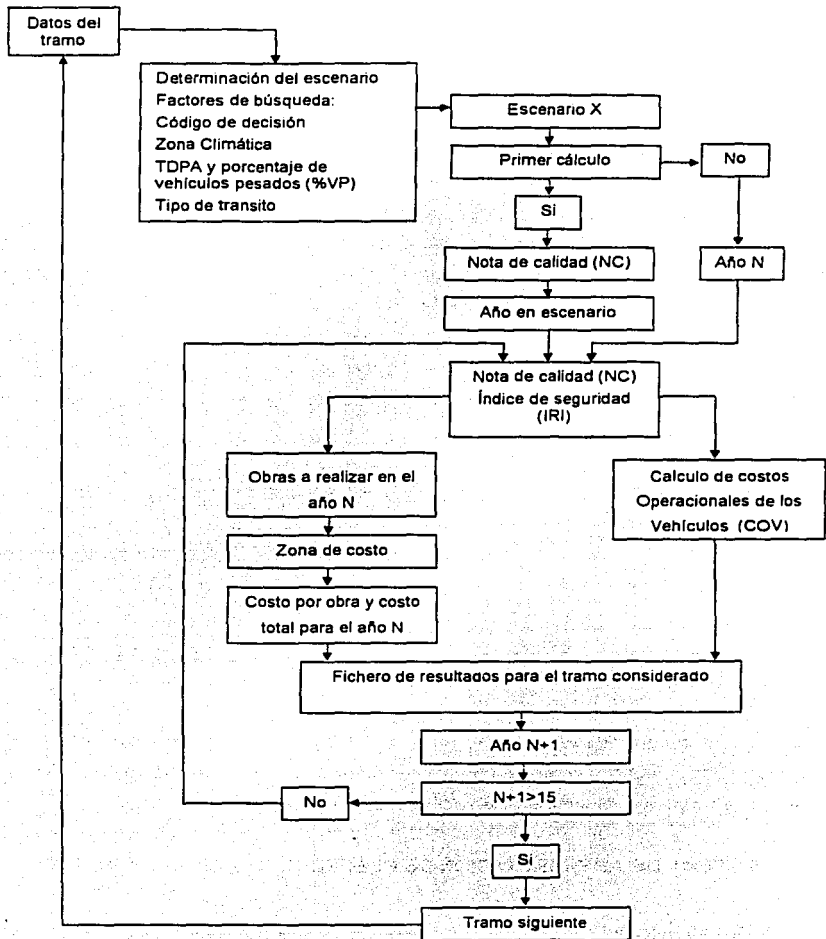


Figura V.3. Algoritmo Simplificado del Programa SISTER

El HISTOREP, que lleva un registro de archivo de reparaciones de mantenimiento efectuadas.

El CARGEOT, que se encarga de procesar las características geotécnicas de las estructuras del pavimento y sus alrededores.

El REFIN, que se encarga de procesar la información para llegar a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir.

El objetivo principal del sistema es ayudar a los responsables a administrar los problemas operativos con herramientas destinadas a satisfacer necesidades bien definidas poniendo solo los datos necesarios en forma adaptada a disposición de los responsables, desarrollando sistemas lógicos de colección archivo y tratamiento de la información puesto al día permanente mente. Para uniformizar los criterios a escala nacional, facilitar y hacer más eficiente el proceso de corridas de programas de computo se hace uso de nomenclatura par identificar a las carreteras.

El sistema registra en subsistemas el monitoreo, el registro fotográfico la estructura reforzada los materiales utilizados, los incidentes en procesos, la construcción la capacidad estructural las inspecciones visuales, la cantidad de rodamiento, la evolución gráfica, además de las alternativas de rehabilitación, selección de estrategias y retroalimentación. El manual operativo del SIMAP describe con detalle y simplicidad la metodología para obtener los datos o parámetros en el tramo en estudio, así como el llenado de los seis formatos básicos empleados para poder entrar al sistema.

Otro de los programas es Highway Desing and Maintenance Standars Model (HDM) es un conjunto de programas de computadora desarrollado por el Banco Mundial como una herramienta para evaluar la conservación desde el punto de vista financiero.

V.5. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES UTILIZADOS EN MÉXICO

Conscientes las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de la necesidad de contar con un procedimiento sistemático para atender el mantenimiento de los puentes de México, se inició una investigación a nivel mundial para conocer si se contaba en algunos países con un sistema para tal fin y ver la posibilidad de que se implementará uno

de ellos en nuestro país, teniendo como uno de los objetivos fundamentales garantizar que el mantenimiento de los puentes de la Red federal se lleve a cabo de una manera óptima.

Hasta antes de 1982 no se contaba en México con ningún procedimiento definido para llevar a cabo sistemáticamente el mantenimiento de puentes de la Red Carretera Federal.

Se daba atención a las estructuras conforme se detectaba que tenían problemas graves o cuando, a juicio del ingeniero residente debían efectuarse trabajos de mantenimiento o reforzamiento.

En 1981 las autoridades de la Secretaría de comunicaciones y transporte tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

- No se sabía si las estructuras podrían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales, de acuerdo con el reglamento de pesos y dimensiones que había sido publicado en 1980.
- Se tenía desconocimiento del número de puentes existentes en la red.
- No se contaba con un sistema que permitiera efectuar de manera ordenada y metódica el mantenimiento de los puentes.

En virtud de lo anterior, se decidió proceder a levantar un inventario nacional de puentes; en éste se consideraron las condiciones técnicas, geométricas y de ubicación de las estructuras, así como la naturaleza y magnitud de los daños que presentaban.

El inventario fue terminado en 1982 y de él se obtuvo que la red federal de carreteras contaba con 4,500 puentes; el inventario contenía muchos errores y omisiones lo que le restó confianza y finalmente se abandonó al no ser actualizado periódicamente.

En el año de 1991 se encontró que en Dinamarca se había implantado hacía algunos años el sistema conocido con el nombre de Dambro, el cual era sencillo de aplicar, moderno y se había adoptado también con buenos resultados en otros países.

En el año de 1992 se firmó con el Directorado Danés de Carreteras la primera fase del sistema de puentes de México, SIPUMEX, cuyos objetivos fueron los siguientes:

- Garantizar que el mantenimiento de los puentes de la red federal se lleve a cabo de manera óptima.
- Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras
- Realizar una optimización de los presupuestos anuales.
- Efectuar proyecciones de los requerimientos de presupuesto para un período de 5 años.

Se establecen las prioridades para los trabajos de reforzamiento o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las inspecciones principales, con base en la condición de los puentes, capacidad de las estructuras para distribuir la carga y el tránsito diario promedio anual.

La primera fase está constituida por las siguientes actividades:

1. Son inspecciones visuales de las estructuras para determinar sus condiciones y evaluar la necesidad de atenderlas. En las Tablas V.5, V.6, V.7 y V.8 pueden verse con detalle los datos que se obtienen con estas inspecciones principales, que consideran la entidad federativa en que se ubica la estructura, la carretera, kilometraje, tramo, año de construcción, tipo de superestructura, los materiales de que están construidas, el tránsito diario promedio anual, su clasificación, etc. En la Tabla V.8 se muestra la calificación de la estructura, con escala 0 a 5, siendo 0 cuando la estructura no presenta daños en ninguno de sus elementos y 5 cuando se considera que está al borde de la falla.
2. Con las inspecciones principales se pudo obtener el inventario de los puentes existentes en la Red Federal Carretera, resultando que el número de éstos es de 6,346, como puede verse en la Tabla V.9, en que se clasifican por entidad federativa y se especifica cuáles son peatonales. Se ha visto que los principales problemas que presentan las estructuras consisten en : a) agrietamiento de nervaduras y trabes por esfuerzo cortante y por flexión; b) fallas de apoyos de concreto (mecedoras) con placas de plomo y c) inestabilidad por erosión o socavación en los elementos de la cimentación o en los conos de derrame de estribos y caballetes.

TABLA V.5 SIPUMEX, REPORTE DE INSPECCION PRINCIPAL		
DGCC/SCT	Fecha 95.02.01	Hoja 1
Fuente: 27-002-00.00-03.0 Empalme I		
Estado: Tamaulipas		
Carretera: Nuevo Laredo- Laura Villar (Ruta 2)		
Kilometraje: 38,600		
Tramo: Matamoros - Reynosa		
Año de construcción:	0	
Año de la última reconstrucción:	0	
Paso Superior / Inferior:	S	
Dir. de km de carr. princip:	E	
Requisitos de inspección:	0 Nada	
Número de secciones de inspección:	1	
Colección de datos: fecha:	1994.06.08	
Iniciales:	JRZ	
Posición geográfica:		
Latitud: 025 gra. 53.94 min.	Longitud: 097 gra. 48.68 min	Altitud: 154 m
Geometría:		
Número de claros:	5	
Longitud de claro min (m):	5.5	
Long. de claro máx. (m)	5.5	
Longitud total (m):	27.5	
Ancho total (m):	9.3	
Ancho del camellón (m):	0.0 No apl.	
Ancho de la banq. izq. (m):	0.5	
Ancho de la banq. der (m):	0.5	
Ancho de la calzada (m):	6.6	
Ancho entre bordillos (m):	8.1	
Ancho del acceso (m):	6.7	
Área (m ²):	255	
Puente en curva (S/N):	N	
Esviajamiento (gra):	O	
Superestructura, tipo principal:		
Diseño tipo:	S	
Diseño de la sección transversal:	10 losa	
Diseño de la elevación:	10 Simpl. apoyado, secc. const.	
Material:	20 concreto, reforzado In situ	
Superestructura, tipo secundaria:		
Diseño tipo:	N	
Diseño de la sección transversal:	91 No aplicable	
Diseño de la elevación:	91 No aplicable	
Material:	91 No aplicable	

Continúa en tabla V.6

TABLA V.6 SIPUMEX, REPORTE DE INSPECCIÓN PRINCIPAL				
DGCC/SCT		Fecha 95.02.01		Hoja 2
Fuente: 27-002-00.00-03.0 Empalme II				
Subestructura:				
Estribos:				
Tipo:	21	Enterr. col./pilotes con cabez.		
Material:	21	Concreto reforzado		
Tipo de cimentación:	10	Cimentación directa		
Pilas:				
Tipo:	10	Pila sólida		
Material:	21	Concreto reforzado		
Tipo de cimentación:	10	Cimentación directa		
Detalles:				
Tipo de parapeto:	20	Concreto sólido		
Parapeto inclinado:	S			
Tipo de superficie de desgaste:	10	Asfalto		
Tipo de juntas de expansión:	51	Junta de cartón asfaltado		
Tipos de apoyos fijos sobre soportes:	10	Junta de construcción		
Tipo de apoyos móviles sobre soportes:	10	Junta de construcción		
Tipos de apoyos fijos en traves:	91	No aplicable		
Tipos de apoyos móviles en traves:	91	No aplicable		
Carga de diseño	H ₂ O			
C' de distrib. de carga:	2	Distribución en 1 dirección		
Obstáculo que cruzo				
Tipo de paso	30	Río o arroyo		
Ident. de la carretera		km:		
Nombre de la carretera				
Espacio libre				
Sobre el puente (m):	I:	IM:	DM:	D:
Bajo el puente (m)	I: 3.50	IM: 3.50	DM: 3.50	D: 3.50
Propietario	100	DGCCOP/SCT		
Cooperador	27	Tamaulipas		
Resp. de la inspec:	100	DGCCOP/SCT		
Proyectista	0			
Observaciones				
Continúa en tabla V.7				

TABLA V.7 SIPUMEX, REPORTE DE INSPECCIÓN PRINCIPAL			
DGCC/SCT		Fecha 95.02.01	Hoja 3
Fuente: 27-002-00.00-03.0 Empalme III			
Resumen cronológico:	fecha 1994.06.08	Actividades Inspección principal	
Ultima inspección principal:			
fecha: 1994.06.08	Iniciales: JRZ	Tiempo : soleado	Temperatura: 36
Tráfico:	TPDA:	0	
	Carros %:	0	
	Autobuses %:	0	
	Camiones %:	0	
Año de la próxima inspección principal:		1998	
Continúa en tabla V.8			

3. Análisis beneficio – costo, el que se realiza en función de alternativas de reparación, costos de operación, desviaciones del tránsito y costos de reparación.
4. Inspecciones rutinarias, son someras del aspecto superficial de los puentes para garantizar la seguridad diaria del tránsito.
5. Mantenimiento menor y limpieza, es la ejecución de trabajos menores, tales como reparación de baches, resane de concreto y de pintura, limpieza de calzada y de drenes, reparación de parapetos.
6. Inspecciones especiales, detalladas con el uso de equipo especial, para determinar los daños y sus causas y programar los proyectos de rehabilitación.
7. Jerarquización de los trabajos de rehabilitación, se establecen las prioridades para los trabajos de reforzamiento o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las inspecciones principales, con base en la condición de los puentes, capacidad de las estructuras para distribuir la carga y el tránsito diario promedio anual.

A mediados de 1993 se firmó el contrato de la segunda fase, cuyos trabajos finalizaron a fines de 1996, en esta fase se incluyen los siguientes trabajos:

1. Diseño de reparación de puentes, preparación de un manual de diseño de reparaciones, con base en las inspecciones especiales.

TABLA V.8 SIPUMEX, REPORTE DE INSPECCIÓN PRINCIPAL

DGCC/SCT		Fecha 95.02.01			Hoja 4			
Fuente: 27-002-00.00-03.0 Empalme II								
Núm. Componente Descripción del daño Tipo de daño	Fotos	Califi.	Manten.	Ins. Esp.	Obras de reparación			
					TP	Contl	Año	Costo
1. Superficie de puente	0	1	-					
2. Juntas de expansión	0	2	-					
3. Banqueta/camellón	0	1	-					
4. Parapeto/pasamanos	0	3	-					
5. Conos/taludes	0	1	-					
6. Aleros	0	1	-					
7. Estribos Agrietados y concreto desintegrándose Daño en concreto/corr. acero	1	3	-		A	150	1996	69750
8. Pilas Agrietadas y desintegración de concreto Daño en concreto/corr. acero	1	4	-		A	90	1996	41850
9. Apoyos	0	1	-					
10. Losa Acero expuesto corroído Daño en concreto / corr. Acero	1	4	-		B	50	1996	50,000
12. Cauce	0	1	-					
14. Puente en general	0	4	-					

TABLA V.9 SIPUMEX. NÚMERO Y ÁREA DE LOS PUENTES

DGCC/SCT		Fecha 95.02.01		Hoja 5		
Totales para todos los puentes:				De estos pasos-peatón		
Estado	Número	Longitud (m)	Área (m ²)	Número	Longitud (m)	Área (m ²)
1 Aguascalientes	36	1336	15658	1	187	270
2 Baja California	129	5609	55408	6	178	413
3 Baja California Sur	80	2644	26175	4	128	304
4 Campeche	55	1438	16484			
5 Coahuila	267	7127	81732	2	59	151
6 Colima	53	2934	30354			
7 Chiapas	209	8171	80541			
8 Chihuahua	348	9701	99893			
9 Durango	234	7130	65350	5	167	330
10 Guanajuato	152	3544	40884	6	169	423
11 Guerrero	354	17467	158507	17	7695	1569
12 Hidalgo	125	4068	37158	20	761	1742
13 Jalisco	301	11395	113529	24	795	1808
14 México	196	7861	64445	64	2255	4831
15 Michoacán	385	13722	133905	5	191	501
16 Morelos	91	2331	21075			
17 Nayarit	126	4790	43430			
18 Nuevo León	205	6987	81339			
19 Oaxaca	345	16066	152778	8	249	834
20 Puebla	139	4037	41605			
21 Querétaro	115	3612	39449	10	113	929
22 Quintana Roo	13	479	4829			
23 San Luis Potosí	218	7511	76980	5	173	346
24 Sinaloa	211	9766	85844			
25 Sonora	887	17631	190665			
26 Tabasco	50	4394	46633			
27 Tamulipas	310	9590	93093			
28 Tlaxcala	135	3260	26225	27	665	2181
29 Veracruz Norte	253	10195	96920			
30 Veracruz Sur	156	7656	77352			
31 Yucatán	6	316	3441			
32 Zacatecas	162	3620	95720	1	21	31
Totales	6346	215888	2139401	205	6985	16663

4. Diseño y especificaciones para puentes nuevos, incluye el ajuste a las normas de diseño existentes, con base en las experiencias obtenidas de las inspecciones.
3. Rutas para transporte pesado, establecimiento de rutas para vehículos pesados especiales, de modo que no provoquen daño a los puentes.
4. Presupuesto y control de avance, un sistema que elabore presupuestos y controle los avances de los trabajos.
5. Mapa de puentes, sistema para localizar los puentes de la red en mapas.
6. Sistema de archivos, manejará todo el material de archivos del SIPUMEX.
7. Libro de Precios, elaboración de un catálogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación.
8. Supervisión de obras, introducción de nuevos procedimientos de supervisión de obras, incluyendo manuales.
9. Juntas asfálticas para puentes de concreto, entrenamiento en diseño y construcción de una nueva junta de expansión para puentes.
10. Fotografías, se establecerá una base de datos que contendrá fotografías de los puentes, tomadas durante las inspecciones principales.

El flujograma para el desarrollo del SIPUMEX comprende diversas actividades que tienen que realizar tanto la dirección General de Conservación de Carreteras a nivel central como los centros SCT.

Finalmente, conviene señalar que para que el sistema funcione adecuada y permanentemente, es necesario cumplir con los siguientes puntos:

- Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias Generales de Conservación de carreteras.
- Actualizar sistemáticamente la base de datos por lo menos una vez por año.
- Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación.
- Corregir errores y detalles mal aplicados conforme se vaya adquiriendo experiencia.

CAPITULO VI

EVALUACIÓN DE PROYECTOS

VI.1. TÉCNICAS PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS

VI.1.1. COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR.

Los costos de operación vehicular se determinan con base en los costos de operación por tipo de vehículo del tránsito diario promedio anual (TPDA) usuario del camino por conservar, ante situaciones sin y con proyecto, es decir mediante la diferencia de los costos de operación en la situación actual y los costos de operación en el camino totalmente rehabilitado. Los costos de operación de ambas situaciones se calculan a partir de los costos de operación base (costos de operación por tipo de vehículo en condiciones ideales de operación), a los cuales se les aplica un factor de corrección que toma en cuenta el tipo de terreno y el Índice Internacional de Rugosidad (IIR).

VI.1.1.1. Costos de Operación Vehicular Base.

El costo de operación vehicular base es determinado tomando como punto de partida un camino en óptimas condiciones, es decir un camino recto, sin pendientes verticales, sin grados de curvatura ni sobre-elevaciones y alojado en terreno plano.

El modelo utilizado en la estimación de estos costos es el Vehicle Operating Costs. (VOC) desarrollado por el Banco Mundial, el cual tiene que ser adaptado para las características de los vehículos que circulan.

VI.1.1.2. Costos de Operación Vehicular Corregidos.

El análisis sobre los costos de operación se realiza para las condiciones sin y con proyecto, las que requieren como insumo de información relativa al Tránsito Diario Promedio Anual (TPDA) que circula actualmente en el camino en estudio, la composición vehicular de dicho

tránsito, la tasa de crecimiento regional del tránsito, el tipo de terreno, el tipo de terreno en que se localiza el camino y la calificación del estado superficial (IIR), para ambas condiciones.

Para la determinación de los costos anuales de operación vehicular, es necesario contar con una base de datos que contenga los costos de operación base por tipo de vehículo y los factores de corrección que relacionan el estado superficial del camino con el tipo de terreno para cada tipo de vehículo; obteniendo con ellos los costos de operación corregidos para distintas condiciones de operación (distintos índices internacionales de rugosidad de la superficie de rodamiento y distintos tipos de terreno) por kilómetro recorrido.

Cuando se trata de caminos rurales revestidos, se recomienda utilizar en la situación sin proyecto un Índice Internacional de Rugosidad (IIR) de 12 mm/m y para la situación con proyecto un índice de rugosidad equivalente de 8 mm/m, ya que después de ser rehabilitada la superficie de rodamiento y aplicar una política de conservación adecuada, los caminos presentan mejores niveles de servicio en su operación. Esta consideración se hace debido a que las velocidades de proyecto de este tipo de caminos no exceden de los 70 Km/h.

En lo que a caminos pavimentados se refiere, el rango adoptado se ubica entre los 10 y 6 mm/m para las condiciones sin y con proyecto respectivamente. Una vez identificado los elementos que intervienen en la determinación de los costos de operación vehicular, se procede a la estimación de los mismos en forma anualizada, por tipo de vehículo para ambas situaciones.

VI.1.1.3. Ahorros Anuales y Totales en Costos de Operación Vehicular.

La diferencia de los costos de operación de los distintos vehículos en la situación sin proyecto y de aquellos relativos a la situación con proyecto, permiten al analista conocer los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación para cada año del horizonte económico del proyecto.

La tasa de crecimiento se aplica al Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), obtenido de aforos en el camino que se pretende mejorar, con el propósito de estimar el tránsito a lo largo del horizonte económico del proyecto, empleando la siguiente expresión:

$$TDPA_j = TDPA_0(1+i)^n$$

donde:

$TDPA_j$ = representa el Tránsito Diario Promedio Anual en el año j.

$TDPA_0$ = Tránsito actual del camino.

i = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

n = El periodo de tiempo que hay entre el $TDPA_0$ y $TDPA_j$, el cual podrá ser menor o igual al horizonte económico del proyecto (H).

Una vez hecha la proyección del Tránsito Diario Promedio Anual se procede a aplicar el porcentaje de participación que tiene cada tipo de vehículo en el mismo. Esta participación se obtiene de la composición vehicular obtenida del aforo disponible (%A, %B, %C).

Al contar con la proyección del TDPA por tipo de vehículo se obtiene el número de automóviles, autobuses y camiones usuarios del camino en forma anual, los cuales al multiplicarse por el costo de operación corregido, conforme al tipo de terreno y el índice internacional de rugosidad (IIR) de la superficie de rodamiento, se obtiene el costo de operación anual por tipo de vehículo, en el horizonte económico considerando en el análisis (10 años).

Las expresiones siguientes permiten determinar los costos de operación en forma anual por tipo de vehículo:

Automóviles (A) = $(TDPA_j) * (%A) * (365) * (L) * (\text{Costo de operación de Axy})$.

Autobuses (B) = $(TDPA_j) * (%B) * (365) * (L) * (\text{Costo de operación de Bxy})$.

Camiones (C) = $(TDPA_j) * (%C) * (365) * (L) * (\text{Costo de operación de Cxy})$.

donde:

L = Longitud del camino a rehabilitar.

x = Tipo de terreno en que se localiza el camino en estudio.

y = Representa el IIR de la superficie de rodamiento.

Los beneficios debidos a los ahorros de costos de operación para cada tipo de vehículo, se obtienen por diferencia entre la situación sin proyecto y la situación con proyecto. Al sumar estos ahorros se obtiene los beneficios totales en forma anual.

VI.1.2. COSTOS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

En estudios realizados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, de la Organización de las Naciones Unidas se ha estimado que en América Latina y el Caribe, las necesidades acumuladas de refuerzo, rehabilitación y reconstrucción vial tienen un costo total de al menos 25,000 millones de dólares, lo que significa un gasto de 2,500 millones de dólares anuales durante la próxima década. Este gasto representa entre el 1 y el 3 % del Producto Interno Bruto (PIB) de los países que integran la región.

Una política de conservación adecuada permitirá operación de los vehículos abatir los costos de operación de vehículos que participan en el traslado de bienes y personas, además de incrementar la velocidad de operación que en términos económicos se traduce en una mayor rotación de capital en cualquiera de sus manifestaciones (dinero, fuerza de trabajo y mercancía).

Las políticas de conservación propuestas por diversas agencias internacionales, muestran que las distintas acciones de conservación dependen en gran medida de la intensidad de la precipitación pluvial que se presenta en la región, así como el tipo de terreno en el que se aloja el camino por conservar.

En caminos con bajo volumen de tránsito y cuya superficie de rodamiento es revestida con material pétreo, influye de manera importante el efecto de degradación de la superficie de rodamiento debido a la intensidad con que se presenta la precipitación pluvial. Menos agresivo es el efecto que se produce en caminos con superficie de rodamiento pavimentada (asfáltica).

VI.1.2.1. Conservación y Mantenimiento para Caminos Rurales: Criterio del Banco Interamericano de Desarrollo.

La determinación de los costos anuales de conservación se obtienen para las condiciones sin proyecto (situación actual y con proyecto en la que se considera la rehabilitación del camino).

Las expresiones utilizadas en ambos casos consideran el nivel de precipitación pluvial, tipo de terreno, la superficie de rodamiento y la longitud de camino por rehabilitar.

VI.1.2.2. Costos de Conservación Rutinaria (CCR).

Este tipo de conservación se realiza en forma anual y corresponde a la conservación normal de un camino.

En un camino revestido la conservación rutinaria contempla los trabajos de limpieza de alcantarillas, desazolve de cunetas, limpieza del camino, (eliminación de la maleza que se encuentra en los hombros del mismo), así como refinamiento o conformación de la superficie de rodamiento utilizando una motoconformadora.

Para la determinación del costo de conservación rutinaria se utiliza la expresión siguiente:

$$CCR_{xyz} = (CCRU_{xyz})L$$

donde:

$CCRU_{xyz}$ = Costo de conservación rutinaria por kilómetro de longitud con superficie de rodamiento x, alojado en una región con nivel de precipitación y, así como un tipo de terreno z.

L = Longitud total del camino.

VI.1.2.3. Costo de Conservación Periódica (CCP).

La conservación periódica en el caso de caminos revestidos se refiere a recargues de material, el cual se tiende en espesores de 12 ó 21 centímetros dependiendo del daño que pueda presentar el camino. El revestimiento puede ser mejorado utilizando en algunos casos estabilizadores, además se lleva acabo la limpieza y rehabilitación de las obras de drenaje.

Si se trata de caminos cuya superficie de rodamiento es pavimentada, la conservación periódica puede ir desde un riego de sello hasta una sobrecarpeta dependiendo, al igual que en el caso anterior, del daño que presente la superficie de rodamiento, lo cual depende básicamente del nivel de precipitación pluvial en la zona que se localicé el camino, así mismo se llevan acabo trabajos de mantenimiento y limpieza de las obras de drenaje.

La valoración del Costo de Conservación Periódica, se realiza de la manera siguiente:

$$CCP_{xyz} = (CCPU_{xyz})L$$

donde:

$CCPU_{xyz}$ = Costo de conservación periódica por kilómetro de longitud con superficie de rodamiento x, un nivel de precipitación regional y con tipo de terreno z.

L = Longitud total del camino por rehabilitar.

La periodicidad de las acciones de conservación periódica. Dependen del tipo de superficie de rodamiento y del nivel de precipitación regional, de tal forma que la frecuencia con que se lleva a cabo la acción de conservación varía entre los 3 y 7 años para el caso de caminos revestidos, y de los 3 a 10 años para el caso de aquellos que cuentan con superficie de rodamiento pavimentada.

Es conveniente señalar que cuando se lleva a cabo la conservación periódica de un camino no se realiza la conservación rutinaria o normal, debido a que la primera incluye las actividades relacionadas con la segunda.

VI.1.3. COSTOS DEL TIEMPO DE RECORRIDO.

El tiempo de recorrido influye en la estimación de los beneficios derivados del mejoramiento o rehabilitación de la infraestructura para el transporte.

La estimación del valor del tiempo de recorrido se realiza en dos vertientes, la primera de ellas se refiere al valor del tiempo de los conductores de los distintos tipos de vehículos y la segunda al de los pasajeros. Así mismo, en el caso de transporte de personas es indispensable contar con información sobre el nivel de ocupación promedio por tipo de vehículo que integran el Tránsito Diario Promedio Anual, información que puede ser obtenida de Estudios de Origen - Destino y Pesaje, o bien mediante la expansión del aforo muestral realizado durante una semana.

VI.1.3.1. Estimación del Valor del Tiempo de Recorrido de los Conductores.

Para la estimación del valor del tiempo de los conductores de vehículos, se estima el tiempo promedio laborado por los operadores de transporte. Se realiza la ponderación del ingreso promedio de los operadores, partir de la estadística que considera el número de personas ocupadas por rango de ingreso en el rubro " Comunicaciones y Transportes".

La estadística disponible proporciona información sobre el número de horas laboradas por semana para diferentes rangos de población ocupada, así como el ingreso referido a un número determinado de salarios mínimos vigentes.

VI.1.3.2. Estimación del Valor del Tiempo de Recorrido de los Pasajeros.

Se realiza el mismo procedimiento que para el valor del tiempo de recorrido de los conductores, para la determinación del valor del tiempo de recorrido de los pasajeros.

En este caso se relacionan los rubros correspondientes al personal ocupado en actividades agropecuarias y los distintos rangos concernientes al número de horas laboradas por semana, con el propósito de estimar el tiempo promedio laborado. Así mismo se procede a calcular el ingreso promedio de los trabajadores en actividades de agricultura, ganadería, caza y pesca, relacionando el personal ocupado con los distintos rangos del ingreso.

VI.1.3.3. Determinación de los Ahorros en los Tiempos de Recorrido.

Para determinar el ahorro en tiempo de recorrido es necesario estimar el tiempo de recorrido por tipo de vehículo para las condiciones sin proyecto y con proyecto.

En ambos casos el tiempo de recorrido se obtiene mediante la expresión:

$$t_i = \frac{d}{v_i}$$

donde :

t_i = Tiempo de recorrido unitario del vehículo i (automóvil, autobús, camión)
expresado en horas

d = Longitud del camino por rehabilitar.

v_i = Velocidad de operación para un vehículo i (automóvil, autobús, camión).

La velocidad de operación para los distintos tipos de vehículos dependerá del estado del estado superficial del camino (IIR), y del tipo de terreno en que se localice el mismo.

El tiempo de recorrido anual para una composición vehicular dada y un TDPA determinado se estima de la forma siguiente:

$$T_{ij} = ((t_i * S_{c_i}) + (t_i * S_{p_i})) * O_{c_i} * TDPA_j * (\%i) * 365$$

donde:

T_{ij} = Tiempo de recorrido de los vehículos tipo i , en el año j .

t_i = Tiempo de recorrido unitario del vehículo tipo i .

Sc_i = Ingreso horario del conductor del vehículo tipo i .

Sp_i = Ingreso horario del pasajero del vehículo tipo i .

Oc_i = Nivel de ocupación del vehículo tipo de vehículo i , en el caso de camiones el nivel de ocupación del vehículo es de cero pasajeros.

$\%i$ = Porcentaje de vehículos i (automóviles, autobuses o camiones).

$TDPA_j$ = Tránsito diario promedio anual en el año j , cuya proyección en el horizonte económico del proyecto, se realiza a partir del TDPA en el año base ($TDPA_0$). Dicha proyección se realiza de la misma forma en que se propuso "Ahorros anuales y totales en costos de operación vehicular".

Los beneficios debidos a los ahorros en tiempo de recorrido por tipo de vehículo son calculados mediante la diferencia entre el valor del tiempo de recorrido de la situación sin proyecto y la situación con proyecto.

Los beneficios totales debidos a los ahorros en tiempos de recorrido, se obtienen al sumar los beneficios obtenidos por cada tipo de vehículo en forma anualizada.

VI.1.4. COSTOS DE ACCIDENTES.

Los costos de accidentes, aunque serían muy útiles para efectos de evaluación de las medidas que se tomen para prevenirlos, son poco difíciles de cuantificar, ya que intervienen diferentes factores que no es posible determinar sin embargo, dado que es necesario el tener dichos costos, es menester establecer una secuela que permita determinarlos.

Estos costos son obtenidos mediante la utilización de métodos recomendados por el consejo de Seguridad Nacional de los Estados Unidos de Norte América, los cuales se basan en costos relativos a pérdidas por salarios, servicios médicos, seguros, daños materiales y otros costos.

VI.2. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar a los usuarios seguridad y comodidad al conducir, esto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda que lo solicita. Dentro de este aspecto existe lo que se llama evaluación de las condiciones de un pavimento, la que se divide en:

1. **Evaluación Funcional:** se refiere a la calidad del servicio proporcionada a los usuarios de un pavimento por su superficie de rodamiento en un momento determinado, se realiza periódicamente (por ejemplo, anualmente) a través de algún tipo de Calificación de Servicio Actual (CSA) o de medición del perfil del camino que conduzca a la obtención de un cierto índice de servicio actual (ISA).
2. **Evaluación de Daños:** se refiere a la exploración visual y el registro de la frecuencia y severidad de los distintos tipos de daños presentes en un pavimento.
3. **Evaluación Estructural:** se refiere a la evaluación de la capacidad de una estructura de pavimento para soportar las cargas del tránsito; se realiza a través del análisis de los materiales que componen las capas del pavimento o mediante equipos que aplican una carga determinada al pavimento, midiendo su respuesta inmediata en términos de deflexiones.
4. **Evaluación de Seguridad:** en el contexto de los pavimentos, se maneja comúnmente a través de la medición de la resistencia al derrapamiento de la superficie de aquellos, aunque también puede incluir factores tales como la profundidad de las roderas que pueden afectar el control de la dirección vehicular por parte del conductor, el potencial de deslizamiento cuando el pavimento se encuentra mojado o congelado.

La agregación de estas evaluaciones sintetiza la evaluación técnica de pavimentos.

La evaluación técnica de pavimentos es generalmente dirigida hacia los siguientes objetivos:

- Selección de proyectos y estrategias de tratamientos a nivel de red.
- Identificación de requerimientos específicos de mantenimiento a nivel de proyecto.

Cada uno de estos objetivos requiere de información para su evaluación en mayor o menor grado de detalle. En el caso de requerir menor grado de detalle, un conjunto de medidas

individuales pueden comprender la información suficiente. Tal conjunto de información representa una composición de medidas combinadas de la calidad de un pavimento.

VI.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

La planeación es una metodología útil en la construcción, reconstrucción y conservación de sistemas de ingeniería civil, por contribuir de manera importante en un proceso sistemático de racionalización de decisiones. En el caso de carreteras, este proceso de toma de decisiones se organiza conforme a un plan de actividades para materializar con la infraestructura física, algún aspecto del desarrollo económico nacional, regional o estatal.

Se alcanza el concepto de proyecto, cuando este proceso de planeación se individualiza en su más pequeña expresión para implementarse, esta actividad de planear implica la recolección de antecedentes para diagnosticar, generar alternativas y evaluarlas, esto es, identificar y desarrollar un proceso continuo de toma de decisiones.

Lo anterior lleva a la necesidad de que el ingeniero civil realmente domine una serie de técnicas que le permitan mejorar su proceso de toma de decisiones en problemas de selección de alternativas, tanto en escenarios determinísticos como en probabilísticos, incluyendo situaciones donde no sea suficiente observar solamente el comportamiento de las consecuencias económicas.

El objetivo básico de este apartado es tratar de ubicar en forma breve el conjunto de técnicas de la evaluación de proyecto en el contexto de la planeación. Si adoptamos la definición de que proyecto es un plan prospectivo de una unidad de acción, capaz de materializar algún aspecto del desarrollo económico o social con el objeto de resolver necesidades humanas, podemos destacar que se está implicando la elaboración de un conjunto de antecedentes, encaminados a describir la forma o formas de asignar ciertos recursos para la realización de las obras necesarias para la producción de servicios.

El conjunto de antecedentes mencionados constituye el documento de un proyecto, el cual dependiendo de su naturaleza marcará los aspectos a describir, analizar y concluir. La estructura del contenido de un proyecto se establecerá así, conforme a las necesidades de

información para ubicar económica, social, política, técnica e institucionalmente a éste dentro del suprasistema que lo contenga, situación en la que entra en juego el criterio y el estilo del proyectista para tomar la decisión de realización de la inversión. Sin embargo, los documentos de los proyectos siguen una línea en cuanto a la agrupación de ciertos aspectos, lo cual viene a integrar estudios parciales interdependientes, con denominaciones como pudieran ser las siguientes:

- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico
- Estudio Financiero
- Estudio Económico

En general, se puede decir que cada uno de estos estudios parciales está generando opciones de acción para conseguir un objetivo único, a excepción del Estudio Económico que esta dirigido a poner de relieve las conveniencias o inconveniencias de cada una de las alternativas que surgen en esos estudios parciales.

Es el Estudio Económico precisamente, la parte del proyecto donde se ubica a la ingeniería económica como una herramienta técnica de ayuda en la definición de la mejor alternativa. No olvidar sin embargo que, el proyecto es sólo una unidad de acción del conjunto de acciones que comprende la planeación y que se aboca principalmente a la búsqueda de soluciones inteligentes. Los aspectos que se tratan en este tema son referidos en la literatura técnica como análisis económico de decisiones entre otros nombres. Tradicionalmente, la aplicación de la técnicas de análisis económico en la comparación de alternativas de diseño de ingeniería han sido referidos como ingeniería económica o economía de las obras, en el caso de ingeniería civil. Sin embargo, la necesidad de un enfoque multidisciplinario de la toma de decisiones, principalmente en el sector público ha llevado al uso de un término más general, Análisis Económico.

Para entender mejor a lo que nos lleva una evaluación económica de un proyecto, debemos hablar del valor del dinero en el tiempo, el dinero es un medio de intercambio de bienes y servicios, vale en cuanto que permite obtener satisfactores, siendo común que una persona prefiera tener un satisfactor ahora o tenerlo dentro de un año. Entonces, si alguien tiene una

suma de dinero ahora, sólo estará dispuesta a cambiarla por una suma futura mayor. La teoría del valor indica que una unidad monetaria hoy es mejor que una unidad monetaria mañana debido a que el primero puede invertirse para generar intereses; este es el primer principio financiero fundamental.

Todas las ventajas y desventajas económicas de una alternativa cualquiera, se definen solamente a través de la corriente beneficio – gastos que se generen en un horizonte de planeación dado, este flujo de efectivo se representa por un vector de cantidades de dinero ordenadas en el tiempo.

Esta situación significa que ese vector dinero en el tiempo es el modelo económico o cuantitativamente hablando, es la representación de todas las decisiones técnicas, financieras, sociales, políticas de una alternativa; el modelo será tan bueno de acuerdo a que tan bien represente los beneficios y gastos de cada alternativa.

En el caso de un proyecto de carretera, su documento se suele integrar por varios estudios parciales tales como el de mercado, el técnico y el financiero, en los cuales se pretende tomar decisiones en forma interactiva, proceso que va caracterizando al proyecto en los diferentes aspectos y que económicamente se reduce a una serie de ingresos y gastos en el tiempo, lo cual conforma un flujo de efectivo total correspondiente a ese proceso de decisiones.

Todo proyecto tiene beneficios y gastos de dinero, a lo largo del tiempo. la diferencia de estas entradas y salidas de dinero en un período determinado de tiempo se conoce como componente del flujo de efectivo; una componente de flujo de efectivo positivo indica una entrada neta de dinero en un período dado, mientras un flujo negativo implica un desembolso neto en ese intervalo de tiempo.

Como flujo de efectivo se designa al conjunto de componentes comprendidos en un horizonte de planeación. En un proyecto constituye un componente fundamental, en virtud de que nos dice la viabilidad del proyecto.

En esta parte del tema se describen brevemente algunos criterios para fijar el valor de los parámetros que forman el marco teórico – económico para la comparación de alternativas:

- Definición de las alternativas
- Horizonte de planeación
- Tasa mínima atractiva de rendimiento

Una característica común en el proceso de fijación de valores a estos parámetros, es la participación del criterio del proyectista en una gran dosis, sin olvidar que existen pautas generadas en cada caso para asignar estos valores y la posibilidad de disminuir los riesgos de equivocación, efectuando siempre análisis de sensibilidad de los resultados a variaciones de esos parámetros.

Una propuesta de inversión es un proyecto único considerando como posibilidad de inversión. Es una posible opción de decisión. Así, toda propuesta puede ser una alternativa de inversión, sin embargo, una alternativa de inversión puede estar formada por un grupo de propuestas de inversión.

Cuando la aceptación de una propuesta dentro de un grupo no tiene ningún efecto sobre la aceptación de otra propuesta, se dice que estas propuestas son independientes.

Si la aceptación de una propuesta impide la aceptación de la otra, se dice que las propuestas son mutuamente excluyentes.

Si una propuesta no puede ser seleccionada a menos que se haya elegido otra, se dice que son contingentes. La contingencia es una dependencia en sólo sentido entre un grupo de propuestas, es decir, la aceptación de una propuesta contingente depende de la aceptación de otra propuesta, pero la aceptación de esta última puede ser independiente de la propuesta contingente.

Estas interdependencias son generalmente muy complejas y suelen depender de la naturaleza de la propuesta, del dinero disponible en ese instante y de las condiciones del mercado.

La definición de las alternativas de inversión es de fundamental importancia durante el proceso de comparación para la obtención de las mejores evaluaciones y depende en gran parte de la identificación de las diferentes propuestas y de sus interdependencias.

El horizonte de planeación constituye la amplitud de visión del proyecto en el tiempo, siendo sensibles los resultados del análisis económico a la selección de este parámetro. Un horizonte demasiado amplio trae consigo pérdida de confianza de los pronósticos del flujo de efectivo y un horizonte de planeación corto corre el peligro de no registrar quizás los movimientos del flujo de efectivo más importante de un proyecto.

Es un hecho que la selección del horizonte de planeación de algunos proyectos obedecerá a los flujos de costos y en otros a los flujos de ingresos o bien a una combinación de ambos, esto es, en algunos proyectos un indicador podría ser la vida económicamente útil de los activos físicos, mientras que en otros su fijación deberá depender de sus períodos de maduración y aprendizaje.

Es conveniente mencionar que el hecho de que pudieran existir varios criterios en la fijación del horizonte de planeación la mejor decisión dependerá de la experiencia del proyectista en el campo donde se ubique al proyecto, siendo razonable realizar análisis de sensibilidad en la evaluación económica del proyecto.

La fijación de este parámetro deberá ser flexible, al comparar alternativas de inversión, siendo deseable que estas sean evaluadas en un período común de tiempo. Ese período considerado en el análisis económico se denomina horizonte de planeación.

Cuando las alternativas de inversión tienen vidas económicamente útiles iguales, es fácil compararlas dado que el horizonte de planeación lo determinan sus vidas útiles. Pero ¿cómo comparar alternativas con diferentes vidas útiles?.

Los métodos más usados son:

Mínimo común múltiplo de las vidas útiles T (MCMVU). Si se utiliza un período igual al MCMVU, se supone que el flujo de efectivo de cada alternativa se repite en las mismas condiciones hasta que se acumule un número de períodos de vidas útiles igual al horizonte de la planeación.

Este procedimiento no es siempre el más práctico, ya que si por ejemplo tuviéramos que evaluar dos alternativas con vidas de 10 y 11 años respectivamente, el mínimo común múltiplo sería 110 años, lo que nos lleva a un horizonte demasiado amplio, muy alejado de lo que es razonablemente pudiéramos pronosticar, es claro pues que no se puede usar siempre este método, se deberá utilizar en cada caso el criterio del analista para determinar el horizonte de planeación.

La vida más corta del conjunto de alternativas T_c . Si usamos como horizonte de planeación la vida económicamente más corta, tenemos que considerar de alguna forma los flujos de caja residuales de las alternativas de mayor duración en los años no considerados. Una forma de considerar los flujos de caja de los años no comprendidos en el horizonte de planeación, es suponer un valor equivalente de estos flujos en el último año del horizonte establecido.

En el caso de los componentes de la inversión, no comprendidas con el horizonte de planeación este valor equivalente en el último año se denomina valor residual.

Conviene decir que el concepto de vida económica útil, da lugar al concepto de valor de rescate significando aquel valor que posee el bien una vez transcurrida su vida útil.

La vida más larga del conjunto de alternativas T_l . Es una opción para fijar el horizonte de planeación, sin embargo, hay que tomar en cuenta el hecho que durante el período comprendido entre T_c y T_l pueden modificarse las condiciones actuales, esto es al concluir el período T_c , puede existir nuevas opciones de inversión que difícilmente pueden ser estimadas en el presente. Así, para estimar el flujo de caja de las alternativas con vidas menores que T_l , tenemos que suponer reposiciones de las inversiones en aquellas alternativas con vida económica útil mayores y de rescate en cualquier caso.

La ventaja de este método es que no es necesario hacer las comparaciones sobre el mismo periodo, ya que se considera que de repetirse la inversión en una alternativa dada, el costo anual uniforme equivalente sería el mismo.

La tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR). Es el porcentaje que se usa para hacer las equivalencias entre dinero de diferentes periodos; es la tasa de descuento derivada del costo de oportunidad del dinero; el dinero no debe invertirse en alguna alternativa si no puede tener rendimiento al menos tan grande como la TMAR, puesto que es razonable pensar que existan otras alternativas que si cumplen con esta condición.

Dado que el dinero tiene un valor en el tiempo, las empresas usan el dinero para obtener maquinas, materiales y mano de obra, elementos que bien condicionados, producen utilidades. Estas utilidades se atribuyen a la productividad del capital.

Es costo del capital es independiente del uso que se le dé, no importa si el deudor invierte el dinero o sólo lo guarda, de cualquier forma deberá pagar los mismos intereses.

Cada persona o empresa se enfrenta a múltiples alternativas de inversión, cada vez que se invierte en alguna de ellas se pierde la oportunidad de obtener los beneficios de invertir ese dinero en otra alternativa.

El interés o ganancia obtenida por cada inversión determina la tasa de interés o tasa de rendimiento proporcionada. A cada que se realice debe exigirse una tasa mínima de rendimiento, para que sea atractiva al inversionista, esta tasa se denomina tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR).

No existen reglas definidas para fijarla, sin embargo los criterios parten del costo del capital y son ponderados por algunos de los factores siguientes:

- Horizonte de planeación.
- Montos de las inversiones iniciales.
- Nuevos proyectos de inversión, reposiciones o gastos de conservación.

- Estrategia empresarial para alentar o desalentar la inversión de capital.
- Tasa de retorno de la empresa en años anteriores.
- Tasa de retorno promedio de las inversionistas con proyectos de la misma naturaleza.
- Diferencias TMAR para nuevas inversiones que para reposiciones o mejoras de proyectos existentes.

Todos los conceptos antes analizados, contribuyen a estructurar conceptualmente las medidas de efectividad económica de los proyectos. Estas medidas de efectividad económica, constituyen indicadores de tipo cuantitativo para expresar la bondad económica de los proyectos de inversión, significando con ello que tales indicadores son útiles tanto para comparar proyectos alternativos de la misma naturaleza, o bien, alternativas técnicas o financieras de una misma idea de inversión.

Las medidas de efectividad económica, se pueden dividir en tres tipos:

- Medidas cuya unidad de medida es el dinero en términos absolutos y cuya metodología se basa en comparar el dinero de ingresos y egresos correspondientes a un mismo período de tiempo, aplicando fundamentalmente el concepto de valor del dinero en el tiempo. estas medidas se conocen con los nombres siguientes: Valor presente, Valor anual, Valor futuro.
- Modelos de los cuales la unidad de medida de efectividad económica es una tasa de interés, siendo de particular importancia la tasa interna de retorno.
- Medida que expresa la relación de los ingresos y los costos, en sus valores actualizados, siendo el nombre de la metodología el cociente beneficio – costo.

Estos tres tipos de modelos de efectividad económica son consistentes en la jerarquía económica que asignen a un conjunto de proyectos de inversión, sin embargo la combinación de sus aplicaciones aporta información adicional sobre las ventajas y desventajas económicas de un proyecto determinado.

VI.3.1. MÉTODO DEL VALOR PRESENTE

Consiste en obtener un valor equivalente de los flujos de cada alternativa en el año cero. El valor presente equivalente de todos los flujos de caja de la alternativa j es:

$$VP_j(i) = \sum_{t=0}^n A_{jt}(P/F, i\%, t)$$

o de otra forma:

$$VP_j(i) = \sum_{t=0}^n \frac{A_{jt}}{(1+i)^t}$$

Donde:

$VP_j(i)$ = Valor Presente de la alternativa j usando una TMAR de 1%

n = Periodos considerados en el horizonte de planeación.

A_{jt} = Componente del flujo de caja para la alternativa j en el periodo t .

i = TMAR.

Al usar este método, la alternativa con el mayor valor presente será la recomendada.

VI.3.2. MÉTODO DEL VALOR ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE (CAUE)

El CAUE de la alternativa j con una tasa mínima atractiva de rendimiento i , se calcula como sigue:

$$CAUE_j(i) = \left[\sum_{t=0}^n A_{jt}(P/F, i\%, t) \right] (A/P, i\%, n)$$

$$CAUE_j(i) = VP_j(i) (A/P, i\%, n)$$

Donde:

CAUE_j (i) = es el costo anual uniforme equivalente de la alternativa j a una tasa i. Con este método la alternativa que tiene el mayor valor anual uniforme durante el horizonte de planeación, es la recomendada.

VI.3.3. MÉTODO DEL VALOR FUTURO

El equivalente futuro de todos los flujos de caja de la alternativa j con una TMAR de i% en un horizonte de planeación de n períodos es:

$$VF_j(i) = \sum_{t=0}^n A_{jt} (1+i)^{n-t}$$

es decir: $VF_j(i) = VF_j(i) (F/P, i\%, n)$

Este método es equivalente al del valor presente y al CAUE. La alternativa con el mayor valor futuro es la preferida.

VI.3.4. MÉTODO DEL PERÍODO DE REEMBOLSO

Este método consiste en determinar el tiempo en el que se recupera la inversión inicial a una tasa de interés del 0%. Si además de la inversión inicial no existe otro flujo de caja negativo, entonces el menor valor de m que satisface la siguiente relación:

$$\sum_{t=1}^m R_{jt} > I$$

donde: I = Inversión Inicial

R_{jt} = Ingresos recibidos por la alternativa j en el tiempo t.

Define el periodo de reembolso para la alternativa j. La alternativa que tiene el menor periodo de reembolso es la recomendada por este método.

VI.3.5. MÉTODO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

La tasa interna de retorno (TIR), se define como la tasa de interés que hace que el valor futuro (o presente anual) equivalente de los flujos de caja sea igual a cero.

La tasa interna de retorno de la alternativa j es tal, que satisface la siguiente ecuación:

$$0 = \sum_{t=0}^n A_{jt} (1 + i^* j)^{-t}$$

donde:

A_{jt} = es el flujo de efectivo de la alternativa j en el período t .

$i^* j$ = es la tasa interna de retorno de la alternativa j .

t = período de tiempo.

n = número de períodos en el horizonte de planeación.

Sea $X = (1 + i^* j)$ y sustituyendo en la ecuación anterior:

$$0 = \sum_{t=0}^n A_{jt} X^{-t}, \text{ Desarrollando la ecuación tenemos:}$$

$$0 = A_{j0} X^n + A_{j1} X^{n-1} + A_{j2} X^{n-2} + \dots + A_{jn-1} X = A_{jn}$$

ecuación que constituye un polinomio de grado n , que puede tener n raíces distintas, sin embargo, el número de raíces reales positivas de un polinomio de grado n con coeficientes reales, es menor o igual al número de cambios de signo en los coeficiente $A_{j0}, A_{j1}, \dots, A_{jn}$, puesto que la mayor parte de los flujos de caja empiezan con un flujo negativo, seguidos de flujos positivos, generalmente se presenta un solo cambio de signo y por consiguiente una sola raíz.

La TIR estrictamente no nos indica que utilidad nos produce una alternativa dada, sino la tasa de retorno de la inversión inicial y de las reinversiones de los ingresos que esta generando el proyecto.

Existen diversos métodos para obtener las raíces de un polinomio de enésimo grado, sin embargo, existe un procedimiento práctico muy popular para obtener la TIR, el cual consiste en dibujar en los ejes cartesianos los valores futuros obtenidos (eje vertical) y las tasas de interés utilizadas (eje horizontal) en forma correspondiente, al unir los puntos con una línea se observará el punto donde ésta corta al eje horizontal, cumpliéndose entonces la condición del método.

Es un hecho que no siempre es posible la aplicación del método de la TIR. Ya que frecuentemente nos encontramos con raíces múltiples, en tales casos las alternativas son prescindir de este indicador económico o intentar algunos otros métodos auxiliares.

VI.3.6. MÉTODO DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO (B/C)

Determina la relación existente entre el valor presente de los beneficios y el valor presente de los costos. En una inversión se espera que los beneficios superen a los costos, por lo que es deseable una relación B/C mayor que la unidad.

Si consideramos los flujos de caja negativos como costos y los flujos positivos como beneficios, entonces la relación B/C se define como:

$$B/C_j (i\%) = \frac{\sum_{t=0}^n B_{jt} (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_{jt} (1+i)^{-t}}$$

donde:

B_{jt} = es el flujo positivo de la alternativa j en el tiempo t.

C_{jt} = es el flujo de caja negativo en el tiempo t.

VI.4. EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTO

Los proyectos que implican la construcción de nuevas instalaciones de infraestructura son a menudo realizadas por entidades corporativas creadas especialmente con esa finalidad, la cual pasa a ser también el mecanismo para reunir fondos con destino al proyecto lo cual se obtiene mediante préstamos obtenidos en mercados comerciales y la inversión del capital social de la empresa, previa evaluación técnica del proyecto basada principalmente en los siguientes criterios:

- El valor actualizado que tengan las tasas y otros gravámenes propuestos durante el periodo de la concesión.
- El valor actualizado de los pagos directos que proponga eventualmente la autoridad contratante.
- Los costos de las actividades de diseño y construcción, los costos anuales de explotación y mantenimiento, el valor actualizado de los costos de capital y de los costos de explotación y mantenimiento
- El grado de apoyo financiero que se espere eventualmente del Estado
- La solidez de los arreglos financieros propuestos
- El grado de aceptación de las condiciones contractuales propuestas

Para llevar a cabo los criterios anteriores es necesario realizar una evaluación preliminar de la viabilidad del proyecto, en particular de los aspectos económico, como la ventajas económicas previstas, los costos estimados y los ingresos que se prevé que aportara la explotación de la infraestructura y las repercusiones ecológicas del proyecto.

Para esta evaluación se requiere una previsión precisa de los costos de capital, ingresos y los costos previstos, los gastos, impuestos y el pasivo del proyecto. A fin de prever esas cifras con exactitud y certeza y para crear un modelo financiero para el proyecto, suele ser necesario proyectar las cifras básicas de ingresos, costos y gastos de la sociedad del proyecto durante un largo periodo de tiempo de 20 años o más a fin de determinar la deuda y el capital social que el proyecto puede apoyar. Para este análisis es esencial la determinación y cuantificación de los riesgos. Por esta razón, la determinación, evaluación ,

asignación y atenuación de riesgos, son elementos cruciales, desde el punto de vista financiero, para el método de finanzas de proyectos.

Entre los riesgos más importantes y también difíciles de evaluar y atenuar figuran el "riesgo político", es decir que el gobierno o sus organismos y tribunales adopten medidas adversas particularmente en lo relativo a la concesión de licencias y permisos. "El riesgo monetario" Es decir el riesgo para el valor, transferibilidad y la convertibilidad de la moneda del país.

Los estudios anteriores deberán especificar claramente los resultados que se esperan del proyecto, justificar suficientemente la inversión, proponer una modalidad de participación del sector privado y describir una solución particular de los resultados exigidos.

Tras la determinación del futuro proyecto, concretar su prioridad relativa y asignar recursos humanos y de otro tipo para su ejecución, es aconsejable que se examinen los requisitos legales o reglamentarios para la explotación de instalaciones de infraestructura del tipo propuesto, a fin de precisar las principales autoridades públicas cuya colaboración sea necesaria para la ejecución del proyecto.

Es también importante, en esta etapa, estudiar las medidas que sean necesarias para que la autoridad contratante y demás autoridades públicas que intervengan, cumplan las obligaciones razonables previsibles en relación con el proyecto.

VI.5. ANÁLISIS SOCIO – ECONÓMICO

Bajo este nombre se realiza un estudio de las condiciones en las que se encuentra la o las poblaciones a beneficiar en el proyecto, si bien sabemos que toda inversión en obras de infraestructura aumentan el nivel de vida de las comunidades aledañas es necesario hacer una investigación más fondo de lo que requieren éstas para lograr el máximo provecho de los recursos, para esto se hace una recopilación de datos geográficos, geológicos, climatológicos, demográficos, de uso de suelo, actividades económicas principales a las que se dedique la comunidad, edades de la población económicamente activa, servicios públicos con los que cuentan así como datos históricos y estratégicos del lugar y toda la información

que se pueda obtener a fin de formar un panorama amplio e integral de las necesidades, fallas y aciertos del desarrollo de dicha población.

También se necesita obtener y analizar otro tipo de información como es:

- Otras vías de acceso al poblado y su importancia o dependencia con éstas.
- Ubicar los lugares de donde se provén de alimentos y bebidas para consumo interno.
- Ubicar las zonas de mercado o distribución de su producción.
- Ubicar sus centros de educación, trabajo, justicia, médicos y recreativos, su distribución y su lejanía con respecto a las zonas habitacionales.

Solo mediante este tipo de análisis es posible observar con claridad las necesidades de una población, por ejemplo, el detectar que existe emigración por parte de las personas en edad productiva, no por falta potencial productivo en la zona sino por no contar con medios de comunicación, en este caso carreteras en buen estado, para sacar al mercado su producción.

De este análisis se definen los impactos positivos y negativos que tendrá la aplicación de cada una de las alternativas tanto en el aspecto social como en el económico así como también el impacto que se tendría en la zona de no realizar ningún proyecto.

CONCLUSIONES

Participación del Usuario.

Situación: Los ingenieros deben ver a las carreteras como un negocio comercial que proporciona un servicio al usuario, el cual debe ser visto como un cliente que paga una importante cantidad de dinero por usar el servicio carretero. Es difícil considerar al usuario como un cliente debido a que, con excepción de los impuestos o de las cuotas de peaje, no hay un pago directo por el servicio. El concepto de negocio es también difícil cuando se ejerce mucho control por parte de los políticos en vez de los administradores de las carreteras. Lo anterior ocasiona fricciones entre el ingeniero y el usuario debido a que el ingeniero intenta conservar las carreteras con un presupuesto reducido que definen los políticos, mientras que el usuario está pagando más y esperando un mejor nivel de servicio. Las fricciones aumentan cuando el usuario no está de acuerdo con las normas y técnicas de mantenimiento utilizadas por el ingeniero.

Solución: Debemos reforzar la comunicación y el contacto con el usuario, viendo esto como una oportunidad y no como un posible conflicto. Al mismo tiempo desarrollar una alianza entre el ingeniero y el usuario que propicie que los políticos reciban una mejor información acerca de las necesidades y prioridades del mantenimiento. Los usuarios tendrán que pagar más en el futuro y por consiguiente exigir más, lo cual implica que crecerá la demanda de información oportuna.

Indicadores de Funcionamiento.

Situación: La medición del funcionamiento de las carreteras y sus indicadores sirven para decirle al usuario lo que puede esperar a cambio de sus contribuciones, sea a través de impuestos o de cuotas de peaje, y permitirle evaluar el funcionamiento de la carretera. La mayoría de los indicadores de funcionamiento son numéricos (accidentes, velocidad, volumen de tránsito, etc.), pero se tiende a admitir las respuestas subjetivas de los usuarios. Los usuarios se interesan particularmente por los indicadores relativos a la regularidad de la

Conclusiones

superficie de rodamiento, a la confiabilidad de los tiempos de recorrido y a los riesgos de accidentes o retardos.

Solución: Es necesario estar de acuerdo con el usuario respecto a los indicadores de funcionamiento que deban utilizarse para que tengan confianza en la información que pudiera provenir de una colección independiente de datos. Los niveles de servicio y los indicadores de funcionamiento deben estar integrados entre sí. Para el caso de un funcionamiento deficiente, debiera haber alguna forma de penalización, así como una compensación para los usuarios. El establecimiento de los indicadores de funcionamiento se facilitará con la adopción de una cultura de empresa y con una base financiera más independiente, asociada a un control político menos fuerte.

Mantenimiento Preventivo.

Situación: Un buen mantenimiento busca prevenir cualquier interrupción imprevista y permite que la reconstrucción o el reforzamiento sean programados de una manera rentable. El mantenimiento rutinario ha sido limitado muchas veces, ya que los políticos no ven resultados inmediatos (quizá la más grave consecuencia de ello sea no poder conservar apropiadamente los sistemas de drenaje para proteger la carretera contra el agua). El mantenimiento periódico ha sido también reducido o enfocado más específicamente pero esto hace que se requiera de buenos métodos de evaluación de la condición de la carretera. Ha habido tendencia hacia el mantenimiento reactivo y de emergencia a corto plazo, muy diferente a un mantenimiento preventivo planificado. Esto ahorra dinero en el corto plazo pero resulta muy caro en el largo plazo. Los grandes trabajos de mantenimiento o de reconstrucción son costosos y complican mucho el flujo vehicular, por lo que deben evitarse a menos que así lo demanden las condiciones de la carretera.

Solución: Es necesario redescubrir las bases de un buen mantenimiento: la filosofía de dar atención justo a tiempo y la conciencia de que el drenaje juega un papel esencial en la resistencia de una carretera. Debe darse énfasis al mantenimiento preventivo planificado, teniendo alta prioridad la limpieza de alcantarillas, el sellado de grietas y los tratamientos superficiales, logrando restablecerse la confianza del público en todo el proceso de mantenimiento. Un máximo aprovechamiento de las carreteras proporcionará una mayor

presión para que se realice un mantenimiento adecuado y efectivo, lo que requerirá de un financiamiento y presupuesto estables.

Capacitación para la Conservación.

Situación: Cualquier intento de mejorar la calidad de las obras de conservación o de introducir nuevas ideas, fracasará a menos que todas las personas directamente involucradas reciban el apoyo y la capacitación necesarios; esto debido a que la capacitación para las tareas del mantenimiento carretero y su administración, no ha recibido el reconocimiento ni la prioridad que requiere. Generalmente se supone que el conocimiento y habilidades en materia de conservación de carreteras se adquieren por la experiencia, más que por la capacitación formal.

Solución: Admitir la necesidad de una continua capacitación y de conocimientos más amplios, propiciando infraestructura y presupuestos para tal fin. La capacitación deberá ser una prioridad nacional, por lo que hay que dar incentivos para la capacitación y para los que se capaciten, reconociendo y recompensando a los trabajadores de oficina y de campo que así lo hagan. Requerir a los contratistas programas de capacitación de su personal.

Planeación y Presupuesto.

Situación: El ingeniero debe ser capaz de demostrar su eficiencia tanto en la organización de la oficina de carreteras como en la administración de la conservación de éstas. Un buen sistema contable permitirá conocer y registrar todos los costos de conservación. Es imposible mejorar el valor del dinero sin un pleno conocimiento de los costos. Todos los gastos de conservación deben asociarse a necesidades y prioridades claramente definidas. Ello requiere la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento, el cual demostrará a las autoridades que el ingeniero hará una buena inversión de los recursos. Si no se establece la credibilidad técnica y administrativa del ingeniero, será difícil ejercer influencia en las autoridades.

Solución: Será necesario sacar más provecho a las carreteras existentes, aunque ello aumentará los problemas de conservación. El mantenimiento tendrá que estar más

estrechamente integrado a la administración del tránsito, a fin de que se minimicen los retrasos al usuario. Los costos se verán incrementados debido a la necesidad de utilizar materiales de mayor calidad y más durables, de tener que hacer más rápido los trabajos para evitar retrasos al usuario, y a las mejores condiciones en materia de seguridad y de medio ambiente. Las autoridades enfrentarán mayor demanda de presupuesto para otros requerimientos de la comunidad y tendrán dificultades para obtener financiamiento público.

Sistemas de Calidad.

Situación: La política de buscar el menor costo sin tomar en cuenta la calidad generará obras de bajas especificaciones y conducirá a fallas imprevistas. Los usuarios de las carreteras están exigiendo ahora confiabilidad y previsibilidad en el funcionamiento de las mismas, lo cual significa para los ingenieros garantizar que se alcance la calidad requerida de un manera consistente y regular. El aseguramiento de la calidad ha ganado un reconocimiento internacional y se practica en la mayoría de los países, sin embargo debe recalarse que la calidad es algo más que la introducción de sistemas y que requiere de un verdadero compromiso por parte de cada uno de los que componen la organización, así como de los contratistas y proveedores. Debe disponerse de recursos adecuados, tanto financieros como humanos, para alcanzar los niveles especificados de calidad.

Solución: Los usuarios tendrán cada vez más influencia en la procuración de calidad. Sería difícil operar los sistemas de calidad en un medio político en que los recursos fueran controlados sin la consideración de resultados. Debe haber flexibilidad y certidumbre financiera para mantener los sistemas de calidad y para responder a las necesidades de los usuarios. Deberá ser más fuerte la relación entre la calidad y la capacitación.

BIBLIOGRAFÍA

Arredondo Ortiz R.E.; *"Criterio para Jerarquizar la Conservación de Carreteras con Base en su Importancia Económica"*; Instituto Mexicano del Transporte; Querétaro, México, 1996.

Cal Rafael, Mayor R., Cárdenas G. James; *"Fundamentos y Aplicaciones de Ingeniería de Tránsito"*; Ed. LIMUSA; México, 1994.

Dahlhaus Parkman Enrique; *"Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico"*; Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua; D.F., México, 1999.

De Solminihaç T. Hernán; *"Gestión de Infraestructura Vial"*; Ed. Universidad Autónoma de Chile; Chile, 2000.

Diplomado en Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras; *Modulo I: "Planificación y Proyecto"*; Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua; D.F., México, 2001.

Dirección General de Conservación de Carreteras; *"Semblanza de la D.G.C.C."*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 2001.

García Altamirano Gabriel; *"Apuntes de Estructuras de Pavimento"*; U.N.A.M., Facultad de Ingeniería; D.F., México, 2000.

Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso; *"Mecánica de Suelos – Fundamentos de la Mecánica de Suelos", Tomo I*; Ed. Trillas, D.F., México, 1982.

Lazo Margáin Leonardo, Sánchez Ángeles Gilberto; *"Una Fisonomía de la Ingeniería de Tránsito"*; Ed. Miguel Ángel Porrúa, S.A.; D.F., México, 1981.

Bibliografía

López Estrada L.C., Mendoza Díaz A.; *"Evaluación Estructural No Destructiva en Pavimentos"*; Instituto Mexicano del Transporte; Querétaro, México, 1998.

Mondragón Rivera Cándido, Ricardez Valencia Hugo; *"Manual Practico para Calculo de Drenaje en Carreteras"*; D.F., México, 1999.

Olivera Bustamante Fernando; *"Estructuración de Vías Terrestres"*; Ed. C.E.C.S.A.; D.F., México, 1994.

Ramírez Watanabe Rafael Roberto; *"Estrategias de Conservación y Mantenimiento para la Red Carretera Nacional"*, Tesis Profesional; U.N.A.M., Facultad de Ingeniería; D.F., México, 2000.

Rico Castillo Alfonso, Del Castillo Hermito; *"La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", Volumen 1*; Ed. Trillas; D.F., México, 1998.

Rico Rodríguez Alfonso, Mendoza Díaz Alberto; *"Una Estrategia para la Conservación de la Red Carretera"*; Instituto Mexicano del Transporte, Publicación-Técnica No 11; Querétaro, México, 1995

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *"Normas de Servicios Técnicos.- Proyecto Geométrico: Carreteras"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1984.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Servicios Técnicos; *"Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1971.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección de Servicios Técnicos; *"Datos Viales 2001"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 2001.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección de Servicios Técnicos; *"Estudios de Origen, Destino, Peso y Dimensiones 1996"*, Tomo I y II; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1997.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección de Servicios Técnicos; *"Métodos Hidrológicos para la Previsión de Escurremientos"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1992.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección de Servicios Técnicos; *"Isoyetas de Intensidad-Duración-Frecuencia República Mexicana"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1990.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección de Servicios Técnicos, Instituto Mexicano del Transporte; *"Normativa para la Infraestructura del Transporte 2000"*, Proyecto: Carreteras: *"Estudios: Estudios Hidráulicos - Hidrológicos para Puentes"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 2000.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes; *"Manual de Organización General"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1998.

Secretaría de Obras Públicas; *"Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras"*; Ed. Secretaría de Obras Públicas; D.F., México, 1976.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes; *"Reglamento de Pesos y Dimensiones de Vehículos"*; Ed. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; D.F., México, 1997.

Torres Vargas Guillermo, Islas Ribera Víctor M., Leliz Zaragoza Martha; *"Criterios que Intervienen en la Metodología de la Evaluación Económica de Rehabilitación de Caminos Rurales"*; Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No 147; Querétaro, México, 2000.