



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTAN:

LEYDI GUZMÁN ESPINO

JESÚS OCTAVIO FLORES ESPÍNDOLA

BRAULIO VALENZO TORRES

FAUSTINO ZARAGOZA LÓPEZ



DIRECTOR DE TESIS:

ING. NARCISO TALAMANTES CHÁVEZ

MÉXICO, D.F., 2009

ÍNDICE

ÍNDICE

Página

INTRODUCCIÓN	INTRODUCCIÓN - 1
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	I – 1
I.1 SITUACIÓN DE LA CARRETERA EXISTENTE	I – 2
I.2 JUSTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA	I – 3
I.3 CLASIFICACIÓN Y FINANCIAMIENTO	I – 4
I.3.1 Clases de caminos	I – 4
I.3.1.1 Tipos de clasificación de las carreteras	I – 4
I.3.1.1.1 Clasificación por su transitabilidad	I – 4
I.3.1.1.2 Clasificación administrativa	I – 5
I.3.1.1.3 Clasificación técnica oficial	I – 6
I.3.1.2 Velocidades	I – 7
I.3.1.2.1 Relación entre la velocidad directriz	I – 7
I.3.1.2.2 Velocidad de marcha	I – 8
I.3.1.2.3 Velocidad de operación	I – 8
I.3.1.2.4 Relación entre las velocidades de operación y de marcha	I – 10
I.3.1.2.5 Elección de la velocidad directriz	I – 11
I.3.1.2.6 Variaciones de la velocidad directriz	I – 13
I.3.2 Vehículos: tamaños y cargas de diseño	I – 13
I.3.2.1 Cargas de proyecto	I – 15
I.3.2.2 Cargas por rueda para diseño.	I – 19
I.3.2.3 Diseño de pavimento flexible	I – 22
I.3.3 Esquema de las concesiones para carreteras	I – 24
I.3.3.1 Carreteras para el desarrollo de México	I – 24
I.3.3.2 Nuevo esquema de concesionamiento	I – 25
I.3.3.2.1 Concesionamiento de una carretera	I – 26
I.3.3.2.2 Consecuencias del esquema anterior	I – 28
I.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	I – 32
I.4.1 Puntos más importantes de la red principal	I – 33
I.4.2 Características importantes del terreno	I – 38
I.4.3 Descripción de los principales conceptos	I – 39
I.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	I – 40
I.5.1 Análisis político-social-administrativo	I – 41
I.5.2 Análisis económico	I – 43
 CAPÍTULO II ELECCIÓN DE RUTA	
II.1 SELECCIÓN DE RUTA	II – 2
II.1.1 Selección de ruta escala 1:50,000	II – 3
II.2 ALTERNATIVAS PROPUESTAS Y SELECCIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA	II – 4
II.2.1 Trabajos de campo	II – 4

	<u>Página</u>
II.2.1.1 Reconocimiento aéreo	II – 4
II.2.1.2 Reconocimiento terrestre	II – 5
II.2.1.3 Vuelo fotográfico escala 1:25,000	II – 5
II.2.1.4 Control terrestre	II – 7
II.2.2 Restitución fotogramétrica	II – 8
II.2.3 Elementos del proyecto Geométrico	II – 9
II.2.3.1 Alineamiento Vertical	II – 10
II.2.3.2 Alineamiento Horizontal	II – 15
II.2.3.3 Sección transversal de una obra vial	II – 20
II.2.3.4 Normas generales	II – 22
II.2.4 Metodología del anteproyecto	II – 28
II.2.5 Selección de la ruta optima	II – 30
II.3 RUTA ACEPTADA	II – 33
II.3.1 El Proyecto y su entorno	II – 33
II.3.2 Proyectos en la zona de Influencia	II – 34
II.3.3 Esquema del flujo vehicular en la red de influencia	II – 34
II.3.4 Autopistas de la red de influencia	II – 35
II.3.5 Localización de aforos	II – 36
II.3.6 Pronósticos de tránsito para el horizonte del proyecto	II – 37
II.3.7 Beneficios de la Autopista Toluca–Naucalpan respecto a las vías actuales	II – 38
CAPITULO III ESTUDIOS PRELIMINARES	III – 1
III.1 ESTUDIO GEOTÉCNICO	III – 1
III.1.1 Fotointerpretación geológica	III – 2
III.1.2 Elaboración del informe geotécnico	III – 3
III.1.3 Geología del lugar	III – 4
III.1.4 Geología aplicada	III – 6
III.1.4.1 Formato para la relación de materiales	III – 6
III.1.4.2 Localización de bancos de préstamo de materiales	III – 24
III.1.4.2.1 Banco de préstamos de materiales	III – 27
III.1.4.2.2 Tratamiento a los Materiales Procedentes de los Bancos	III – 36
III. 2 ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO	III – 39
III.2.1 Generalidades	III – 39
III.2.1.1 Clasificación de drenaje	III – 41
III.2.1.2 Ciclo hidrológico	III – 41
III.2.1.3 La cuenca de drenaje	III – 42
III.2.1.4 Precipitación	III – 44
III.2.2 Datos hidrológicos	III – 48
III.2.2.1 Cálculo del gasto del diseño	III – 48
III.2.2.1.1 Fórmula de Talbot	III – 49

	<u>Página</u>
III.2.2.1.2 Fórmula de California	III – 51
III.2.2.1.3 Método racional	III – 52
III.2.2.1.4 Método de sección-pendiente	III – 56
III.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	III – 73
III.3.1 Descripción, delimitación y justificación del sistema ambiental regional	III – 73
III.3.2 Caracterización y análisis del sistema ambiental Regional	III – 76
III.3.2.1 Medio Físico	III – 76
III.3.2.1.1 Clima	III – 76
III.3.2.1.2 Geología y geomorfología	III – 77
III.3.2.1.3 Edafología	III – 77
III.3.2.1.4 Escurrimiento en el Sistema Ambiental Regional	III – 78
III.3.2.2 Medio Biótico	III – 79
III.3.2.3 Medio Socioeconómico	III – 90
III.3.2.3.1 Perfil sociodemográfico	III – 90
III.3.2.3.2 Demografía	III – 91
III.3.2.3.3 Evolución demográfica	III – 92
III.3.2.3.4 Infraestructura social y de Comunicaciones	III – 92
III.3.2.3.5 Actividad Económica	III – 93
III.3.2.4 Paisaje	III – 94
III.3.2.5 Diagnóstico Ambiental	III – 94
III.3.3 Identificación, Justificación, Descripción y Evaluación de los Impactos Ambientales del sistema ambiental regional	III – 96
III.3.3.1 Identificación de Impactos Ambientales	III – 101
III.3.3.2 Descripción de impactos ambientales	III – 104
III.3.3.3 Evaluación de los impactos ambientales y selección de indicadores	III – 108
III.3.3.4 Estrategia para la prevención y mitigación de impactos ambientales del sistema ambiental regional	III – 111
CAPITULO IV ANTEPROYECTO	IV – 1
IV.1 ANTEPROYECTO DE TERRACERÍAS	IV – 2
IV.1.1 Definición de terracerías y partes que las conforman.	IV – 4
IV.1.2 Finalidades y características de terracerías	IV – 4
IV.1.3 Construcción del cuerpo del terraplén	IV – 6
IV.1.4 Capa subrasante	IV – 6
IV.1.5 Anteproyecto geométrico de la capa subrasante	IV – 7
IV.1.5.1 Condiciones topográficas	IV – 8
IV.1.5.2 Condiciones geotécnica	IV – 10

	<u>Página</u>
IV.1.6. Taludes en terraplenes y cortes de caminos	IV – 11
IV.1.7 Uso de la aplicación de cómputo (software) SISCAR para cálculo de terracerías	IV – 11
IV.1.7.1 Información requerida para el cálculo	IV – 12
IV.1.7.2 resultados del cálculo	IV – 19
IV.1.7.3 Calculo de casos especiales	IV – 21
IV.1.8 Alineamiento horizontal y vertical	IV – 22
IV.1.9 Diagrama de curva masa	IV – 23
IV.1.9.1 Curva Masa	IV – 23
IV.1.10 Secciones Constructivas	IV – 30
IV.1.11 Cantidades de obra	IV – 33
IV.2 Anteproyecto de pavimentos	IV – 41
IV.2.1 Características de los materiales para carpetas asfálticas	IV – 43
IV.2.2 Contenido óptimo de asfalto	IV – 44
IV.2.3 Cemento asfáltico	IV – 46
IV.2.4 Rebajados y emulsiones asfálticas	IV – 46
IV.2.5 Procedimiento de diseño del pavimento	IV – 47
IV.2.5.1 Análisis general del tránsito	IV – 47
IV.2.6 Procedimiento constructivo para pavimento flexible	IV – 54
IV.2.7 Cantidades de obra para pavimentos	IV – 59
IV.3 Anteproyecto de drenaje	IV – 60
IV.3.1 Drenaje superficial	IV – 61
IV.3.1.1 Diseño de alcantarillas	IV – 65
IV.3.2 Drenaje subterráneo	IV – 75
IV.4 Anteproyecto de estructuras	IV – 81
IV.4.1 Puentes	IV – 81
IV.4.1.1 Especificaciones para diseño de puentes.	IV – 83
IV.4.1.2 Cimentación de puentes carreteros	IV – 89
IV.4.1.2.1 Infraestructura de puentes	IV – 89
IV.4.1.2.2 Exploraciones previas	IV – 90
IV.4.1.2.3 Teorías de capacidad de carga	IV – 93
IV.4.1.2.4 Tipos de cimentación	IV – 95
IV.4.1.3 Subestructura y superestructura	IV – 98
IV.4.1.3.1 Subestructura: estribos y pilas	IV – 99
IV.4.1.3.2 Superestructura de puentes	IV – 102
IV.4.1.3.3 Elección de superestructura para el anteproyecto	IV – 103
IV.4.1.4 Cantidades de obra para puentes	IV – 107
IV.4.2. Entronques	IV – 109
IV.4.2.1 Consideraciones principales para diseño de entronques a desnivel	IV – 110

	<u>Página</u>
IV.4.2.2 Tipos de entronques	IV – 112
IV.4.2.3 Entronques para el anteproyecto	IV – 117
IV.4.3 Túneles	IV – 119
IV.4.3.1 Estudios en túneles	IV – 119
IV.4.3.2 Anteproyecto de túneles	IV – 121
IV.4.3.3 Cantidades de obra para túneles	IV – 121
IV.5 Señalamiento	IV – 123
IV.5.1 Señalamiento vertical	IV – 124
IV.5.2 Señalamiento horizontal	IV – 136
IV.5.3 Cantidades de obra para señalización	IV – 141
CAPITULO V ESTUDIO ECONÓMICO	
V.1 ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE CONCEPTOS	V – 2
V.1.1 Análisis de precios unitarios	V – 3
V.1.1.1 Costo directo de la mano de obra	V – 4
V.1.1.2 Costo directo de la maquinaria	V – 9
V.1.1.3 Costo directo de los materiales	V – 19
V.1.1.4 Costos indirectos	V – 20
V.1.1.5 Costos por financiamiento	V – 23
V.1.1.6 Costos por utilidad	V – 24
V.1.2 Integración de los precios unitarios	V – 25
V.2 COSTOS PARAMÉTRICOS	V – 55
V.2.1 Definición y objetivo	V – 55
V.2.2. Elección de parámetros	V – 56
V.2.3. Análisis de los resultados obtenidos	V – 58
V.3 PRESUPUESTO	V – 62
V.3.1 Comparación de presupuestos	V – 63
V.3.2 Adecuación del presupuesto	V – 64
V.3.3 Programa de obra	V – 66
V.3.4 Contratos más usuales	V – 68
CAPITULO VI CONCLUSIONES	VI – 1
BIBLIOGRAFÍA	BIBLIOGRAFÍA – 1
ANEXOS	
Anexo “A” PLANOS FINALES DEL ANTEPROYECTO	Anexo “A” – 1
Anexo “B” LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS Y PLANOS DE PUENTES TIPO	Anexo “B” – 1
Anexo “C” PLANOS DE ENTRONQUES	Anexo “C” – 1
Anexo “D” PLANOS DE TÚNELES	Anexo “D” – 1
Anexo “E” PLANOS DE SEÑALAMIENTO	Anexo “E” – 1
Anexo “F” CARTA GEOLÓGICA	Anexo “F” – 1

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La presente tesis desarrolla el tema “Anteproyecto de una Autopista de Cuatro Carriles” la cual se ubicará en el Estado de México. La infraestructura carretera con que cuenta el Estado de México es insuficiente en la actualidad para atender el desarrollo industrial, comercial y demográfico que desde mediados del siglo pasado se ha venido presentado. La Ciudad de Toluca al igual que la Ciudad de México presenta un acelerado crecimiento urbano por lo que demanda servicios de transporte, salud, asistencia social, educación, cultura, comercio y abasto.

El presente trabajo tiene como finalidad analizar el desarrollo de un anteproyecto con altas posibilidades de construirse, proporcionando una perspectiva actual sobre la situación de este tipo de estudios en México.

Ante la falta de espacio para continuar con la construcción de la infraestructura demandada se piensa que ambas Ciudades se pueden complementar poniendo a disposición de su población su respectiva infraestructura, por lo que es necesario conectarlas mediante vías de comunicación más eficientes que acorten los tiempos y las distancias de recorrido.

El Gobierno del Estado de México y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través del Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares del Estado de México tiene contemplada una nueva Autopista de Toluca a Naucalpan en el Estado de México con la modalidad de concesión y cuya finalidad será la de tener mejores condiciones geométricas que el camino actual y para beneficio de los usuarios de esta vía en cuanto a rapidez, seguridad y comodidad. Esta autopista es importante debido a que conduce al Aeropuerto de Toluca y a la Ciudad de Toluca con una longitud aproximada de 33.67 km y será una ruta alterna a la actual Autopista Lechería-Toluca.

Uno de los factores que ha motivado a las autoridades del Estado de México a la construcción de la autopista es que el aeropuerto de Toluca se encuentra subutilizado y se requiere acercar más la parte poniente de la Zona Metropolitana de Ciudad de México. Esta zona tiene una alta densidad de población, comercial e industrial. Para el desarrollo del Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles se

cuenta con manuales técnicos, planos de carreteras y la normatividad expedida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) del Gobierno Federal y otras instancias como: el Instituto de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI) y la amplia experiencia de los profesionales de la Ingeniería Civil.

La tesis consta de cinco capítulos en los que se tratan los principios básicos y un capítulo de conclusiones. En los primeros cinco se incluyen los estudios necesarios, la propuesta de alternativas y el desarrollo del anteproyecto. Se describen las características técnicas así como los problemas comunes que se presentan al hacer estudios de este tipo.

El objetivo principal de la elaboración del trabajo es realizar un anteproyecto en el cual se estudian y evalúan los elementos más significativos a nivel de gabinete con la finalidad de obtener volúmenes aproximados los cuales servirán para la elaboración de un presupuesto paramétrico de obra.

En el capítulo I “Antecedentes” se describen las definiciones de carreteras, tipos de transporte, sistemas administrativos y de concesión de vías terrestres.

En el capítulo II “Elección de Ruta” se plantean las rutas posibles a estudiar entre la Ciudad de Toluca y el municipio de Naucalpan, se describe el proceso con el cual se obtiene la información para el trazo de la línea. Se continúa con la elección de la ruta que presente mayores ventajas técnicas, ambientales, sociales, etc. Una vez que se define cual será la línea a estudiar se comienza por realizar una evaluación económica, un estudio de tránsito y se continúa con los estudios preliminares, que se desarrolla en el siguiente capítulo.

El Capítulo III “Estudios Preliminares” abarca tres de los aspectos del proyecto de vías terrestres: el estudio geotécnico, hidrológico y de impacto ambiental que son fundamentales para la realización del anteproyecto de la autopista de cuatro carriles Toluca-Naucalpan.

El estudio geotécnico describe las características de los materiales existentes en el sitio mediante un conjunto de técnicas y procedimientos que se utilizan para reconstruir su historia cuya finalidad es llegar a conocer las características

geotécnicas y los problemas que se presenten en el tramo donde deberá quedar alojado el trazo de la carretera.

En el estudio hidrológico cuya finalidad es conocer los caudales en el régimen natural de una avenida máxima en la cuenca vertiente al tramo estudiado y tener los elementos necesarios para el cálculo de los caudales de diseño de obras de drenaje.

En el estudio de impacto ambiental se toma en consideración las modificaciones que sufre al medio ambiente por la ejecución y operación de un camino ya que se provoca tanto cambios benéficos como adversos al equilibrio natural del lugar. En el caso de la zona donde se proyecta la autopista, se considera que no se ha escapado del deterioro por la acción del hombre, por lo que las bases del estudio de impacto ambiental es con apego a la información estadística, cartográfica que cuentan los organismos gubernamentales encargados de generarla.

Una vez definida la ruta sobre la cual se desarrollará la Autopista y se conoce el trazo horizontal y vertical se procede a desarrollar el Capítulo IV “Anteproyecto”. El objetivo de este capítulo considera el anteproyecto de una autopista con ancho de corona de 21 m, dos carriles de circulación de 3.5 m en cada sentido y acotamientos laterales de 2.5 m. Sobre estas especificaciones se debe desarrollar los elementos que definen el camino, tal como los volúmenes de terracerías y pavimentos así como la ubicación y solución a estructuras tales como puentes, viaductos, cruces con caminos existentes y entronques. En este mismo capítulo se presenta el tema de drenaje partiendo del estudio hidrológico tratado en el capítulo III “Estudios Preliminares”. Con el análisis del trazo vertical y horizontal, tomando en cuenta la normatividad existente se propone el anteproyecto de señalización. Finalmente considerando la solución particular a los temas mencionados se generan las cantidades de trabajo significativas con objeto de generar un catálogo de conceptos apropiado a los alcances de este Anteproyecto.

En el Capítulo V “Estudio Económico” a manera de ejercicio se presenta el análisis de precio unitario integrado por la suma de los costos directos y de los costos indirectos. Posteriormente se presentan dos alternativas para determinar el costo del anteproyecto. La primera con base a un catálogo de conceptos con sus

respectivos análisis de precios unitarios. La segunda mediante costos paramétricos en base a proyectos realizados anteriormente. A partir de estos dos métodos se realiza una comparativa y se elige la mejor opción. En el Capítulo VI “Conclusiones” se determina que el desarrollo del Proyecto de Autopista de Cuatro Carriles es de un gran beneficio para la Región Norponiente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ya que va a vincular esta zona con la ciudad de Toluca en forma más directa, para un intercambio de servicios y mercancías, sin tener que adentrarse en territorio del Distrito Federal con alta densidad de población y conflictos viales. Además se concluye que el proyecto de la Autopista de Cuatro Carriles de Toluca–Naucalpan, se puede proyectar sobre terreno montañoso y de lomeríos, con un presupuesto accesible para el concesionario, con un periodo el retorno de la inversión menor o igual al de la vida útil de la Autopista y un mantenimiento conservación poco oneroso. También se advierte que con la normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y las cartas Geológicas y la estadística del Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI), Información de otros proyectos desarrollados en la región donde proyecta la Autopista de Cuatro Carriles y la formación adquirida en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se puede desarrollar un Anteproyecto de Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan. Dadas la especificación y la cantidad de información que acompaña a cada uno de los planos que conforman el Anteproyecto de Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan.

Anexo “A” Se presentan 7 planos del trazo vertical y horizontal del Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles de Toluca–Naucalpan que van de los tramos: km 0+325 al km 5+000; km 5+000 al km 10+000; km10+000 al km 15+000; km 15+000 al km 20+000; km 20+000 al km 25+000; km 25+000 al km 30+000; km 30+000 al km 33+670.

Anexo “B” Cinco plantas sobre la ubicación de estructuras: En el km 5+850 Puente del entronque Santa Ana; km 8+050 Paso Inferior Vehicular Tipo (PIV); km 10+960 Paso Superior Vehicular Tipo (PSV); km 17+200 Puente y km 30+400 Puente del entronque Xonacatlán,

Anexo “C” Tres plantas de los entronques a desnivel de: Xonacatlán, Santa Ana y Naucalpan.

Anexo “D” Planta del Túnel del km 29+880.

Anexo “E” Planta de Señalización en el tramo del km 25+000 al km 30+000.

Anexo “F” Cartas Geológicas

La bibliografía va desde textos básicos para la formación del Ingeniero Civil, la normatividad vigente, lo actual en esquemas de concesión y los Sitios de Internet referente a las vías terrestres.

En el siguiente Capítulo I “Antecedentes” se dan a conocer las necesidades de dotar a esta zona del Estado de México de un proyecto vial de este tipo, se enumeran los aspectos que deben de contemplar los inversionistas para participar en el proyecto que va ser concesionado, al proyectista se le dan ha conocer las características del terreno y los aspectos técnicos que debe considerar para el desarrollo del Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles de Toluca–Naucalpan.

Este trabajo abarca prácticamente todos los lineamientos propios de un anteproyecto al grado que queda los conceptos prioritario de un proyecto a nivel ejecutivo debido a que la el normatividad y del programa Sistema Carretero (SISCAR) expedida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para los diferentes tipos de carreteras A, B y C, que marca los requisitos que requiere los proyectos de vías para el autotransporte así como el desarrollo informático con que el que se cuenta en la actualidad ; lo anterior aunado a que se tienen con cartas geológicas de todas la república Mexicana a escalas que permiten que se proyecten carreteras; que con los estudios de campo en la mayoría de los casos solo se confirma la elección de la ruta y las característica Geológicas del suelo considerados en el anteproyecto.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

CAPITULO I

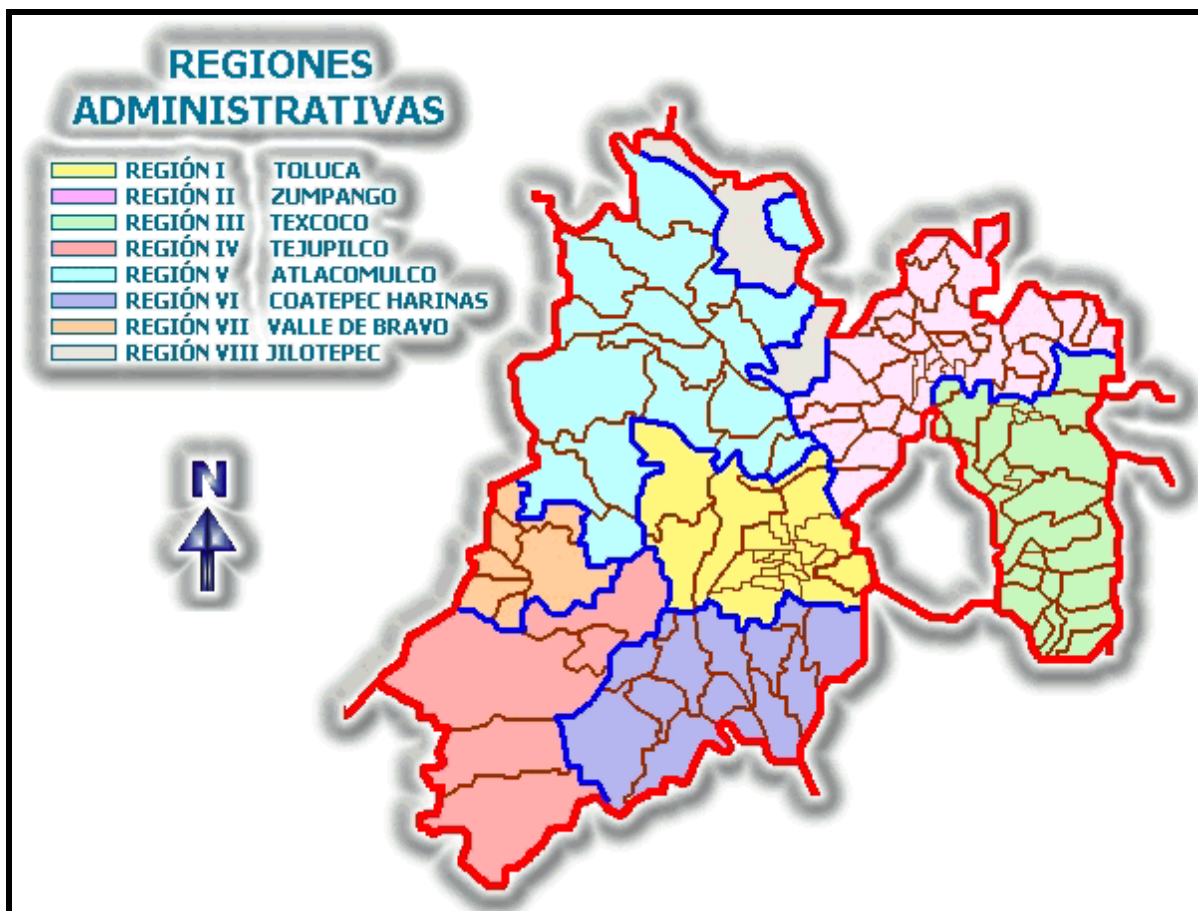
ANTECEDENTES

Ante la necesidad de vías de comunicación terrestre más rápidas entre la Zona Metropolitana Poniente de la Ciudad de México con la Metrópoli de Toluca el presente capítulo da los lineamientos para el proyecto, planeación, construcción y administración de una Autopista de Cuatro Carriles, con apego a los requisitos especificados por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT). La vía de comunicación consiste en la construcción de una autopista de peaje que permita una comunicación eficiente entre la Ciudad de Toluca (a partir del Libramiento Noreste, en construcción) y Naucalpan de Juárez, ello permitirá al tránsito de largo alcance que no tiene como destino la ciudad de Toluca, librar esta ciudad, o bien dirigirse hacia la Autopista México–Tepic, vía Atlacomulco. El proyecto de la carretera contempla las necesarias obras de drenaje menor, entronques, pasos a desnivel, puentes y señalamiento, necesarios para un correcto funcionamiento. El proyecto sigue las especificaciones de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), para la carretera tipo A4, con una velocidad de diseño de 90 a 110 km/hr, que se desarrollará dentro de un derecho de vía de 40 m, sobre terreno de lomerío suave a montañoso que sustenta agricultura en la primera mitad y terrenos forestales o de vocación forestal en la segunda.

El Estado de México está dividido en cinco regiones naturales, de acuerdo a sus accidentes y relievéis geográficos, características del suelo y del clima, las cuales son los volcanes y Valle de Anáhuac; los llanos y lomeríos del norte; las cumbres occidentales; la depresión del rio Balsas y las sierras y valles del sudeste de la Entidad.

Debido a la concentración de la población en las últimas décadas, en el estado existen dos zonas metropolitanas, la primera forma parte de la zona conurbada de la Ciudad de México y está integrada por 27 municipios y la segunda se encuentra relacionada con la Ciudad de Toluca y está integrada por 6 municipios, según datos de 1990 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

MAPA I.1 “DIVISIÓN DEL ESTADO DE MÉXICO POR REGIONES
ADMINISTRATIVAS”



I.1 SITUACIÓN DE LA CARRETERA EXISTENTE.

El Gobierno del Estado de México dentro de su programa de trabajo contempla la construcción de una vía alterna a la carretera actual Toluca–Naucalpan que es parte de la carretera Federal 134; así como de la autopista de cuota Chamapa–Lechería, con la finalidad de desahogar las carreteras actuales de esta Región Poniente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que se encuentran saturadas sobre todo en las horas pico, principalmente el tramo de la vía Toluca–Naucalpan, con ancho de corona de 7 metros y que por sus características solo permite el desarrollo de velocidades de 40 a 60 km/hr. Esta vía comunicación se encuentra en una región de lomerío y montañosa, la ruta cuenta con varias pendientes y curvas. El gran aforo vehicular de todo tipo que circula por esta vía, hace que su recorrido sea lento.

I.2 JUSTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA.

Como ya se ha mencionado, la principal justificación y objetivo del proyecto es evitar que el tránsito que recogen las autopistas Chamapa–Lechería y Libramiento Noreste de Toluca, tenga que recorrer la carretera estatal 134, cuyo trazo horizontal y vertical es deficiente y ocasiona congestionamiento y tiempos largos de recorrido. Los datos aforados señalan que la nueva vialidad, se podrían tener hasta 6,000 vehículos circulando, ello también demanda contar con vías de especificaciones de mayor capacidad, que eviten el tránsito y contaminación dentro de las áreas urbanas y que reduzcan el número de accidentes, que permitan mejores velocidades de operación y que acorten las distancias y tiempos de recorrido entre los grandes centros de producción y consumo; lo anterior ante el amplio desarrollo corporativo y habitacional que ha tenido el Área Metropolitana en la zona Poniente del Distrito Federal, la cual requiere de más vías rápidas de comunicación terrestre hacia el Área Metropolitana de Toluca que cuenta con servicios (como el Aeropuerto de Toluca que a últimas fechas se a transformado en la terminal aérea alternativa a la Benito Juárez de la Ciudad de México, que por su cercanía se ha desconcentrado principalmente los vuelos de carga que se llevaban a cabo en el Aeropuerto Internacional de esta Ciudad Capital) e industria, que requieren los habitantes de la región Oeste del Distrito Federal; razón por la cual se proyecta una autopista, con base al estudio el volumen de tránsito que circula diariamente, así como los tipos de vehículos que lo integran, se efectuaron aforos sobre las vialidades que convergen al tramo en estudio, obteniéndose un tránsito representativo para el diseño del pavimento. Considerando el valor crítico del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) que resultó ser de 6,629 vehículos/día y la composición vehicular (por tipo de vehículo), se llega a los valores que se exponen en la siguiente Tabla I.1 “Clases de Vehículos que se Detectaron Sobre las Vialidades que Convergen al Tramo en Estudio”; donde el 88.5 % son Autos y Pick-up’s; el 10.8 % Camiones de dos ejes y el 0.7 % restante de Autobuses y camiones más de dos ejes. Por lo que se proyecta una Autopista de cuatro carriles con corona de 21 metros y velocidad de diseño de 90 a 110 km/hr.

**TABLA I.1 “CLASES DE VEHÍCULOS QUE SE DETECTARON SOBRE LAS
VIALIDADES QUE CONVERGEN AL TRAMO EN ESTUDIO”**

Descripción	Tipo	Composición en %	Cantidad Vehículos/día
Autos y Pick-up's.	A	88.5	5,867
Autobuses y camiones más de dos ejes	B	0.7	44
Camiones de dos ejes.	C2	10.8	718
Total	----	100.0	6,629

I.3 CLASIFICACIÓN Y FINANCIAMIENTO.

En este apartado se definen las características de los caminos por su transitabilidad, administración y por su aspecto técnico oficial; así como las velocidades de diseño, cargas de proyecto, diseño de pavimento flexible y esquemas de concesiones con los cuales operan las carreteras de cuota en la República Mexicana.

I.3.1 CLASES DE CAMINOS.

Se acostumbra denominar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos.

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

I.3.1.1 TIPOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS.

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad.

En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones dadas en otros países. Ellas son: Clasificación por transitabilidad, Clasificación por su aspecto administrativo y Clasificación técnica oficial.

I.3.1.1.1 CLASIFICACIÓN POR SU TRANSITABILIDAD.

La clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en:

- 1) Terracerías: cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
- 2) Revestida: cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
- 3) Pavimentada: cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía y se presenta así:

TABLA I.2 “CLASIFICACIÓN POR SU TRANSITABILIDAD”

Terracerías	
Revestida	
Pavimentado	

I.3.1.1.2 CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA.

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

- 1) Federales: cuando son costeadas íntegramente por la Federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.
- 2) Estatales: cuando son construidos por el sistema de cooperación a razón del 50 % aportados por el estado donde se construye y el 50 % por la Federación. Estos caminos quedan a cargo de las antes llamadas Juntas Locales de Caminos. Y ahora en el Estado de México Junta de Caminos, dividida en las Residencias Regionales de: Atlacomulco, Cuautitlán, Ixtapan de la Sal, Tejupilco, Texcoco y Toluca.
- 3) Vecinales o Rurales: cuando son construidos por la cooperación de los vecinos beneficiados pagando estos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la Federación y el tercio restante el Estado al que la zona rural beneficiada. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las llamadas Juntas Locales de Caminos y ahora Sistema de Caminos.
- 4) De Cuota: las cuales quedan algunas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos (CAPUFE) y otras como las autopistas o carreteras concesionadas a la

iniciativa privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

I.3.1.1.3 CLASIFICACIÓN TÉCNICA OFICIAL.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

a) Tipo especial: para Tránsito Promedio Diario (TPD) anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12 % de Tránsito Promedio Diario). Estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoseles como A4 S.

Tipo A: para un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 1,500 a 3,000 equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12 % del Tránsito Promedio Diario).

Tipo B: para un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12 % de Tránsito Promedio Diario).

Tipo C: para un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12 % del Tránsito Promedio Diario)

En la clasificación técnica anterior, que ha sufrido algunas modificaciones en su implantación, se ha considerado un 50 % de vehículos pesados igual a tres toneladas por eje. El número de vehículos es total en ambas direcciones y sin considerar ninguna transformación de vehículos comerciales a vehículos ligeros. (En México, en virtud a la composición promedio del tránsito en las carreteras

nacionales, que arroja un 50 % de vehículos comerciales, de los cuales un 15 % esta constituido por remolques, se ha considerado conveniente que los factores de transformación de los vehículos comerciales a vehículos ligeros en caminos de dos carriles, sea de dos para terreno plano, de cuatro en lomeríos y de seis en terrenos montañosos.

En lo referente a las carretera Tipo “A” en la Tabla I.3 “Clasificación y Características de Autopista Tipo “A” se presenta la clasificación y características de una Autopista Tipo “A” realizada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con los cuales se desarrollo el Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan.

I.3.1.2 VELOCIDADES.

Los criterios que en esta sección se presentan tienen que ver con la variable velocidad como elemento básico para el diseño geométrico de carreteras y como parámetro de cálculo de la mayoría de los diversos componentes del proyecto.

La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que ella origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la carretera, de tal manera que siempre se garantice la seguridad.

I.3.1.2.1 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ Y LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.

La velocidad de diseño es la velocidad seleccionada para fines del diseño vial y que condiciona las principales características de la carretera, tales como: curvatura, peralte y distancia de visibilidad, de las cuales depende la operación segura y cómoda de los vehículos. Es la mayor velocidad a la que puede recorrerse con seguridad un tramo vial, incluso con pavimento mojado, cuando el vehículo estuviere sometido apenas a las limitaciones impuestas por las características geométricas. Uno de los principales factores que rigen la adopción de valores para la velocidad de diseño es el costo de construcción resultante. Una velocidad de diseño elevada exige características físicas y geométricas más amplias, principalmente en lo que respecta a curvas verticales y horizontales, declives y anchos, las cuales, salvo que midan condiciones muy favorables,

elevantán el costo de construcción considerablemente. Esa elevación en los costos será tanto menos pronunciada cuanto más favorables sean las características físicas del terreno, principalmente la topografía, aunque también la geotecnia, el drenaje, etc. Además, en los tramos que, según los usuarios, sean los más favorables, habrá una tendencia inevitable espontánea de los conductores a aumentar la velocidad. Este hecho habrá de ser reconocido mediante la adopción de valores, principalmente de curvatura horizontal y vertical y de visibilidad, que corresponden a velocidades de diseño más elevadas. Lo mismo ocurre en relación con los tramos donde se desea proporcionar una distancia de visibilidad de paso adecuada.

I.3.1.2.2 VELOCIDAD DE MARCHA.

La velocidad de marcha es una medida de la calidad del servicio que una vía proporciona a los conductores, y varía durante el día principalmente por la variación de los volúmenes de tránsito. Permitirá en base a un estudio real de ella, contar con un factor para la obtención de la velocidad de diseño. El “Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan” se diseñó para velocidades de 90 a 110 km/h

I.3.1.2.3 VELOCIDAD DE OPERACIÓN.

La velocidad de operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en una carretera con una velocidad de diseño dada (el “Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan” se diseñó para velocidades de 90 a 110 km/h), bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente. Si el tránsito y la interferencia son bajas, la velocidad de operación puede llegar a ser muy similar a la velocidad de diseño. A medida que el tránsito crece la interferencia entre vehículos aumenta tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera, así como parámetro de comparación entre una vía existente con características similares a una vía en proyecto a fin de seleccionar una

TABLA I.3 “CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE AUTOPISTA TIPO A”

Concepto			Unidad	TIPO DE CARRETERA					
Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en el horizonte de proyecto			Vehículos/día	“A”					
				Más de 3,000 vehículos/día					
Montañoso			0	—	—	—	—	0	0
TERRENO Lomerío			0	0	—	—	—	—	0
Plano			0	0	0	—	—	—	—
Velocidad del proyecto			km/hr	60	70	80	90	100	110
Distancia de visibilidad de parada			m	75	95	115	135	155	175
Distancia de visibilidad de rebase			m	270	315	360	405	450	495
Grado máximo de curvatura				11	75	55	4.25	3.25	2.75
Curvas	K	Cresta	m/%	14	20	31	43	57	72
		Columpio	m/%	15	20	25	31	37	43
Verticales	Longitud mínima		m	40	40	50	50	60	60
Pendiente gobernadora			%	4					
				3					
				—					
Pendiente máxima			%	6					
				5					
				4					
Longitud Crítica			m	Ver tabla de longitud Critica					
Ancho de calzada			m	A2 7 2 carriles		A4 2 x 7 4 carriles		A4s 2 x 7 4 carriles	
Ancho de corona			m	120 un cuerpo		≥220 un cuerpo		2 x 110 cuerpos separados	
Ancho de acotamientos			m	2,50		3.0 ext 0.5 m		3.0 ext 1.0 m	
Ancho de faja separadora			m	—		≥1.0		≥8.0	
Bombeo			%	2					
Sobre elevación máxima			%	10					
Sobre elevación para Grados menores al máximo			%	Valores Máximos de Curvatura se tratan en el Capitulo II ELECCIÓN DE RUTA de la presente Tesis					
Ampliaciones y longitudes Mínimas de transiciones			m	Ver Tabla I.4 “DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA”					

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

velocidad de diseño lo más acorde con el servicio que se desee brindar. La velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresada, para velocidad constante, por la formula: $V = d/t$.

TABLA I.4 “DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA”

Velocidad de proyecto km/h	Velocidad de marcha km/h	Reacción		Coeficiente de fricción longitudinal	Distancia de frenado m	Distancia de visibilidad	
		Tiempo segundos	Distancia metros			Calculada m	Para proyecto m
30	28	2.5	19.44	0.4	7.72	27.16	30
40	37	2.5	25.69	0.38	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.36	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.34	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	95
80	71	2.5	49.3	0.31	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.3	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.89	0.295	112.96	176.85	175

I.3.1.2.4 RELACIÓN ENTRE LAS VELOCIDADES DE OPERACIÓN Y DE MARCHA.

Normalmente se asimila la velocidad de operación al 85 % de la distribución de velocidades observadas en una localización determinada, es decir, se asume que hay un 15 % de los vehículos que circulan a una velocidad superior a la de operación en el elemento. Para tener en cuenta el concepto, generalmente reconocido, sólo se consideran en el análisis de las velocidades las correspondientes a los vehículos livianos que circulan con un intervalo amplio, para no estar así condicionados por una circulación en caravana.

La estimación de las velocidades reales de operación deberá apoyarse en el uso de un determinado modelo matemático, que tenga en cuenta todos o algunos de los parámetros involucrados, relacionados con las características físicas o geométricas de la carretera y su entorno, tales como: radio de las curvas, peraltes, longitud, tipo de vía, ancho de calzada, ancho de bermas, pendiente longitudinal,

topografía, entorno urbanístico, etc. De todos ellos, el más importante es el radio de las curvas horizontales.

La inclusión de los conceptos de velocidad de operación y de marcha, permite tener otro criterio para la elección de la velocidad de diseño, en función de un estudio de velocidades de alguna vía con características similares a la que se proyecta.

I.3.1.2.5 ELECCIÓN DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ.

La velocidad de diseño de un tramo de características geométricas homogéneas y longitud razonable está relacionado con las velocidades específicas de sus curvas, y con la longitud e inclinación de su rasante. Para que un tramo pueda ser considerado homogéneo, no debe haber una gran diferencia entre esta velocidad de diseño y la máxima velocidad de operación (85 %) que pueda alcanzarse en cualquier punto de él.

En la elección de la velocidad directriz, se debe tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- 1) Desde el punto de vista de la seguridad, no siempre es beneficiosa la adopción de la mayor velocidad posible de diseño, pero tampoco debe olvidarse que, si bien los conductores aceptan fácilmente limitar su velocidad de operación en zonas evidentemente difíciles, en otras que no lo sean suelen rebasar con frecuencia la velocidad específica de sus elementos, especialmente de los del perfil.
- 2) En autopistas y multicarriles fuera de poblado se pueden emplear velocidades de diseño superiores a 120 km/h en entornos cuya lectura por el usuario favorecería altas velocidades de recorrido.
- 3) Consideraciones de costo de construcción, especialmente en carreteras de calzada única, limitan la velocidad de diseño fuera de poblado a valores comprendidos entre 30 (en terreno tipo 4: Es el que está inundado, entre tierra y agua donde el tirante de agua es poco profunda; puede ser pantanoso o vados de ríos) y 100 km/h (en terreno tipo 1: es el Terreno llano o planicie extendida, sin altos ni

- bajos). El terreno tipo 2 es la pradera cubierta de hierbas altas y finalmente el tipo 3 es el bosque.
- 4) Velocidades de proyecto inferiores a 80 km/h fuera de poblado guardan poca relación con las velocidades de operación, que son generalmente superiores apenas el entorno lo permite. Su empleo sólo está justificado para acoplar un trazado a un terreno muy accidentado, especialmente en curvas aisladas.
 - 5) Las velocidades de diseño empleadas en vías urbanas pueden ser menores que fuera de poblado, no sólo por consideraciones de costo, especialmente el relacionado con las expropiaciones, tanto más importante cuanto mayor sea aquélla, sino también funcionales: la frecuente gran intensidad de la circulación en ellas que sólo necesita las velocidades de operación asociadas a la capacidad y la menor distancia entre intersecciones. Su valor está relacionado con la función asignada a la vía urbana en la estructura vial jerarquizada.
 - 6) En intersecciones, únicamente en ramales de enlace que no crucen a nivel ninguna otra trayectoria, y que vayan a funcionar cerca de su capacidad, está justificado adoptar velocidades de proyecto del orden de 60 y aun 80 km/h. En los demás casos, se emplean velocidades de proyecto más bajas, sobre todo donde haya limitaciones de espacio o los cruces a nivel de otras trayectorias pudieran obligar a la detención. En el caso de vías de giro de intersecciones o ramales de intercambios se emplean velocidades de diseño mucho menores por las siguientes razones:
 - 7) Algunos movimientos suelen realizarse a velocidad de maniobra (por ejemplo menos de 15 km/h), sobre todo aquellos que implican detenciones del tráfico por un semáforo o por la aplicación de una regla de prioridad de paso.
 - 8) En la mayoría de las intersecciones, las limitaciones de espacio o económicas no permiten que los movimientos se realicen a velocidades superiores a 25 km/h. En estos casos las vías de giro no

se separan totalmente del área de la intersección, aunque surgen islas (intersección canalizada).

- 9) En ramales de intercambios es deseable que la velocidad específica sea mayor, por motivos de capacidad (mínimo 40 km/h). Es conveniente adoptar una velocidad de diseño no inferior a la menor de las correspondientes a las carreteras o autopistas que une al ramal, y como mínimo del 50 al 80 % de la mayor. El tipo y forma del ramal a veces resultan limitativos.

I.3.1.2.6 VARIACIONES DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ.

Se admite una diferencia máxima de 20 km/h entre las velocidades directrices de tramos contiguos. En caso de superar esa diferencia debería intercalarse entre ambos uno o varios tramos que cumplan esa limitación, y proporcionen un adecuado escalonamiento de velocidades

I.3.2 VEHÍCULOS: TAMAÑOS Y CARGAS DE DISEÑO.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), diferencia los vehículos de carga en cuatro clases, como se indica en la siguiente Tabla I.5 “Clases de Vehículos que Circulan por las Carreteras y Autopistas de la Republica Mexicana.” Cada clase se diferencia, a su vez, en varios tipos dependiendo de su número de ejes. Así por ejemplo, en la clase camión (C), se tienen los tipos de 2 y 3 ejes, que

TABLA I.5 “CLASES DE VEHÍCULOS QUE CIRCULAN POR LAS CARRETERAS Y AUTOPISTAS DE LA REPUBLICA MEXICANA”

Clase de vehículo	Nomenclatura	Definición
Camión	C	Vehículo de motor de dos o más ejes, con cuatro o más ruedas, destinado al transporte de carga.
Tractor	T	Vehículo de motor de dos o más ejes, con cuatro o más ruedas, destinado al transporte de carga.
Remolque	R	Vehículo no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo de motor.
Semirremolque	S	Todo remolque sin eje delantero destinado a ser acoplado a un tractor de manera que parte de su peso sea soportado por éste.

TABLA I.6 “CLASES DE VEHÍCULOS MÁS COMUNES Y SUS PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS SEGÚN EL TIPO DE CAMINO”

Nomen- clatura	Número de Ejes	Clase	Croquis tipo de vehiculo	Peso Máximo por tipo de camino (ton)		
				A	B	C
A2	2	Camioneta Pick-up		1.3	1.3	1.3
A'2	2	Camioneta		3.5	3.5	3.5
C2	2	Camión		15.5	14.0	12.0
C3	3	Camión		23.5	20.0	18.0
T2-S1	3	Tractor y semirremolque.		25.5	23.0	----
T2-S2	4	Tractor y semirremolque		33.5	29.0	----
C2-R2	4	Camión y Remolque		35.5	----	----
C3-R2	5	Camión y Remolque		43.5	----	----
C3-R3	5	Camión y Remolque		----	----	----
C3-R3	6	Camión y Remolque		----	----	----
T3-S2	5	Tractor y semirremolque		41.5	35.0	----
T2-S1-R2	5	Tractor, semirremolque y remolque		45.5	----	----
T3-S3	6	Tractor y semirremolque		46.0	----	----
T3-S1-R2	6	Tractor, semirremolque y remolque		45.5	----	----
T3-S2-R2	7	Tractor, semirremolque y remolque		61.5		
T3-S2-R3	8	Tractor, semirremolque y remolque		69.5	----	----
T3-S2-R4	9	Tractor, semirremolque y remolque		77.5	----	----
T3-S3- R2	8	Tractor, semirremolque y remolque		----	----	----

se nombran C2 y C3, respectivamente, correspondiendo el número al número de ejes. Dependiendo de la combinación entre clases y números de ejes, se tienen las combinaciones más comúnmente utilizadas que aparecen en la siguiente Tabla I.6. "Clases de Vehículos Más Comunes y sus Pesos Máximos Permitidos según el tipo de Camino"

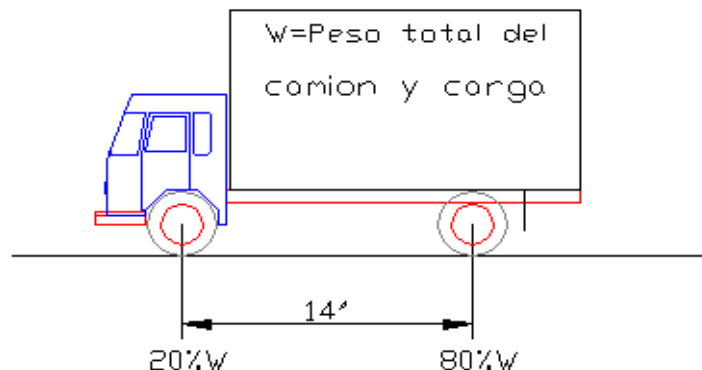
I.3.2.1 CARGAS DE PROYECTO.

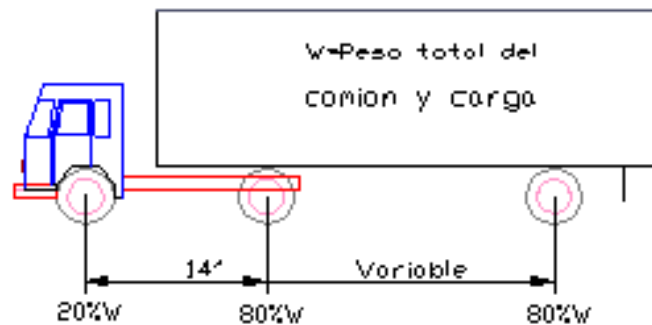
Las cargas de proyecto consideradas para el cálculo de las estructuras son: cargas muertas, cargas vivas, impacto, presión de viento, etc. en lo siguiente se estudia a las cargas vivas, ya que son de mayor preponderancia en el diseño.

De acuerdo con las especificaciones de la American Association State Highway and Transportation Officials (AASHTO) las cargas se conocen con la designación H y HS.

Un camión de dos ejes es una carga H. A continuación de la letra se coloca un número (10,15,20) que indica el peso bruto en toneladas del sistema inglés 2,000 lb (907.20 kg) del camión especificado como carga.

Las cargas HS corresponden a un camión tractor, de dos ejes con un semi remolque de un solo eje. Los números que se colocan a continuación de la H y de la S representan el peso bruto, en toneladas del sistema inglés, del tractor y del semiremolque, respectivamente. El 80 % del peso bruto del camión o del camión tractor cae en sus respectivos ejes posteriores. Al eje del semi remolque se le supone siempre una carga igual a la del eje posterior del camión tractor.





De acuerdo con lo anterior se tiene que un camión H 20, es un camión de 40,000 lb (18,144 kg). De las cuales el 80 %, o sean 32,000 lb (14,515.20 kg); corresponden al eje trasero y 20%, o sean 8,000 lb (3,628.80 kg). Corresponden al eje delantero. De igual manera una carga H 20 S 16 representa un camión tractor de 40,000 lb (18,144 kg); con un semiremolque de 32,000 lb (14,515.20 kg). En este caso la distribución por eje es de 32,000 lb (14,515.20 kg). Para el eje trasero del tractor, 32,000 lb (14,515.20 kg). Para el eje del semiremolque y de 8,000 lb (3,628.80 kg). Para el eje delantero del tractor.

Las cargas anteriores son las llamadas cargas tipo y corresponden a una separación de 14 pies (4.27 m) de distancia entre ejes del camión. La distancia entre el eje posterior del camión tractor y el eje del semiremolque varían entre 14 y 30 pies (4.27 m y 9.14 m respectivamente), calculándose siempre en las condiciones más desfavorables. Cuando se carga un camión o un remolque, la carga se distribuye entre los ejes en proporciones determinadas que pueden ser calculadas; para ello es necesario conocer:

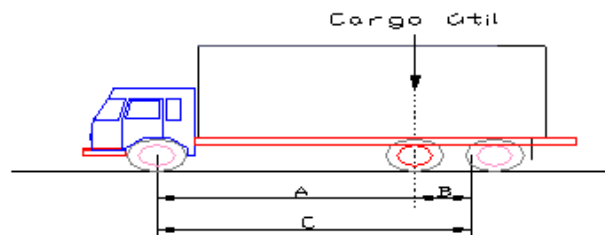
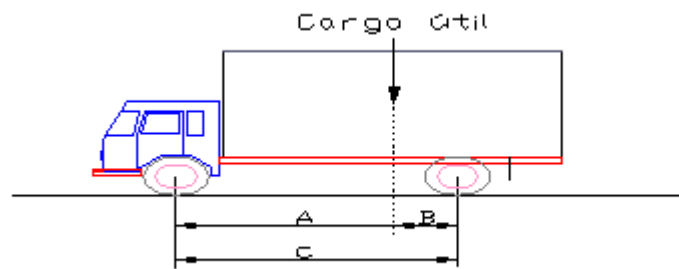
- a).-El peso propio del camión vacío en cada eje.
- b).-El peso de la carga útil.
- c).-Distancia entre ejes y entre cada eje y el centro de la carga útil.

Si A es la distancia del eje delantero al centro de la carga útil, B la distancia del eje trasero al centro de la carga útil y C la distancia entre ejes, se tendrá:

Carga útil sobre el eje trasero = $A/C \times$ carga útil

Carga útil sobre el eje delantero = $B/C \times$ carga útil

Se resuelve el caso de un camión con uno y con dos ejes posteriores.



Peso del camión vacío

Eje delantero = 1,365 kg.

Eje trasero = 2,270 kg.

Carga útil = 2,730 kg.

Distancia A = 432 cm.

Distancia B = 48 cm.

Distancia C = 480 cm.

Carga útil sobre el eje trasero:

$$(432/480) \times 2,730 = 2,457 \text{ kg}$$

Carga útil sobre el eje delantero:

$$(48/480) \times 2,730 = 273 \text{ kg}$$

Peso total sobre el eje trasero:

$$2,270 + 2,457 = 4,727 \text{ kg}$$

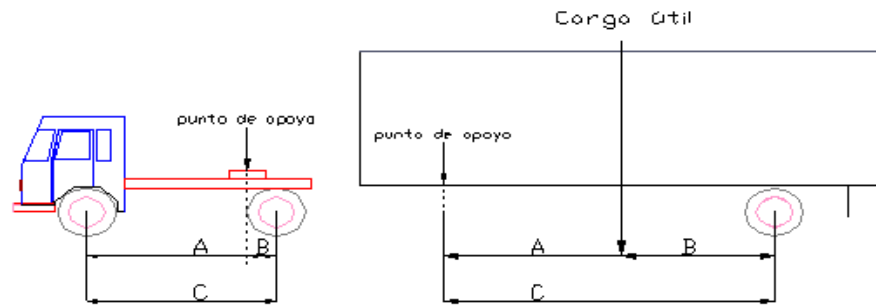
Peso total sobre el eje delantero:

$$1.365 + 273 = 1,638 \text{ kg}$$

Se ve ahora el caso de un camión tractor con semiremolque. En este caso, antes de analizar la distribución de la carga en el tractor es necesario calcular la carga

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

útil en el punto de apoyo del semiremolque (quinta rueda) ya que la carga útil en este punto de apoyo es igual a la carga útil total sobre el tractor.



1).- Cálculo de las cargas del semiremolque:

Peso en el eje del semi remolque vacio = 2,730 kg.

Distancia A = B = 280 cm.

Distancia C = 560 cm

Carga útil = 9,100 kg

La carga útil sobre el eje del semiremolque es:

$$(280/560) \times 9,100 = 4,550 \text{ kg}$$

El peso total sobre el eje del semiremolque es:

$$2,730 + 4,550 = 7,280 \text{ kg}$$

Ahora, como A = B, la carga útil sobre el punto de apoyo, o sea la carga útil sobre el camión tractor será de 4,550 kg; ya que el peso del semiremolque vacio sobre el punto de apoyo va incluido en el peso vacio del eje trasero del camión tractor.

2).- Cálculo de las cargas en el camión tractor:

Peso del camión tractor vacio:

Eje delantero = 2,270 kg

Eje trasero = 3,180 kg.

Carga útil calculada = 4,550 kg.

Distancia A = 355.6 cm

Distancia B = 50.8 cm

Distancia C = 406.4 cm

La carga útil sobre el eje posterior es:

$$(355.6/406.4) \times 4,550 = 3,984 \text{ kg}$$

El peso total sobre el eje posterior del camión tractor será:

$$3,984 + 3,180 = 7,164 \text{ kg}$$

La carga útil sobre el eje delantero es:

$$(50.8/406.4) \times 4,550 = 566 \text{ kg}$$

La carga total sobre el eje delantero del camión tractor es:

$$566 + 2,270 = 2,830 \text{ kg}$$

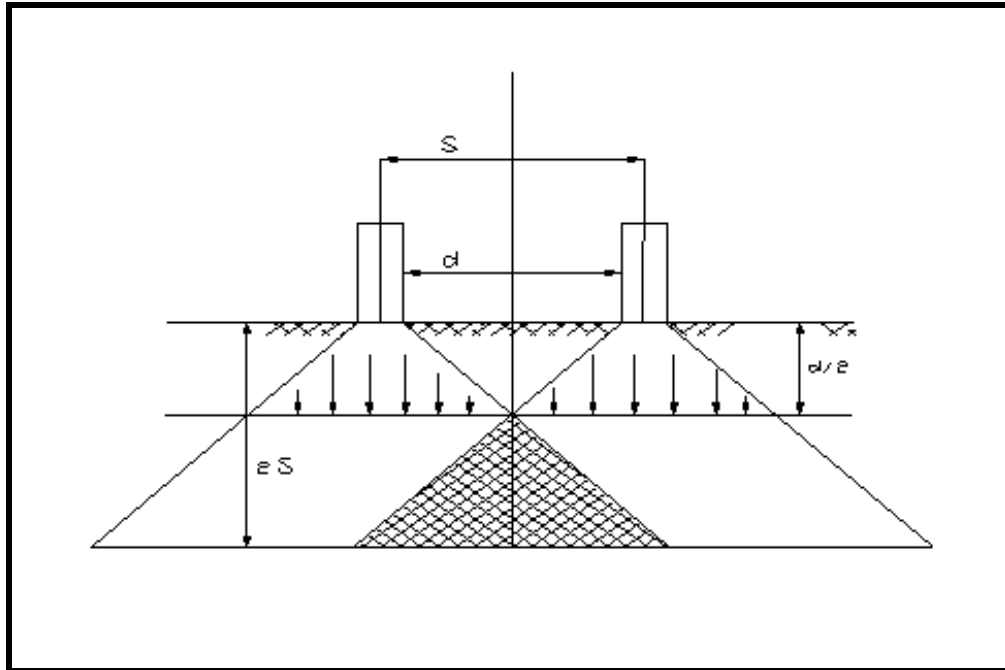
I.3.2.2 CARGAS POR RUEDA DE DISEÑO.

La profundidad a la cual los esfuerzos resultantes, dados por ruedas duales, son iguales a los de una rueda sencilla depende de la separación entre las mencionadas ruedas duales. Cerca de la superficie las ruedas duales actúan independientemente como se pueden observar en la figura siguiente. Sin embargo, a profundidades mayores los esfuerzos provocados por ellos se traslapan, pero ellos son menores a medida que la profundidad crece, llegándose a un punto en que dichos esfuerzos son despreciables. Por medio de análisis teóricos y por medidas directas de los esfuerzos en pavimentos, se ha establecido la relación que hay entre la profundidad y la separación que hay entre las ruedas duales, teniéndose que a la profundidad, aproximada, de $d/2$ las ruedas dejan de actuar independientemente y los esfuerzos bajo el pavimento comienzan ahí a combinar sus efectos debido a las dos ruedas, haciéndose despreciable este efecto a la profundidad de $2S$, como se muestra en la Figura I.1. "Distribución de Esfuerzos Bajo el Pavimento"

Los cálculos para determinar la carga por rueda equivalente pueden basarse ya sea en el criterio de la igualdad de deformación o en el criterio de igualdad de esfuerzos. Es decir que si se conoce la máxima deflexión que ocurre bajo un conjunto de ruedas duales, una deflexión que ocurra de la misma cantidad bajo una rueda sencilla, indica que esa rueda es equivalente a las ruedas duales. Lo mismo se puede decir, aproximadamente, acerca de lo que ocurre con los esfuerzos.

A profundidades pequeñas, las máximas deflexiones ocurren bajo una rueda,

FIGURA I.1 “DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS BAJO EL PAVIMENTO”



mientras que a mayores profundidades las deflexiones mayores ocurren bajo el centro del conjunto de las dos ruedas.

La deflexión bajo una rueda simple y la deflexión bajo un conjunto de ruedas duales vienen dadas por las expresiones que siguen, mismas que provienen de la ecuación de asentamiento dada por Boussinesq (Jaseph Valentin Boussinesq 1842–1929, físico francés que contribuyó notablemente al estudio de la hidrodinámica, la vibración, la luz y la mecánica) para deflexiones al centro de un plato flexible:

$$\Delta = \left(\frac{p \cdot a}{E} \right) F \quad \text{en la que:}$$

$$F = \left(\frac{3}{2} \right) \frac{1}{(1 + (Z/a))^{1/2}}, \quad \text{y que vale 1.5 cuando la carga esta colocada en la superficie, o sea cuando } Z = 0, \text{ pues "F" depende de la relación } Z/a.$$

De acuerdo con la ecuación anterior, para una presión por rueda constante, la deflexión bajo una rueda simple es de

$$\Delta_1 = \frac{p \cdot a_1}{E} F_1 \quad \text{y para ruedas duales vale} \quad \Delta_2 = \frac{p \cdot a_2}{E} (F_1 + F_2).$$

En todas estas expresiones:

P = presión de la llanta

a1 = radio de contacto de la rueda simple

a2 = radio de contacto para cada llanta de un eje de ruedas duales

F1 = factor de asentamiento para rueda simple

F'1 = factor de asentamiento contribuido por una llanta de las duales

F'2 = factor de asentamiento contribuido por la otra llanta de las duales

E = módulo de elasticidad del suelo

Empleando el criterio de dobles deflexiones se tiene:

$$\frac{Pa_1}{E} F_1 = \frac{Pa_2}{E} (F'_1 + F'_2)$$

Remplazando en la ecuación anterior los valores:

$$\frac{Pa_1}{E} = \sqrt{P_1} \dots Y \dots \frac{Pa_2}{E} = \sqrt{P_2}$$

$$\text{Se tiene: } \sqrt{P_1} F_1 = \sqrt{P_2} (F'_1 + F'_2)$$

en la que P1 = carga sobre la rueda simple, y P2 es la carga sobre cada una de las ruedas duales.

Si se desea convertir un set de ruedas duales a una carga equivalente de rueda sencilla empleando el criterio de deflexiones, se tiene que se conoce el valor P2 sobre cada rueda dual, se buscan en una grafica los valores máximos de F'1 y F'2 y se determinan los valores de P1 y F1 de tal manera que el producto $\sqrt{P_1} F_1$ sea igual a:

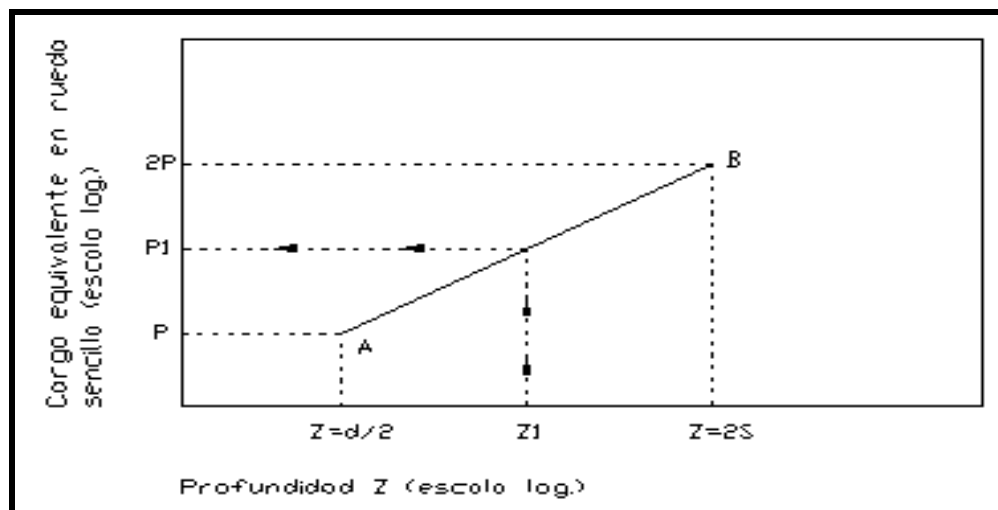
$$\sqrt{P_2} (F'_1 + F'_2)$$

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano presenta un método gráfico para determinar la carga equivalente por rueda.

Asumiendo una relación lineal entre las profundidades d/2 y 2S puede, derivarse una relación para determinar la equivalencia a ruedas duales. La siguiente Figura I.2 "Carga Equivalente en Rueda Sencilla" se indica el método para determinar la carga sencilla equivalente a cualquier eje (sistema) de ruedas duales.

Se gráfica el espesor del pavimento en la escala horizontal y se dibuja el punto de coordenadas (P, d/2). De igual modo, a la profundidad de 2S y con una carga por

FIGURA I.2 “CARGA EQUIVALENTE EN RUEDA SENCILLA”



rueda de 2P el punto representa la profundidad al cual los efectos de los esfuerzos traslapados son despreciables. Una línea recta de A a B marca los puntos donde cualquier carga por rueda resulta equivalente a un set de ruedas dobles.

Este método también sirve para transformar cargas dobles en tándem a rueda sencilla.

La distancia “d” es igual, en este caso, al claro libre entre las ruedas dobles, y la distancia “S” se toma como la distancia diagonal entre los centros de las llantas dobles del tándem. El procedimiento que se sigue para determinar el valor de la carga equivalente es el siguiente:

- Se supone un espesor aproximado del pavimento
- Se determinó la carga simple equivalente con el gráfico del cuerpo de ingenieros.
- Se determinó el espesor del pavimento empleando el valor determinado de la carga por rueda simple compruebe el espesor con el asumido. Repetir el proceso.

I.3.2.3 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se tienen dos métodos para el diseño de pavimentos flexibles de carreteras: el procedimiento del Instituto Norteamericano del Asfalto (INA) y el de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

a) Procedimiento propuesto por el Instituto Norteamericano del Asfalto (INA)

con metodología de diseño de los pavimentos flexibles, se refiere básicamente a carreteras, y consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento, de acuerdo con los siguientes datos:

- Volumen de Tránsito a prever; Número de Tránsito para Diseño (NTD)
- Parámetro que representa la resistencia y Deformabilidad del Material de Apoyo (VRS) o terracería (VRS y/o valor portante K)
- Calidad general de los materiales disponibles
- Procedimientos previstos para la construcción
- El tránsito previsto se refiere al denominado Número de Tránsito para Diseño (NTD), que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 ton (18,081 lb), dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el periodo de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por la propia institución.

Las propiedades mecánicas básicas del material de terracería, capa subrasante, subbase y base, se establecen por medio de las pruebas usuales en la tecnología actual de los pavimentos.

El Instituto del Asfalto da el espesor necesario de cubrimiento, sobre un material determinado, en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual puede traducirse en diversas alternativas de estructuración, a base de las capas usuales, empleando los factores de equivalencia, que el Capítulo IV “Anteproyecto” del presente trabajo se detallan.

Una vez que se ha determinado el valor índice de la resistencia del material y el Número de Tránsito para Diseño (NTD) aplicable al caso, el espesor necesario de cubrimiento se obtiene con el monograma de espesores de carpeta asfáltica, (visto en el Capítulo IV “Anteproyecto”).

b) Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se ha basado en la tipificación de tránsito y en los coeficientes de daño de los diferentes tipos de vehículos, que pueden obtenerse a partir de las pruebas American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), para obtener su propia tabla de tipificación y sus propios coeficientes de daño. Con base en experiencias realizadas en la pista circular de pruebas y en el estudio

de comportamientos en tramos experimentales que la propia Institución controla en diversos puntos de la red mexicana de carreteras, el Instituto diversificó un tanto la evaluación de daños producidos por los diferentes vehículos en los pavimentos, distinguiéndolos en profundidades de 0, 15, 22.5 y 30 cm.

I.3.3 ESQUEMA DE LAS CONCESIONES PARA CARRETERAS.

El esquema de las concesiones para carreteras se puede dividir en dos: el implementado hasta fines de 1995 y el Nuevo esquema de concesión. Al hacer un análisis de la experiencia mexicana en concesión de carreteras; se tiene que durante los primeros años de la década de los noventa, en México se aceleró la construcción de infraestructura carretera de altas especificaciones a través del otorgamiento de alrededor de 50 concesiones para la construcción, operación, explotación y conservación de carreteras. Este programa permitió que el país dispusiera de unos 5,000 kilómetros adicionales de vías nuevas o modernizadas en un período de sólo seis años, por lo que su contribución a la modernización del sistema carretero nacional ha sido innegable. Independientemente de lo anterior, el esquema utilizado para el otorgamiento de concesiones acarrió problemas que se intensificaron con la aguda crisis económica y financiera que el país sufrió durante fines de 1994 y 1995, como consecuencia de lo cual fue necesario adoptar diversas medidas para sanear las finanzas de un buen número de los proyectos concesionados durante los años anteriores. Como resultado de esos procesos, México cuenta hoy con una amplia experiencia en materia de concesiones de carreteras tanto en el sector público como en el privado. La cual se busca aprovechar para volver a posicionar a la concesión como un instrumento viable para el desarrollo de proyectos carreteros con la participación del sector privado.

I.3.3.1 CARRETERAS PARA EL DESARROLLO DE MÉXICO.

Ante el crecimiento demográfico de la República Mexicana, los centros urbanos están en continuo desarrollo y para lo cual requieren estar intercomunicados para tener acceso a los centros de producción industrial, agropecuaria, pesquera, entre

otros, para contar con un abasto constante y oportuno de sus requerimientos y al mismo tiempo el programa de infraestructura carretera cumple con la Función Social de Penetración Económica y de Pleno Desarrollo de las localidades que se comunican por esta vía. El programa de infraestructura carretero esta en continuo cambio, adecuándose a las condiciones económicas del país, como en la crisis económica y financiera que el país sufrió durante fines de 1994 y 1995, por lo cual se modificó el esquema de concesiones y se estableció el Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC). En el 2008 ante la crisis financiera mundial el actual Gobierno Federal (2006–2012) creó el Fideicomiso Fondo Nacional de Infraestructura, que tiene el objetivo de elevar la cobertura, calidad y competitividad de la infraestructura; convertir a México en una de las principales plataformas logísticas del mundo aprovechando la posición geográfica y la red de tratados internacionales; incrementar el acceso de la población a los servicios públicos; promover un desarrollo regional equilibrado; elevar la generación de empleos permanentes; impulsar el desarrollo sustentable y desarrollar la infraestructura necesaria para el impulso de la actividad económica. Para tal efecto, dentro del programa se contempla que se sigan construyendo carreteras de altas especificaciones en las que el sector privado tenga participación.

I.3.3.2 NUEVO ESQUEMA DE CONCESIONAMIENTO DE CARRETERAS DE MÉXICO.

La participación del sector privado en tareas que corresponden al Estado (como la de dotar infraestructura carretera a la Republica Mexicana, desde los caminos vecinales hasta carreteras de altas especificaciones) es muy antigua. En México se han otorgado concesiones desde hace muchos años, y mediante esta figura claramente regulada, se han llevado a cabo proyectos cuyos costos no pueden ser cubiertos de manera exclusiva con recursos públicos; además, su flexibilidad permite aplicarlos bajo diversas circunstancias. La razón fundamental por la que se desarrolló este esquema a finales de 1995, es que el país requiere que se sigan construyendo carreteras de altas especificaciones, en las que el sector privado participe con las inversiones que los proyectos sean capaces de cubrir con

tarifas competitivas. El nuevo esquema de concesionamiento de carreteras de México es una asociación público–privada en la que los recursos públicos permiten que el resto de la inversión (aportada por empresarios privados y bancos que les otorgan créditos), sea recuperable y obtenga un rendimiento adecuado dentro del plazo de concesión. De esa manera, se maximiza la utilidad pública de los recursos empleados por el Estado, pues invirtiendo sumas comparativamente modestas se atiende de manera oportuna la demanda nacional de autopistas de altas especificaciones. El esquema de concesiones que se está utilizando en el sector carretero se rediseñó por completo. Si bien aprovecha algunas experiencias positivas y negativas del esquema anterior, hay que insistir en que se trata de una nueva propuesta para permitir el desarrollo de proyectos con una muy clara distribución de riesgos y responsabilidades entre los participantes, así como con la acotación precisa de los compromisos que el Gobierno Federal está dispuesto a asumir respecto de cada uno de los proyectos concesionados.

I.3.3.2.1 CONCESIONAMIENTO DE UNA CARRETERA.

El Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes tiene la oportunidad de introducir nuevos esquemas de administración, operación y cobro de peajes para expandir la red, mediante la ejecución de proyectos basados en esquemas financieros en los que participe el sector privado. El reto consiste en que, dadas las limitaciones presupuestarias que afectan y seguirán afectando al subsector, será cada vez más importante diseñar e instrumentar mecanismos financieros de obras carreteras que, con la participación del sector privado y de gobiernos estatales y municipales, permitan aumentar los montos disponibles para inversión en carreteras y acelerar la puesta en operación de proyectos importantes en todo el país. El objetivo consiste en ampliar la cobertura y accesibilidad de la infraestructura carretera para toda la población. Una de las líneas estratégicas para lograrlo, consiste en atraer inversión privada al desarrollo de infraestructura carretera nueva y a la modernización de carreteras libres existentes, para lo cual se busca intensificar la construcción de autopistas de cuota y el mejoramiento de carreteras en operación mediante nuevos esquemas de financiamiento y el

otorgamiento de concesiones. Con este propósito, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) diseñó dos modelos que se pueden aplicar a proyectos de asociación público–privada. El primero es un modelo de concesión para construir, operar, mantener y transferir caminos de cuota, mientras que el segundo es un modelo de asociación público–privada aplicado principalmente para modernizar caminos existentes libres de peaje, en los cuales no es factible cobrar peajes.

a) **CONCESIONES CARRETERAS.** Las principales características de este modelo son los siguientes:

- 1) Concesiones otorgadas mediante licitación pública.
- 2) La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) entrega a los concursantes el proyecto ejecutivo y el derecho de vía liberado.
- 3) La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) fija las tarifas medias máximas y la regla para su actualización por inflación.
- 4) El plazo de concesión es hasta el máximo permitido por la ley (treinta años).
- 5) El gobierno efectúa una aportación inicial con recursos públicos a través del Fideicomiso Fondo de Inversión en Infraestructura (Finfra), un fideicomiso establecido en el Banco de Obras y Servicios (BanObras).
- 6) El gobierno asume, en su caso, un Compromiso de Aportación Subordinada (CAS) para cubrir el servicio de la deuda.
- 7) La concesión se otorga al licitante que solicite el menor apoyo económico del gobierno, medido como la suma de la aportación inicial y del valor presente neto del compromiso de aportación subordinada.

PROYECTOS DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS (PPS). Un segundo modelo de asociación público–privada en el sector carretero, es el de proyectos para la prestación de servicios, que se aplicará principalmente a la modernización y el mantenimiento de caminos libres de peaje. Las principales características de este modelo son las siguientes:

- 1) Concesión otorgada mediante licitación pública que otorga al concesionario el derecho de que se le adjudique el contrato de

prestación de servicios.

- 2) El plazo de contratación del servicio es fijo, de 15 a 30 años.
- 3) El contrato establece una asociación entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y una empresa privada para diseñar, financiar, construir y operar una carretera.
- 4) La prestación del servicio es realizada por la empresa privada a cambio de pagos periódicos trimestrales que se basan en un mecanismo que considera la disponibilidad de la vía y su nivel de uso.
- 5) Cada licitante calcula un pago periódico en función de:
 - a).Costo de construcción, conservación y operación.
 - b) Rendimiento sobre el capital aportado (incluyendo costos financieros)
 - c) Tránsito anual estimado en un rango específico
 - d) Período de contratación
 - e) El valor Presente Neto del Flujo de Pagos Periódicos, es la variable de decisión para el otorgamiento de la concesión, previa validación del cumplimiento de requisitos técnicos, legales y financieros.

Una vez terminada la construcción, la carretera modernizada sigue operando como vía libre de peaje.

I.3.3.2 CONSECUENCIAS DEL ESQUEMA ANTERIOR.

La principal consecuencia del esquema anterior fue la de que los proyectos desarrollados no fueran rentables y cayeran en insolvencia económica por lo cual el gobierno federal creó el Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas, así como un nuevo esquema de concesiones donde se aprovecha algunas experiencias positivas y negativas del esquema anterior, la nueva propuesta permite el desarrollo de proyectos con una muy clara distribución de riesgos y responsabilidades entre los participantes. A continuación se presenta una comparación de la forma en que se manejan los temas principales en el nuevo esquema de concesionamiento de autopistas de cuota y en el esquema con el que contaba la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en 1989-1994.

TABLA I.7 (1/4) “COMPARACIÓN DE LOS ESQUEMAS”

TEMA	NUEVO ESQUEMA	PROGRAMA ANTERIOR 1989-1994
Proyecto Ejecutivo	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) elabora el proyecto y entrega una versión completa, que es revisada en forma exhaustiva por los licitantes antes de presentar sus propuestas. Los licitantes asumen el riesgo del proyecto y todos los costos asociados a él.	En muchos casos no se contó con el proyecto completo; no existía una definición clara de los límites de los riesgos y responsabilidades que asumía el constructor y Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
Estudio de aforos	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tiene estudios de aforo disponibles y los entregará a los licitantes. Cada licitante podrá o no utilizar los estudios suministrados bajo su propio riesgo, dado que Secretaría de Comunicaciones y Transportes no asumirá responsabilidad alguna respecto a ellos.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) elaboró los estudios y “garantizo” tránsitos y tasas de crecimiento. En caso de que las previsiones no se cumplieran, se comprometía a extender el plazo de concesión.
Derechos de Vía	Liberados por Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) antes de la adjudicación de la concesión.	La mayor parte de los derechos de vía se liberaron durante los trabajos de construcción
Empresa Concesionaria	Antes de presentar sus ofertas, los participantes asumen la obligación de constituir una sociedad anónima mexicana de propósito específico que será titular de la concesión. Los socios de esa empresa deben acreditar capacidad financiera, constructiva, operativa y administrativa para manejar la concesión.	Igual, pero sin acreditar las especialidades necesarias para el manejo de concesión
Plazo de la Concesión	Hasta el máximo legal de 30 años.	Variable, según la oferta del licitante ganador (era el criterio de adjudicación).
Financiamiento de la Construcción	Mediante la aportación inicial del Gobierno Federal, créditos bancarios y capital de riesgo.	Las obras se financiaron con créditos y con capital proveniente de estimaciones de obra no pagadas en su totalidad. Los sobre costos se financiaron con créditos corporativos que se registraron como capital. En algunos casos, los proyectos recibieron fondos públicos para asegurar la terminación de las obras.

Esta tabla continúa en la siguiente página

Continúa de la página anterior

TABLA I.7 (2/4) “COMPARACIÓN DE LOS ESQUEMAS”

TEMA	NUEVO ESQUEMA	PROGRAMA ANTERIOR 1989-1994
Compromiso de Aportación Subordinada	El gobierno Federal, a través del Fondo de Inversión en Infraestructura asumirá el compromiso de que, en caso de que los ingresos generados por el proyecto sean insuficientes para cubrir el servicio de la deuda, aportará las cantidades que el licitante hubiera solicitado en su propuesta para este concepto. Estas aportaciones, incluyendo sus intereses, deberán ser reembolsados.	No existía. Si el aforo era inferior al garantizado por Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), esta se comprometía a extender el plazo de la concesión.
Reembolso de gastos a Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).	El licitante ganador reembolsará a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) los gastos erogados en la preparación del proyecto ejecutivo, la realización de estudios, la liberación de derechos de vía y la obtención de permisos, a menos que las bases de licitación establezcan otra cosa.	El licitante ganador debía aportar un porcentaje preestablecido del monto de la inversión para estudios, proyectos, derechos de vía y supervisión, el cual no necesariamente coincidía con el gasto realizado.
Construcción del Proyecto.	En un plazo fijo, bajo la responsabilidad del licitante ganador.	En un plazo fijo, bajo la responsabilidad del concesionario. En muchos casos se concedieron ampliaciones por considerar que los retrasos no eran imputables al concesionario.
Ajustes al Proyecto Ejecutivo	Deberán ser autorizados por Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y serán por cuenta del licitante ganador.	Todos los cambios al proyecto autorizados por Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) debieron atenderse con cargo al proyecto.
Obras adicionales ordenadas por Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).	Deberán ser pagadas por Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con cargo a su presupuesto	También fueron cargadas al proyecto

Esta tabla continúa en la siguiente página

Continúa de la página anterior

TABLA I.7 (3/4) “COMPARACIÓN DE LOS ESQUEMAS”

TEMA	NUEVO ESQUEMA	PROGRAMA ANTERIOR 1989-1994
Supervisión del Proyecto	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) supervisará el cumplimiento de las obligaciones del concesionario, quien establecerá el sistema de control de calidad de las obras. El fiduciario, a través de un ingeniero independiente, supervisará los volúmenes de obra, avance de los trabajos, precios y fundamentación de estimaciones y pagos a los contratistas.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) llevara a cabo la supervisión general del proyecto. La concesionaria y el fiduciario contrataban con terceros la supervisión de la calidad, del avance físico y de las estimaciones y pagos.
Permisos	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) obtendrá derechos de vía, permisos ambientales y autorizaciones de Comisión Federal de Electricidad, Petróleos Mexicanos, Comisión Nacional del Agua e Instituto Nacional de Antropología e Historia. Otros permisos están a cargo de concesionarios.	En general se tramitaban después de adjudicada la concesión.
Caso Fortuito y Fuerza Mayor	Da lugar a extender el plazo de la concesión; el concesionario deberá asegurar contra ambos eventos; si el evento se prolonga, el concesionario puede terminar la concesión con pérdida del capital; Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) reconocerá el derecho de los acreedores de los créditos a que éstos les sean pagados con cargo a los flujos de la carretera.	Los títulos de concesión no contenían previsiones para regularlos, por lo que se aplicaron disposiciones del derecho común.
Garantía	Una carta de crédito como garantía de seriedad de la oferta; fianza por 3 % de la inversión a favor de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); fianza por el 17 % de la inversión a favor del Fondo de Inversión en Infraestructura; seguros contra todos riesgo asegurable.	Las garantías solicitadas cubrirán los compromisos del concesionario, pero no podían utilizarse para completar los proyectos en caso de incumplimiento.

Esta tabla continúa en la siguiente página

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Continúa de la página anterior

TABLA I.7 (4/4) “COMPARACIÓN DE LOS ESQUEMAS”

TEMA	NUEVO ESQUEMA	PROGRAMA ANTERIOR 1989-1994
Fondo de conservación	La concesionaria se compromete a contar con los recursos necesarios para pagar el mantenimiento mayor cuando éste se requiera.	El concesionario se obligaba a constituir un fondo de reserva, cuyo uso no estaba regulado.
Tarifas	Secretaría de Comunicaciones y Transportes establece una Tarifa Promedio Máxima (TPM), dejando libertad al concesionario para fijar las tarifas individuales de cada tipo de vehículo. Esta tarifa será actualizada anualmente con base en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC).	Resultaban de las ofertas que presentaban los licitantes.
Recuperación Anticipada	Si el desempeño de la concesión mejora las previsiones, los excedentes económicos que se generen serán compartidos entre el concesionario y el Fondo de Inversión en Infraestructura.	No existía este concepto; las utilidades eran en su totalidad para el concesionario.
Solución de Controversias	Si se trata de actos de autoridades, mediante los recursos de la legislación federal; Si se trata de controversias de naturaleza técnica o económica, a través de un comité de expertos. Si no se llega a un acuerdo, las partes podrán acudir al arbitraje bajo las reglas del Código de Comercio.	No había mecanismos intermedios para la atención de contingencias. Sólo se preveía resolver diferendos ante los tribunales

I.4 DESCRIPCIÓN DEL ANTEPROYECTO

El Gobierno del Estado de México y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través del Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares tiene contemplada una nueva Autopista de Toluca a Naucalpan (tramo Chamapa–Lechería) en el Estado de México con la modalidad de concesión y cuya finalidad será la de tener mejores condiciones geométricas que el camino actual y para beneficio de los usuarios de esta vía en cuanto a rapidez, seguridad y comodidad. Esta autopista es importante debido a que conduce al Aeropuerto de Toluca y a la Ciudad de Toluca, será una ruta alterna a la actual Autopista, la longitud de la autopista en cuestión tiene 35 km.

aproximadamente, los cuales fueron asignados mediante concurso de licitación pública. El proyecto considera la construcción de una carretera Tipo A-4 con ancho de corona de 21 m con dos carriles de circulación de 3.50 m en cada sentido y acotamientos laterales de 2.50 m. El tramo en cuestión objeto de este anteproyecto se desarrolló en su mayor parte siguiendo la trayectoria del camino existente, mejorando el alineamiento horizontal y vertical con la finalidad de cumplir con las Normas y Especificaciones para el tipo de camino que se menciona.

I.4.1 PUNTOS MÁS IMPORTANTES DE LA RED PRINCIPAL.

Hasta 1997 el Estado de México contaba con 4,933.39 km de carreteras pavimentadas, cifra que provienen del inventario nacional de infraestructura carretera, que realiza el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés). La tabla I.8 Tipo de Carreteras Pavimentadas, se describe el tipo de camino pavimentado.

Esta base cartográfica contiene la información carretera de mayor actualidad y exactitud, no sólo del Estado de México, sino de todo el país. La información empleada corresponde exclusivamente a la red carretera pavimentada (líneas) y el atributo asociado de jurisdicción.

TABLA I.8 “TIPO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS: JURISDICCIÓN Y LONGITUD EN EL ESTADO DE MÉXICO”

JURISDICCIÓN		Longitud (km)	Porcentaje (%)
Carretera Federal	Libre de dos carriles	676.05	13.70
	Libre de cuatro carriles	97.81	1.96
	Cuota de cuatro carriles	197.37	4.00
Carretera Estatal	Libre de dos carriles	3,510.57	71.16
	Libre de cuatro carriles	232.08	4.70
	Cuota de dos carriles	0.06	0.00
	Concesionada	101.98	2.07
Carreteras concesionadas		117.43	2.38
Total		4,933.39	100.00

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

De acuerdo a un estudio de “Accesibilidad de las localidades del Estado de México a la red carretera pavimentada”, que se publica en el Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México en el número 46 del año 2001, en las páginas de la 117 a la 130; por la red carretera pavimentada de 4,933.39 km los resultados promedio obtenidos para la accesibilidad física, más del 61 % de la población está a menos de 1 km de distancia de las carreteras pavimentadas y más del 90 % a menos de 2 km, incluyendo la consideración del relieve. Esto permite concluir que el Estado de México cuenta con una excelente cobertura vial, para desarrollar los servicios (de salud, educativos, abasto alimentario, etc.), que demandan las poblaciones con mayor número de habitantes. Si se considera el número de localidades en exclusivo, los resultados son igual de positivos, haciendo énfasis en que el uso del relieve como friccionante de la accesibilidad, diferencia considerablemente los niveles de acceso y el número de localidades impactadas. Lo anterior indica que el Estado de México se encuentra bien comunicado por su red de carreteras pavimentadas existentes; pero la explosión demográfica a hecho que se tenga una concentración de un parque vehicular privado, que para ser utilizado a una velocidad promedio de 80 km por hora se requiere de más vías de comunicación terrestre. El proyecto de la autopista de 4 carriles se va a desarrollar en tres de las regiones de las nueve, en que se divide el Estado de México, al poniente del Distrito Federal. El municipio de Toluca cuenta con una superficie municipal es de 420.14 kilómetros cuadrados, que corresponden al 1.87 % del territorio estatal. El municipio se localiza en la zona central del Estado de México. Sus coordenadas extremas varían de los 18° 59' 2" a los 19° 27' 9" de latitud norte, y de los 99° 31' 43" a los 99° 46' 58" de longitud oeste. La altura promedio es de 2,600 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Los municipios colindantes son al Norte Temoaya y Otzolotepec; al Noroeste Almoloya de Juárez; al Sur Villa Guerrero, Coatepec Harinas, Calimaya y Tenango del Valle; al Sureste Metepec; al Este Lerma y San Mateo Atenco y al Oeste Zinacantepec. Es la capital del Estado de México y se encuentra a 72 kilómetros distancia de la capital del país. Toluca significa “en donde está el dios Tolo” o “cerro del dios Tolo” o “lugar del dios Tolo”. Sus raíces gramaticales son

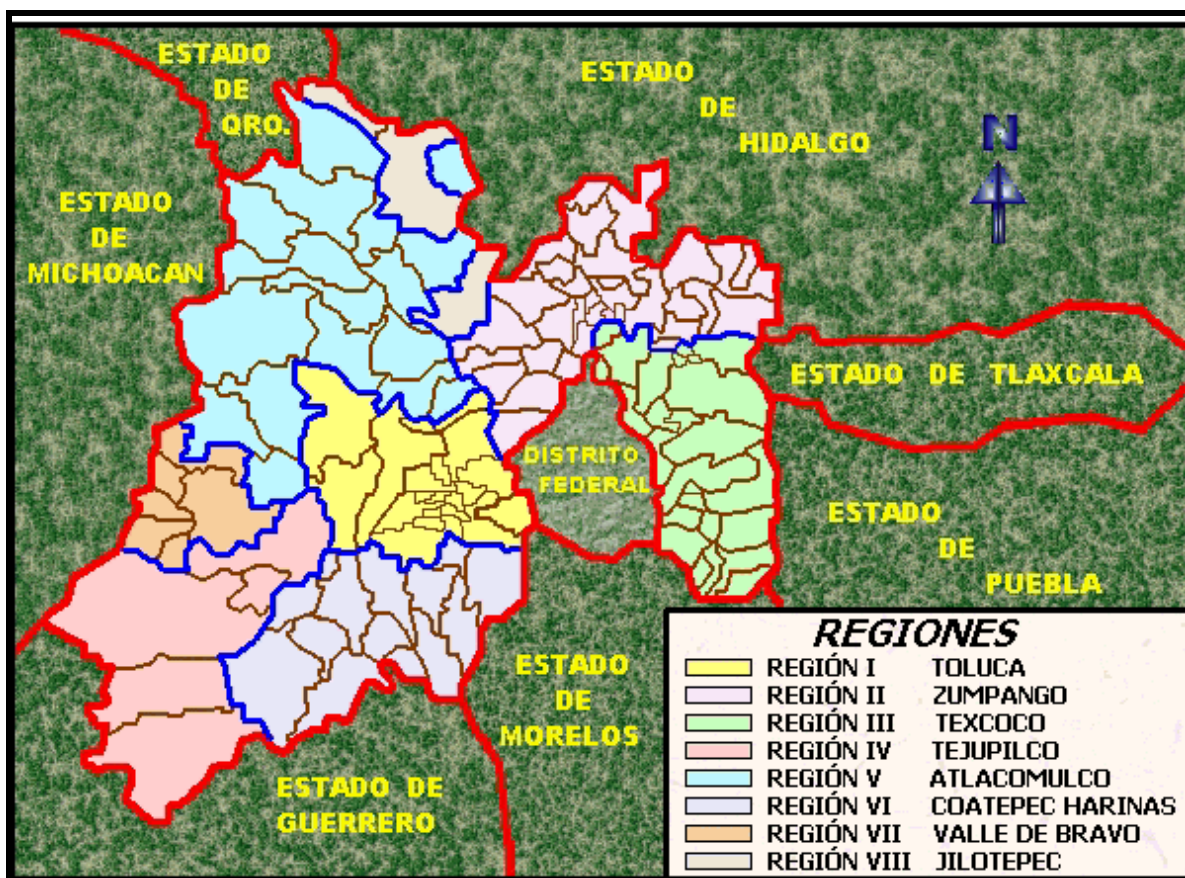
“Toloqui, de Toloa, inclinar o bajar la cabeza, cuyo participio tolo terminado en “o”, por tener función de adjetivo y referirse a una persona, puede finalizar con la sílaba qui, y en ca, lugar”.

En lo referente al Municipio Naucalpan de Juárez es uno de los 2,427 municipios del País, y de los 125 del Estado de México; las coordenadas de la cabecera municipal es: Longitud Norte 19° 28' y Longitud Oeste 99° 14' y su altitud 2,220 metros sobre el nivel del mar (msnm), tiene una extensión territorial de 149.86 kilómetros cuadrados y es uno de los más poblados. El municipio está ubicado en el Valle de México en la parte meridional y pertenece a la región II Zumpango, al Noroeste del Distrito Federal, limita al Norte Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz y Jilotzingo; al Sur Huixquilucan; al Este y Sureste el Distrito Federal; al Oeste nuevamente Jilotzingo, y al Suroeste los municipios de Otzolotepec, Xonacatlán y Lerma. Naucalpan, nombre Náhuatl, que algunos autores interpretan como “el lugar de los cuatro barrios” o “en los cuatro barrios”, pero de acuerdo a las raíces etimológicas quiere decir “en las cuatro casas”. El Estado de México se localiza en la zona central de la República Mexicana, en la parte oriental de la mesa de Anáhuac y se ubica geográficamente entre los paralelos 18° 21' y 20° 17' de latitud norte y 98° 36' y 100° 36' de longitud oeste, a una altura de 2,683 metros sobre el nivel del mar (msnm), en su planicie más alta que es el valle de Toluca, con una división Política de 125 Municipios que de acuerdo al II Censo de Población y Vivienda 2005 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, el Estado de México tiene 14,077,495 habitantes; Toluca 747, 512 Habitantes y Naucalpan 821, 442 habitantes. El Estado de México colinda al Norte con los estados de Querétaro e Hidalgo; y al Sur Guerrero y Morelos; al Este Puebla y Tlaxcala; y al Oeste Guerrero y Michoacán, así como con el Distrito Federal, al que rodea al Norte, Este y Oeste y precisamente en la frontera común del Noroeste del Distrito Federal. se tiene amplio Desarrollo Corporativo, Industrial y Habitacional que requiere de más vías de comunicación terrestre rápidas hacia la Zona Metropolitana de Toluca, esta última se ubica en la región I “Toluca” por lo cual se analizan las regiones I (Toluca), II (Zumpango). y V (Atlacomulco). Ya que el Anteproyecto de la autopista de Cuatro Carriles Toluca – Naucalpan se planea

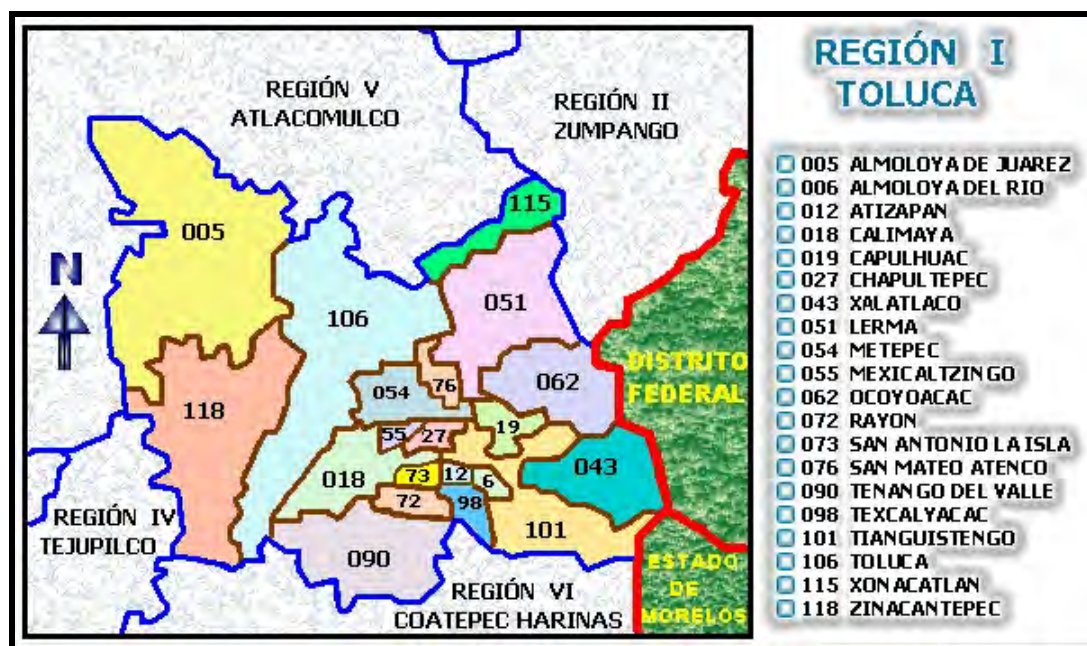
ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

que pase por los municipios de: Otzolotepec (Villa Cuauhtémoc), Xonacatlán de Vicencio, Huixquilucan y Naucalpan de Juárez. Sigue sensiblemente una dirección E-O. La longitud de la vialidad es de 2,300 hasta el Entronque Xonacatlán, mas 33,670 m del eje carretero numerados del km 0+000 hasta el km 33+670 en carretera Estatal 134, poco antes de su entronque con la autopista Chamapa-Lechería. Las principales carreteras que comunican estas tres regiones (Toluca, Zumpango y Atlacomulco) del estado de México son la carretera Estatal 134 y la carretera federal de cuota 130 en su tramo Chamapa-Lechería y la Carretera federal de cuota de cuatro carriles numero 15 México–Tepic, en el tramo de autopista México–Atlacomulco. En los siguientes mapas se presentan las tres regiones por donde se construirá el proyecto de cuota de la carretera de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan. La Entidad Mexiquense se encuentra dividida por regiones, como se indica en el Mapa I.2 “División del Estado de México por Regiones”.

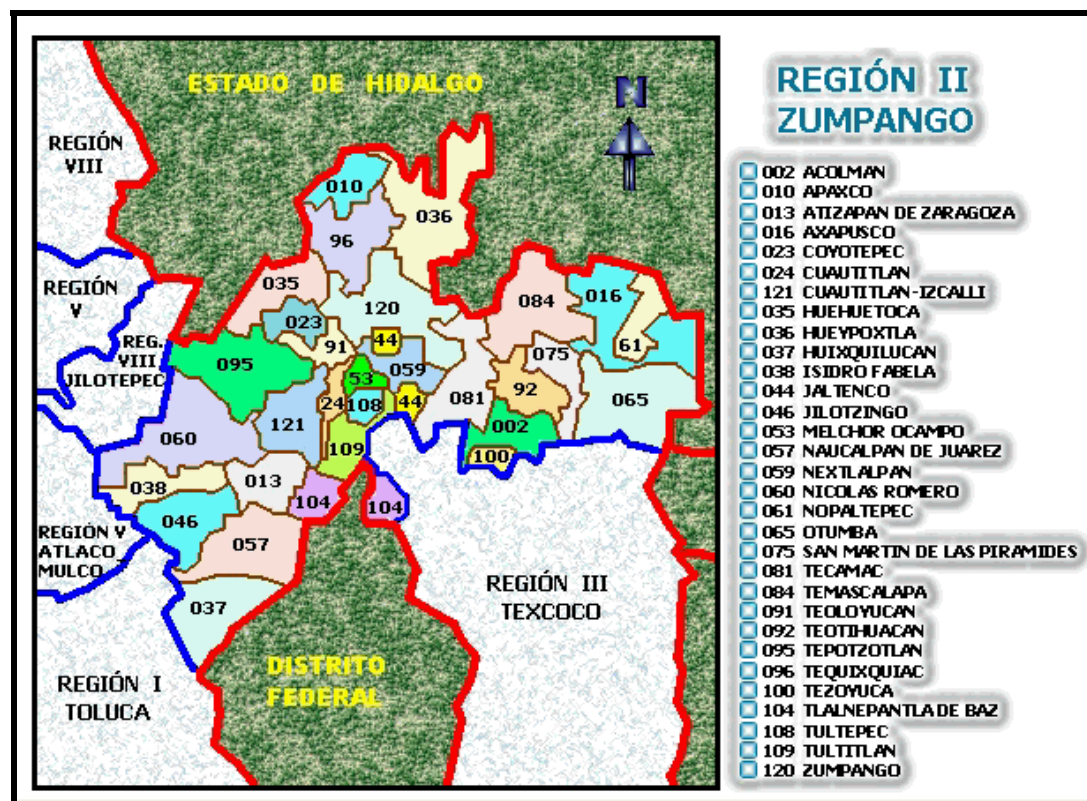
MAPA I.2 “DIVISIÓN DEL ESTADO DE MÉXICO POR REGIONES”



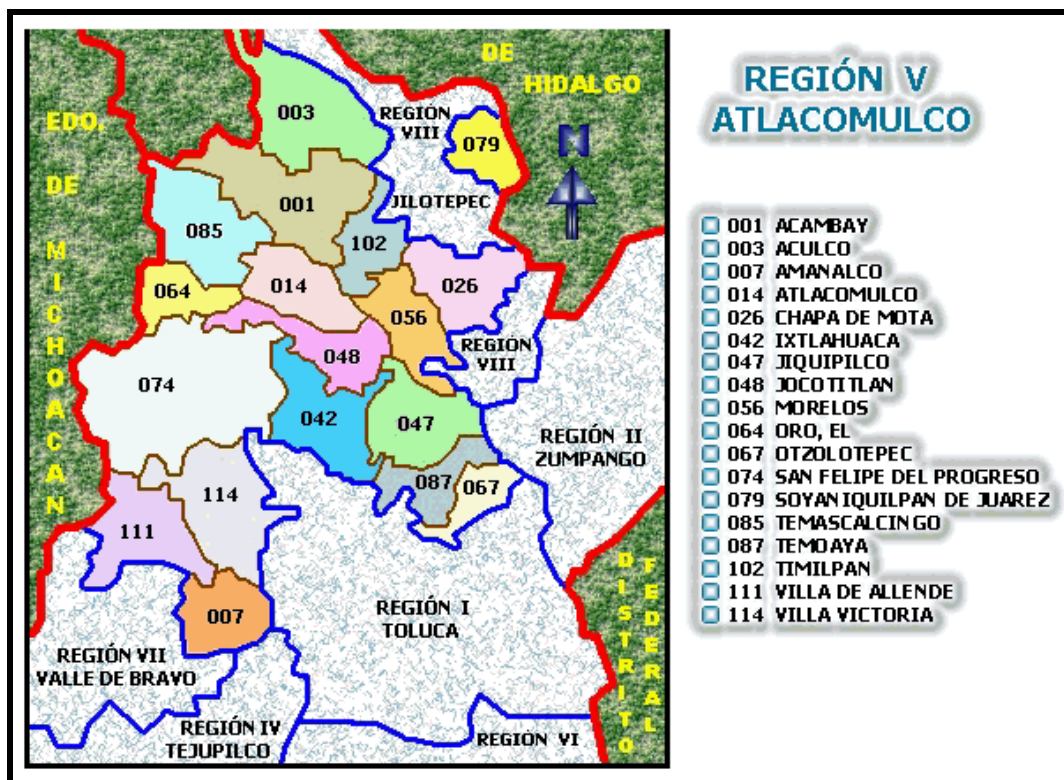
MAPA I.3 “REGION I TOLUCA Y MUNICIPIOS QUE LA CONFORMAN”



MAPA I. 4 “REGION II ZUMPANGO Y MUNICIPIOS QUE LO CONFORMAN”



MAPA I.5 “REGION II ZUMPANGO Y MUNICIPIOS QUE LO CONFORMAN”



I.4.2 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL TERRENO.

La ruta del “Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan” se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico. De acuerdo con dicha clasificación, se reflejan en dichas formaciones volcánicas se observan derrames y fisuras. Por lo que, en general la zona donde queda alojado el proyecto corresponde a terreno desde lomerío fuerte hasta montañoso. En ésta área, las características geológicas corresponden a formaciones del Cenozoico Cuaternario de origen ígneo–extrusivo del período reciente, aflorando tres unidades representadas por rocas basálticas, brechas volcánicas y tobas básicas. La zona en estudio se localiza dentro de la Provincia del Eje Neovolcánico, de acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964). El Eje Neovolcánico es una cadena montañosa formada principalmente por rocas ígneas extrusivas que se encuentra paralelo a la costa del Océano Pacífico y orientada de NW a SE y es una continuación del macizo montañoso de América Central. Por otro lado, el área pertenece a la Zona Sísmica No. 2 de la República Mexicana, la cual se ve afectada por los frecuentes

sismos y cuyos focos se localizan en una profundidad no mayor de 100 km y han tenido movimientos entre 3 y 6 grados de magnitud en la escala de Richter. (El 40% de los sismos se originan frente a las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca). El área refleja la acción de procesos magmáticos dentro de la cual se observan emisiones lávicas que formaron mesas, profundamente disectadas y por acumulaciones piroclásticas que formaron volcanes durante la Era Cenozoica. Particularmente se observan amplios derrames de fisuras y volcanes piroclásticos. En esta área, las características geológicas corresponden a rocas ígneas representada por basaltos y andesitas de coloración crema claro. En esta roca se observan de manera notable, las concentraciones de feldespato monoclinico (ortoclasa) y particularmente de cuarzo. La Geología de la zona en estudio, se remonta al período terciario superior, aflorando localmente tres unidades constituidas por tobas básicas y unidades del cuaternario compuestas por basaltos y brechas volcánicas. Las características geológicas corresponden a formaciones del cretácico superior clásico de origen ígneo, del período reciente con formaciones representadas por rocas andesíticas, tobas, conglomerado, gravas y arcillas con diferentes grados de compacidad, las zonas planas se aprovechan para cultivo, principalmente las arcillas superficiales cuyo espesor varía de 0.40 a 1.5 m. En el área, los suelos están constituidos principalmente por limos, arenas arcillosas y arenas limosas producto de la alteración de las andesitas y basaltos.

I.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES CONCEPTOS GEOLÓGICOS DEL SUELO.

- 1) Basalto:** constituido por derrames del cuaternario, de color negro a gris azulosos cuyos compuestos minerales son ortopiroceno, hematita, magnetita y clinopiroceno. Presentan estructura vesicular con fracturamiento intenso y poco intemperizado. Se origina como parte del volcanismo que originó el eje neovolcánico, se presentan como derrames en extensiones muy amplias.
- 2) Brecha Volcánica:** Esta unidad comprende diferente alternancia de material piroclástico y derrames basálticos, presentan diferentes tamaños y están poco consolidados los depósitos piroclásticos, son de

tamaño pequeño y la escoria se presenta como bloques y en ocasiones en bombas, se presentan sobrepuestos a cordones de lava en forma de conos volcánicos debido a emisiones de tipo fisural.

3) Dendrítico. Con forma de dendrita.

4) Dendrita.

a) Concreción mineral que en forma de ramas de árbol suele presentarse en las fisuras y juntas de las rocas.

b) Árbol fósil.

5) Tobas y brechas: Aunque usualmente los términos *toba* y *brecha* son aplicados a las rocas de origen sedimentario, también pueden estar formados por la consolidación de materiales piroclásticos (tobas y brechas volcánicas o tectónicas). Las materias de la chimenea o fragmentos de lava, que durante la erupción de un volcán quedan depositados en el cono volcánico, forman las rocas piroclásticas, las cuales dan lugar a las tobas y brechas una vez se han consolidado.

6) Las brechas volcánicas o tectónicas, son en realidad rocas de aspecto muy similar a los conglomerados (rocas sedimentarias), pero que en vez de estar formadas por sedimentos erosionados, transportados y depositados por los agentes externos, lo fueron en realidad por agentes geológicos internos; están compuestas por fragmentos angulosos de muy diversos tamaños. Por su parte, las *tobas volcánicas* también son materiales magmáticos consolidados, o fragmentos procedentes de la chimenea volcánica, pero que están compuestas por cenizas y arenas.

I.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Como ya se ha mencionado, la principal justificación y objetivo del proyecto es evitar que el tránsito que recogen las autopistas Chamapa Lechería y Libramiento NE de Toluca, tenga que recorrer la carretera estatal 134, cuyo trazo horizontal y vertical es deficiente y ocasiona congestionamiento y tiempos largos de recorrido. Los datos aforados señalan que actualmente, en la nueva vialidad, se podrían

tener hasta 6,000 automóviles, ello también demanda contar con vías de especificaciones de mayor capacidad, que eviten el tránsito y contaminación dentro de las áreas urbanas y que reduzcan el número de accidentes, que permitan mejores velocidades de operación y que acorten las distancias y tiempos de recorrido entre los grandes centros de producción y consumo.

I.5.1 ANÁLISIS POLÍTICO SOCIAL ADMINISTRATIVO.

La totalidad del proyecto se ubica dentro del Estado de México, ocupando parte de los municipios de: Otzolotepec (Villa Cuauhtémoc), Xonacatlán de Vicencio y Naucalpan de Juárez. De acuerdo a los 40 m de ancho de derecho de vía, se requerirán para el eje del trazo el cambio de uso del suelo de 134.80 ha para conformar el derecho de vía. Sin embargo es necesario y recomendable un derecho de vía de 60 m con lo que se requieren más de 200 Ha. La construcción ocupará entre líneas de ceros 124.04 Ha y se hará uso temporal de aproximadamente otras 20 Ha, dentro del propio derecho de vía, donde transitará y pernoctará la maquinaria de construcción. A lo largo del eje se impermeabilizará el ancho de la corona, equivalentes a 21.00 x 33+670 o sea 70.71 Ha. El trabajo se desarrollará en varias fases, una primera ya ejecutada, en la cual se llevó a cabo el proyecto. Aprobado éste por las diferentes autoridades que intervienen, se procederá a la adquisición del derecho de vía, posteriormente se proseguirá con la preparación del sitio y construcción y se iniciará la operación de la obra, posteriormente, en un plazo estimado de 8 a 10 años, según el Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA) registrado lo demande, se ampliará la autopista a cuatro carriles.

Para el proyecto ejecutivo de la Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan se requiere de un Programa de Operación y Mantenimiento, que el Anteproyecto no lo contempla porque no se llegó a hacer trabajo de campo; dichos programas son de acuerdo a lo siguiente.

- a) Programa de operación. No existen procesos para su operación ya que la carretera no es una industria productiva, la operación es continua las 24 horas de todos los días del año. Existe el servicio de vigilancia del tránsito vehicular a

cargo de la Policía Preventiva del Estado de México y, través de ésta, el servicio médico emergente. Estas actividades y servicios no producen emisiones o residuos. Las contingencias mayores ocasionadas por accidentes de tránsito o fenómenos naturales son atendidas en variadas formas, desde el envío de grúas para retirar vehículos accidentados hasta la participación de policía, ejército, paramédicos, etc., en casos críticos. Cada unidad tiene sus sistemas de comunicación y auxilio. Fuera de contingencias especiales los aumentos del flujo vehicular se presentan cíclicamente en los períodos vacacionales.

- b) Programa de mantenimiento. El mantenimiento de la carretera, en forma simple, se puede decir que se reduce a la conservación de la superficie de rodamiento y a la limpieza del derecho de vía, sobre todo limpieza de la vegetación entre líneas de ceros. La superficie de rodamiento tiene mantenimiento correctivo y preventivo, el primero en pequeñas superficies, que se conoce como “bacheo” o si el daño es grande puede extenderse hasta cubrir la superficie total de la vialidad y que conocemos como pavimentar o repavimentar, (esta última actividad es similar a la de construcción y usualmente incluye el reciclado del pavimento deteriorado), el mantenimiento preventivo consiste en la impermeabilización periódica de la superficie de rodamiento por medio de una impregnación con lechada de cemento, preferentemente antes de la temporada de lluvia. Debe existir una revisión permanente de la existencia y estado del señalamiento horizontal y vertical, el cual puede requerir de su reposición o de repintado. Periódicamente, al menos cada dos años, deberá efectuarse el deshierbe de los taludes de cortes y terraplenes, así como el de matorrales y arbustos que hayan iniciado su desarrollo en una faja de 5 m contigua a las líneas de ceros para que no interfiera con la visibilidad de los usuarios. Dicha actividad no se llevará a cabo empleando herbicidas ni “quemados”. Debe existir una vigilancia permanente, a cargo de personal especializado, de la obra de infraestructura, que permita la corrección inmediata de las deficiencias detectadas, ello permitirá disminuir el mantenimiento correctivo. Una suposición de dicho programa de mantenimiento pudiera ser la siguiente:

Sello de la carpeta asfáltica	Cada 2 años
Bacheo	Permanente
Pavimentación	Cada 8 años
Mantenimiento del señalamiento	Permanente
Deshierbe del derecho de vía	Cada 2 años
Limpieza de las obras de drenaje	Cada 2 años
Reparación de taludes	Permanente
Revisión y reparación de estructuras	Permanente
Limpieza de la vialidad.	Permanente

La unidad administrativa encargada de operar la carretera cuenta con brigadas que en forma permanente están realizando actividades de mantenimiento. En aquellas actividades excepcionales o de gran volumen, como puede ser la colocación nueva de carpeta asfáltica o la reparación de una estructura se hacen a contrato con empresas especializadas.

I.5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

La inversión requerida a precios actuales la evaluación económica hecha, estima que la obra, en esta etapa, tendrá un costo de \$ 35'770,044.33 por kilómetro, incluyendo aquellas medidas de mitigación pertinentes, esto da un precio de aproximadamente \$1,204,377,392.59 ó 93'380,685.61 Dólares Americanos (USD) según el tipo de cambio para solventar obligaciones denominadas en moneda extranjera al día 28 de agosto de 2009. En lo referente al Análisis Económico, en el Capítulo V “Estudio Económico” del presente trabajo se presenta el presupuesto con los costos unitarios del Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles. Ya que el Capítulo I “Antecedentes” se ha caracterizado por enumerar los aspectos que deben de contemplar los inversionistas para participar en este proyecto que será concesionado; a partir del siguiente Capítulo II “Elección de Ruta” se tratan las particularidades del “Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles de Toluca–Naucalpan”.

CAPÍTULO II

ELECCIÓN DE RUTA

CAPITULO II

ELECCIÓN DE RUTA

Antes de iniciar con el desarrollo del capítulo es necesario hacer la aclaración que el presente estudio corresponde al Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan, por lo que no se realizaron trabajos de campo, y el desarrollo del trabajo únicamente se realizó en gabinete. Las actividades subsecuentes que no son objeto de este trabajo son la elaboración del proyecto ejecutivo y la construcción del mismo.

El proceso de la elección de ruta se realiza en varias etapas. Se inicia con el trazo de líneas de ruta. Primero se realiza en cartas topográficas escala 1:50,000, elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI), II.1 “Trazo de Ruta a Escala 1:50,000”, por la escala a la que están hechas estas, las curvas de nivel que representan las cartas se encuentran a cada 20 m lo que implica que la precisión del trazo de las líneas es poco exacto, por ello después de trazar las posibles rutas a elegir se realiza un vuelo alto donde se obtienen fotografías aéreas Figura II.2 “Foto Aérea Escala 1:25,000” y con esta se realizan planos a escala 1:5,000, donde las curvas de nivel se encuentran a cada 5 m, por lo tanto la precisión del trazo es mejor, y se realiza el alineamiento horizontal y vertical de las rutas, la precisión en esta etapa es aceptable, pero aun no es suficientemente detallada como para realizar el trazo de la línea a estudiar, por lo cual una vez marcado las rutas a escala 1:5,000 se realiza un vuelo bajo y se obtienen planos a escala 1:2,000, lo que implica curvas de nivel a cada 2 m, es en estos planos donde se trazan el alineamiento horizontal y vertical definitivo a estudiar Figura. La siguiente etapa consiste en comparar técnicamente las rutas propuestas y elegir la más conveniente.

En el caso particular del anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan el estudio se realizó solo hasta la escala 1:5,000, debido a que los alcances del proyecto especificaban que los estudios se realizarían hasta esta escala, puesto que el

estudio es a nivel de anteproyecto y no es necesario realizarlo con mayor precisión.

II.1 SELECCIÓN DE RUTA.

La selección de ruta es la etapa más importante del proyecto de este tipo de obras de infraestructura, pues los errores que se cometen en las etapas subsecuentes se corrigen de una manera más fácil y económica que una falla en el proceso de elección de ruta, que en general consiste en varios ciclos de reuniones, reconocimientos, informes y estudios.

En esta fase los trabajos son de carácter interdisciplinario, ya que intervienen profesionales de diferentes ramas de ingeniería, como especialistas en proyectos geométrico y en plantación e ingenieros geólogos.

La selección de ruta es un proceso que involucra varias actividades, desde el acopio de datos, examen y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios para determinar a este nivel los costos y ventajas de las diferentes rutas para elegir la más conveniente. Esta es una de las fases más importantes en el estudio de una carretera.

Con este fin es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que básicamente comprenden el estudio comparativo de todas las rutas posibles y convenientes, para seleccionar en cada caso la que ofrezca las mayores ventajas económicas y sociales.

Se entiende por ruta la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino. Mientras más detallados y precisos sean los estudios para determinar la ruta, el ancho de la franja será más reducido. Los puntos obligados son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino, por razones técnicas, económicas, sociales y políticas, tales como: poblaciones, sitios o áreas productivas, causes de ríos y puertos orográficos.

En lo que se refiere al acopio de datos, la topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y el uso de la tierra, tienen un efecto determinante en la localización y en

la elección del tipo de carretera, conjuntamente con los datos de tránsito, constituyen la información básica para el proyecto de estas obras.

El proyectista debe contar con cartas geográficas y geológicas, sobre las cuales ubicar esquemáticamente las diferentes rutas.

Para las zonas de influencia de la obra en proyectos, se recopila la información sobre las obras existentes, así como la que se pueda obtener sobre las planeadas a corto y largo plazo. Los datos de tránsito para carreteras existentes, se obtienen por medio de los aforos que se realizan sistemáticamente en la red de carreteras; cuando es necesario se practican estudios de origen destino.

II.1.1 SELECCIÓN DE RUTA ESCALA 1:50,000

En las cartas topográficas escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI) se marcará el origen y el destino de la ruta y se analizan varias alternativas de trazo las cuales se dibuja sobre las cartas para estimar su longitud, cruces de ríos y arroyos, proximidad a centros de población, pendientes de terreno, zonas boscosas y de cultivos, etc.

Una vez que se tenga las alternativas se selecciona aquellas que resulten más viables para continuar con el anteproyecto.

El objetivo del proyecto es el comunicar eficientemente a la ciudad de Toluca con Naucalpan de Juárez, se plantean varias alternativas quedando solo dos alternativas como las más viables. La primera ruta denominada alternativa 1 pasa por arriba de la actual carretera simbolizada por el color azul y la segunda ruta denominada “Alternativa 2” por debajo tratando de aprovechar un tramo del trazo del ferrocarril, que corresponde a la de color rosa.

Los puntos obligados del trazo son el cruce con la carretera actual Toluca-Naucalpan, la cual esta representada por el color amarillo. Las dos alternativas parten de esta última en el tramo que esta cercano a la población de Xonacatlán. La primera alternativa terminara en la intersección con la carretera Toluca-Naucalpan por el poblado de La Rosa. La segunda alternativa termina en la intersección con Chamapa-La Venta, a la altura del cruce de Ferrocarril México-Toluca-Nuevo Laredo, el cual esta señalado con el color verde. En la carta se

muestran los escurrimientos más representativos en color azul. Figura II.1 “Trazo de Rutas Escala 1:50,000” Plano 1/2

II.2 ALTERNATIVAS PROPUESTAS Y SELECCIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA.

Teniendo las rutas posibles se continua con el análisis de cada una de ellas, para lo cual se realizarán los trabajos de campo, el vuelo fotográfico escala 1:25,000, la restitución fotogramétrica escala 1:5,000, el análisis de longitudes totales, velocidades de proyecto, alineamiento vertical y horizontal puentes, obras de drenaje, paso por zonas urbanas, cruces de ferrocarril, análisis de entronques a nivel y desnivel, así como pasos superiores y pasos en general.

Una vez que se obtengan los datos de cada una de las alternativas se comparan entre sí para seleccionar aquella que sea la ruta óptima y continuar con el desarrollo del anteproyecto.

II.2.1 TRABAJOS DE CAMPO.

Una vez presentada las rutas en los mapas geográficos cartas topográficas elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI), se inicia propiamente el trabajo de campo con reconocimientos del terreno, los cuales pueden ser: aéreos o terrestres, los cuales se describen a continuación, para el desarrollo del trabajo, solo se realizo el reconocimiento aéreo.

II.2.1.1 RECONOCIMIENTO AÉREO.

El reconocimiento aéreo es el que ofrece mayor ventaja sobre los demás, por la oportunidad de observar el terreno desde la altura que convenga, abarcando grandes zonas, lo que facilita el estudio.

De acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), se efectúa en dos etapas.

La primera consiste en un recorrido en avioneta y tiene por objeto determinar las rutas que se consideren viables y fijarse el área que se debe fotografiarse a escala 1:50,000, para que en ellas queden incluidas con amplitud.

Al final de este reconocimiento determina la zona por cubrir con fotografías a escala 1:50,000.

El segundo reconocimiento se lleva a cabo después de haber hecho la interpretación de las fotografías a escala 1:50,000 y tiene por objeto comprobar en el terreno lo estudiado en las fotografías; este reconocimiento se efectúa en helicóptero, lo que permite a los ingenieros descender en los lugares de interés y recabar en ellos la información que consideren necesaria.

Al finalizar este reconocimiento, se delimita la zona que deberá cubrirse con fotografías escala 1:25,000

En la actualidad estas etapas se realizan en gabinete, no se realiza el reconocimiento físico debido a que el presupuesto asignado a los proyectos no considera un análisis con tanto detalle y por lo cual se ha tenido adaptarse.

II.2.1.2 RECONOCIMIENTO TERRESTRE.

Este tipo de reconocimiento se lleva a cabo cuando por las circunstancias existentes no es posible realizar el aéreo: es menos efectivo que este ya que el ingeniero localizador no puede abarcar grandes áreas y tiene que estudiar por partes el camino.

Es muy importante contar con un guía que conozca la región, para tener la seguridad de que el recorrido se haga sobre los mismos lugares que previamente se han fijado en la carta.

II.2.1.3 VUELO FOTOGRÁFICO ESCALA 1:25,000

Para el caso de este estudio se obtuvo información de un reconocimiento aéreo que consistió en un vuelo alto donde se tomaron fotografías aéreas con una escala de 1:25,000, las cuales se ocupan en la realizar la restitución fotogramétrica.

Para la realización del vuelo fotográfico, sobre las cartas topográficas escala 1:50,000 se delimita el área por fotografiar, se traza las líneas de vuelo y se numeran. Se calcula la altura a la que deberá volar el avión considerando la elevación promedio del terreno de cada línea y se mide la longitud de cada línea.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

La escala de las fotografías será de 1:25,000 y la variación no será mayor de $\pm 10\%$ en promedio, con respecto a dicha escala, un ejemplo de una foto aérea se presenta en la Figura II.2 “Foto Aérea Escala 1:25,000”

FIGURA II.2 “FOTO AEREA ESCALA 1:25,000”



Las fotografías se digitalizan y se referencian con ayuda del control terrestre.

Las fotografías aéreas son imágenes de la superficie del terreno bajo estudio, tomadas verticalmente desde un avión, en blanco y negro o en color, que permiten el estudio estereoscópico y la fotointerpretación de los rasgos característicos del área fotografiada, así como la obtención de su modelo tridimensional mediante la restitución aerofotogramétrica. Con ayuda de las fotografías aéreas se pueden obtener mucha información del sitio de estudio como por ejemplo:

Características físicas de las fotografías. El tono y la textura en una fotografía tiene un papel muy importante; cada uno de los tonos entre blanco y el negro y su frecuencia de cambio en la imagen manifiesta la textura, haciendo más fácil la identificación de los objetos: por ejemplo, en las fotografías aéreas las cimas de las montañas se ven más claras que las barrancas, porque aquéllas reciben más luz del Sol.

Características topográficas y geomorfológicas. El aspecto del relieve generalmente indica la dureza de los materiales: los materiales resistentes forman partes altas con taludes acentuados y los materiales blandos forman llanuras o lomeríos suaves; a cada resistencia de material corresponde un talud natural, por lo que puede indicar flujos, plegamientos, fracturas, etc.; el drenaje está dado por la pendiente del terreno y por las características de la resistencia a la erosión de los materiales superficiales y subyacentes de la zona, así como por las fracturas y las fallas.

Características de la vegetación. Por el tipo de vegetación se puede identificar el tipo de suelo y el de la roca original. Un determinado tipo de vegetación puede identificar la composición del suelo, contenido de humedad, permeabilidad, variaciones de su espesor y de su pendiente, toda esta información es utilizada en el análisis de las rutas propuestas.

II.2.2.4 CONTROL TERRESTRE.

Las diferentes elevaciones del terreno y los movimientos del avión y de la cámara, durante los vuelos fotográficos, son la causa de los cambios de escala, la deriva el cabeceo y balanceo que presentan las fotografías aéreas. Por esta razón es indispensable determinar en el terreno la posición y la elevación de puntos

previamente seleccionados, que permitan relacionar cuantitativamente al terreno con sus imágenes fotográficas. Con este control terrestre se puede utilizar las fotografías aéreas como un medio para obtener planos detallados y precisos del área requerida.

A la obtención de cartas o planos del terreno por medio de fotografías aéreas y control terrestre se le llama restitución.

II.2.2 RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA.

La restitución fotogramétrica consiste en el trazo preciso a escala de la altimetría, planimetría e hidrografía contenidas en las fotografías aéreas escala 1:25,000, las cuales se apoyan en las coordenadas de los vértices y puntos de control, y son observadas en estaciones fotogramétricas que digitalizan los trazos mediante un programa de aplicación en computadoras (software) fotogramétrico.

La restitución fotogramétrica digital se realizará a escala 1:5,000 con curvas de nivel cada 5 metros.

Se trazan todos los detalles planimétricos que sean visibles en las fotografías aéreas, tales como vías de comunicación existentes, poblados, rancherías, construcciones aisladas, áreas de vegetación, cultivos, líneas y torres de energía eléctrica, líneas de conducción, ríos, arroyos, escurrimientos, cuerpos de agua, canales, etc.,

La altimetría se representa por un modelo digital del terreno el cual se genera mediante restitución fotogramétrica incluyendo líneas de quiebre. Las curvas de nivel, con equidistancia de 5 metros se genera a partir del modelo digital del terreno mediante equipos especializados. Tanto las curvas de nivel intermedias como las maestras serán trazadas y representadas por polilíneas que contengan por sí mismas sus coordenadas X, Y, Z.

En la Figura II.3 “Restitución Fotogramétrica” plano 2/2 se muestra una sección de la restitución donde se puede observar los datos antes mencionados. Se presenta un tramo de la restitución del km 0+000 al 5+000, esta información se utiliza para elaborar los planos de alineamiento vertical y horizontal que se presentan en el Capítulo IV “Anteproyecto”.

II.2.3 ELEMENTOS DEL PROYECTO GEOMÉTRICO.

Antes de describir las alternativas de ruta se describirán términos que ayuden a entender los criterios utilizados para plantear las rutas propuestas.

- Alineamiento horizontal. Proyección del eje del eje de proyecto de una carretera sobre un plano horizontal.
- Alineamiento vertical. Proyección del desarrollo del eje de proyecto de una carretera sobre un plano vertical.
- Corona. Superficie terminada de una carretera comprendida entre sus hombros.
- Curva circular horizontal. Arco de circunferencia del alineamiento horizontal que une dos tangentes consecutivas.
- Curva espiral en transición. Curva del alineamiento horizontal que liga una tangente con una curva circular, cuyo radio varía en forma continua, desde infinito para la tangente hasta el de curva circular.
- Curva vertical. Arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical.
- Derecho de vía. Superficie del terreno cuyas dimensiones fija la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación.
- Entronque. Se le denomina entronque a la zona donde dos o más caminos se cruzan o unen, permitiendo las corrientes del tránsito.
- Grado de curvatura. Es el ángulo subyacente a un arco de 20 m.
- 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.
- Pendiente. Relación entre el desnivel y la distancia horizontal que hay entre dos puntos.

- 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 a la longitud crítica correspondiente.
- Pendiente mínima. Es la menor pendiente que una tangente vertical debe tener en los tramos en corte para el buen funcionamiento de drenaje de la corona y las cunetas.
- Rasante. Proyección del desarrollo del eje de la corona de una carretera sobre un plano vertical.
- Talud. Inclinação de la superficie de los cortes o de los terraplenes.
- Tangente horizontal. Tramo recto del alineamiento horizontal de una carretera.
- Tangente vertical. Tramo recto del alineamiento vertical de una carretera.

Para realizar el anteproyecto de una obra vial primero se requiere conocer los elementos del proyecto geométrico, los cuales se agrupan en: alineamiento horizontal, alineamiento vertical y secciones transversales de la obra. Después, se estudiara la forma como se llevara a cabo el anteproyecto, esto es, su metodología.

II.2.3.1 ALINEAMIENTO VERTICAL.

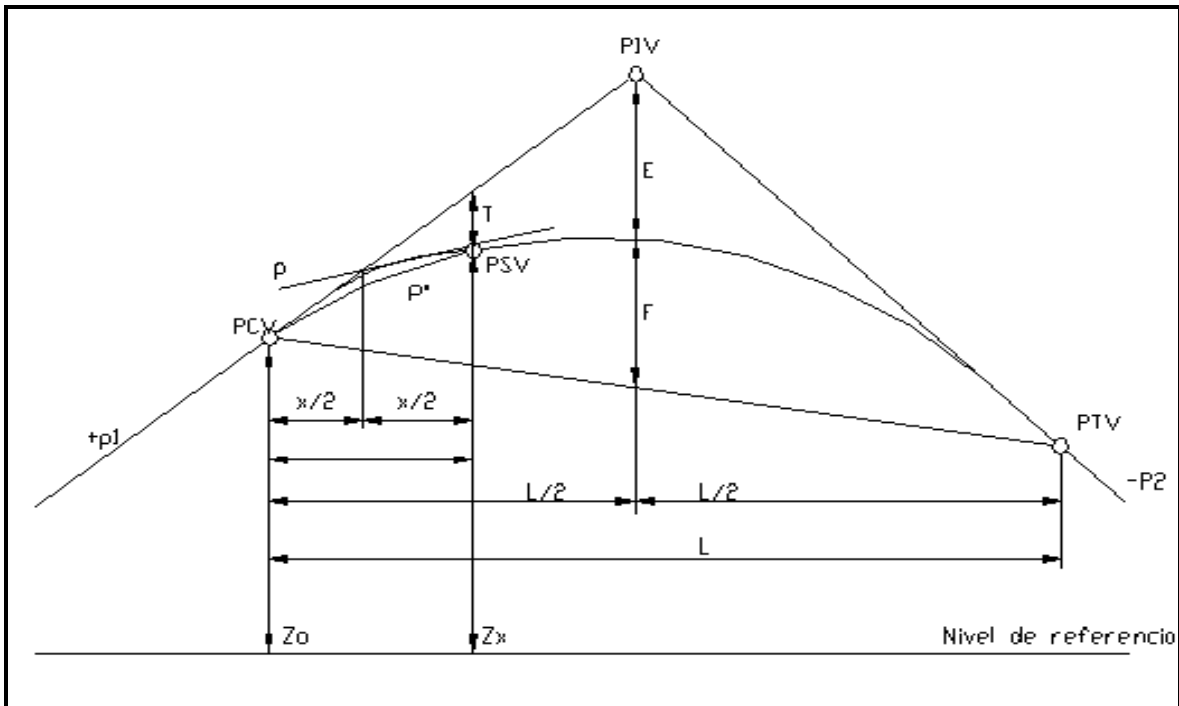
El alineamiento vertical es la proyección del desarrollo del centro de línea de una vía terrestre sobre un plano vertical; sus elementos son las tangentes verticales y las curvas verticales.

Las tangentes verticales están definidas por su longitud y su pendiente (la longitud de cualquier tramo del proyecto geométrico es la distancia horizontal entre sus extremos). La prolongación hacia delante de una tangente y la prolongación hacia atrás de la tangente siguiente se cortan en un Punto de Inflexión Vertical (PIV), cuyos elementos son el cadenamiento y la elevación.

Para el proyecto de alineamiento vertical se definen tres tipos de pendientes de las tangentes verticales: mínima, gobernadora o máxima. La mínima se requiere para asegurar el drenaje de la corona de camino y se especifica de 0.5 %. La pendiente gobernadora, en teoría, se puede mantener en forma indefinida a lo largo de todo el trazo. La pendiente máxima es la mayor que se puede usar en un proyecto. Las pendientes mayores que la gobernadora, incluyendo por supuesto a la máxima, sólo se pueden usar en las longitudes críticas, tanto la pendiente gobernadora como la máxima se especifican en función del tipo de camino y de la topografía de la zona. De hecho el proyecto de alineamiento vertical estará constituido por una combinación de pendientes verticales que, dentro de las alternativas estudiadas, hará que el tiempo recorrido sea el menor.

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 proyecto) de los vehículos es constante a través de ella.

FIGURA II.4“ELEMENTOS DE CURVA VERTICAL”



PIV = Punto de Intersección de las tangentes Verticales.

PCV = Punto en donde Comienza la Curva Vertical.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

PTV = Punto en donde Termina la Curva Vertical.

PSV = Punto cualquiera Sobre la Curva Vertical.

p_1 = Pendiente de la tangente de entrada, en m/m.

p_2 = Pendiente de la tangente de salida, en m/m.

A = Diferencia algebraica de pendientes.

L = Longitud de la curva vertical, en metros.

K = Variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro).

x = Distancia del Punto en Donde Comienza la Curva Vertical (PCV) a un Punto cualquiera Sobre la Curva Vertical (PSV), en metros.

p = Pendiente en un Punto cualquiera Sobre la Curva Vertical (PSV), en m/m.

p' = Pendiente de una cuerda, en m/m.

E = Externa, en metros.

F = Flecha, en metros.

T = Desviación de un Punto cualquiera Sobre la Curva Vertical (PSV) a la tangente de entrada, en metros.

Z_0 = Elevación del Punto en donde Comienza la Curva Vertical (PCV), en metros.

Z_x = Elevación de un Punto cualquiera Sobre la Curva Vertical (PSV), en metros.

Nota: Si X y L se expresan en estaciones de 20 m la elevación de un PSV puede calcularse con cualquiera de las expresiones:

$$Z_x = Z_0 + (20 p_1 - (10AX/L))X$$

$$Z_x = Z_0 - 1 + 20 p_1 - (10A/L)(2X - 1)$$

$$A = P_1 - (-P_2)$$

$$K = L/A$$

$$P = P_1 - A (X/L)$$

$$P' = \frac{1}{2} (P_1 + P)$$

$$E = (AL) / 8$$

$$F = E$$

$$T = 4E (X/L)^2$$

$$Z_x = Z_0 + [P_1 - (AX/2L)] X$$

La curva que cumple con esta peculiaridad es la parábola; hay dos tipos de curva: en cresta y en columpio.

La longitud de las curvas verticales debe garantizar el drenaje, tener buena apariencia y proporcionar comodidad al usuario. Para calcular la longitud de estas curvas, las normas de proyecto geométrico incluyen las graficas de la Figuras: II.5 “Longitud Mínima En Las Curvas Verticales En Columpios” y II.6 “Longitud Mínima En Las Curvas Verticales En Cresta”

FIGURA II.5 “LONGITUD MÍNIMA EN LAS CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO”

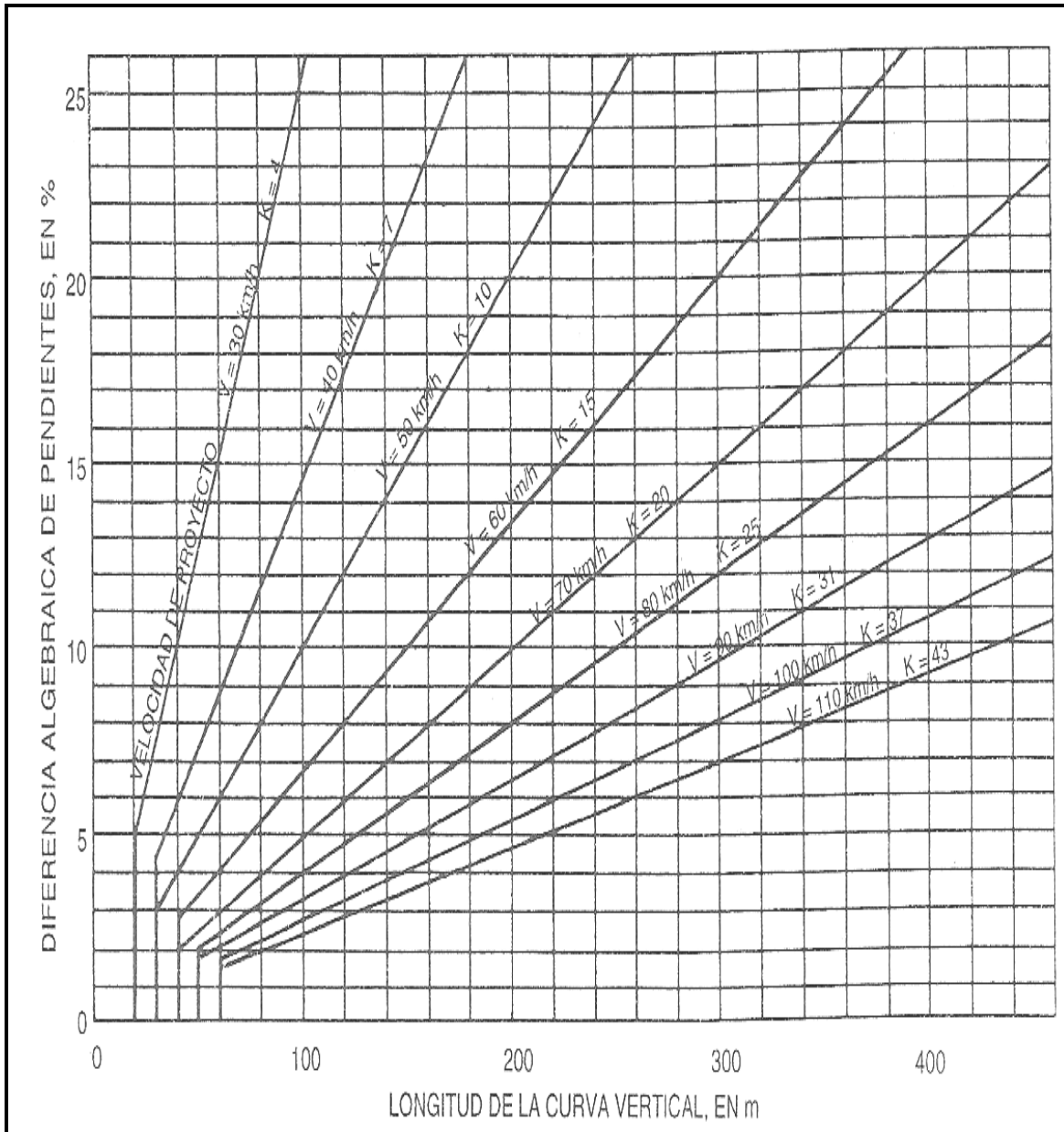
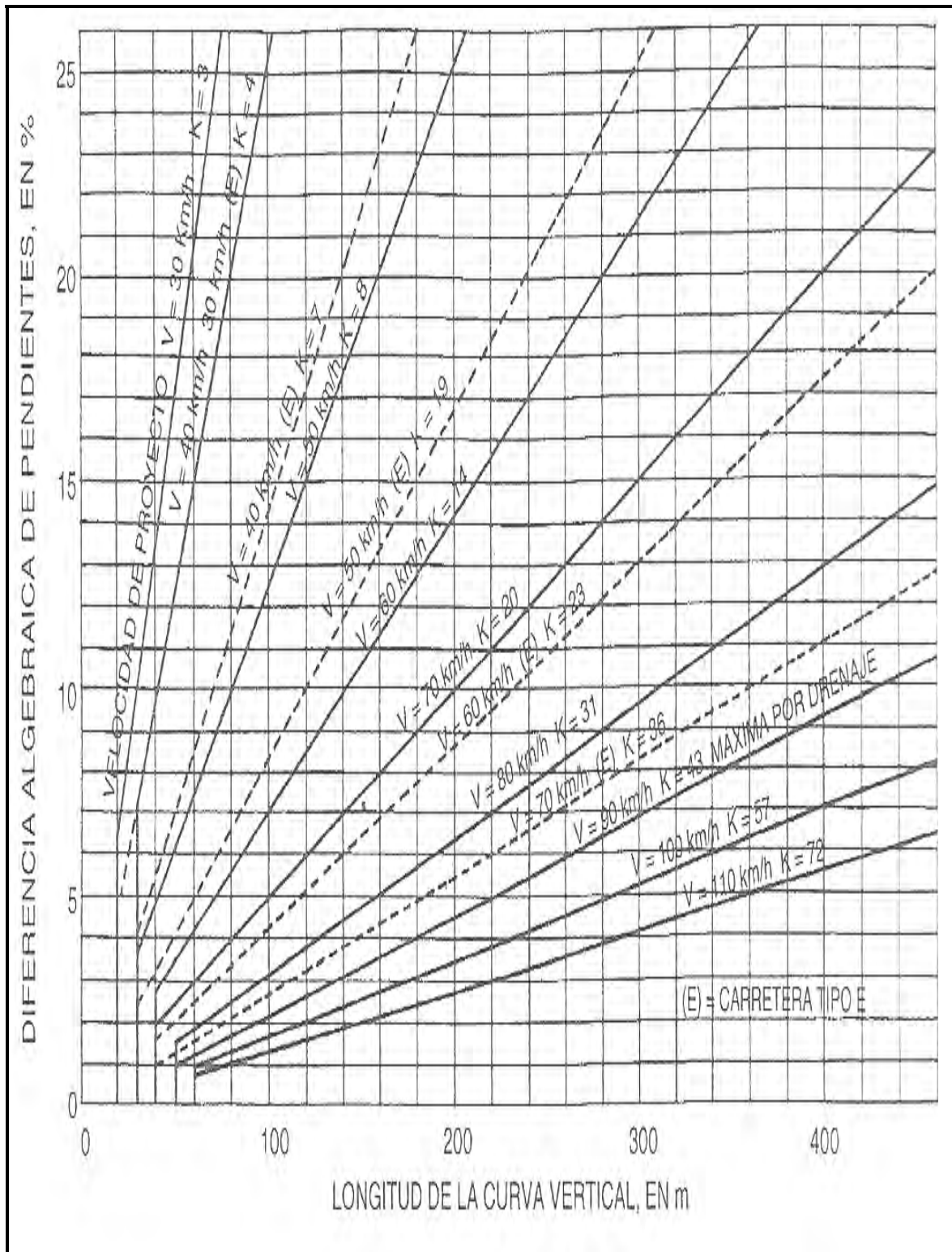


FIGURA II.6 "LONGITUD MÍNIMA EN LAS CURVAS VERTICALES EN CRESTA"



Es conveniente que la longitud de las curvas verticales tenga un número par de estaciones de 20 m y que el Principio de Curva Vertical (PCV) coincida exactamente en una estación. La fórmula para calcular la elevación de las diferentes estaciones de 20 m es la siguiente:

$$Z_n = Z_{n-1} + (P_1/5) - (A(2n+1)/10n)$$

Z_n = Elevación de un punto.

Z_n = Elevación del punto anterior.

P_1 = Pendiente de entrada.

A = Diferencia algebraica de pendientes.

N = Número de estaciones en la longitud total de la curva.

n = Número de estaciones de Principio de Curva Vertical (PCV) al punto considerado.

La fórmula anterior puede programarse en calculadora o computadora para obtener, solo con los datos iniciales, las elevaciones de las estaciones intermedias y del Principio de Tangente Vertical (PTV); dicha formula debe coincidir con la elevación que se calcule en función de la mitad de la longitud de la curva, la pendiente de la tangente de salida y la elevación del Punto de Inflexión Vertical (PIV)

II.2.3.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino. Los elementos que integran al alineamiento horizontal son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición. Las tangentes del alineamiento 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.

La longitud mínima de una tangente horizontal es aquella que se requiere para cambiar en forma conveniente la curvatura, la pendiente transversal y el ancho de la corona. En teoría la longitud máxima puede ser indefinida, por ejemplo, en las zonas muy llanas; sin embargo, en estas regiones se limita a 15 km por razones

de seguridad, ya que las longitudes mayores causan somnolencia y dañan los ojos de los operadores.

Es factible que se presenten accidentes graves en los terrenos donde se pueden tener tangentes de mayor longitud que la señalada, por lo cual es conveniente introducir bayonetas con dos o tres curvas amplias a distancias de aproximadamente 15 km en donde más convenga para cumplir con la condición anterior.

Dos tangentes consecutivas del alineamiento horizontal se cruzan en un Punto de Inflexión (PI), formando entre si un ángulo de deflexión (Δ), que está constituido por la continuación de la tangente de entrada hacia delante del Punto de Inflexión (PI) y la tangente de salida.

En general, para cambiar la dirección de un vehículo de una tangente horizontal a otra se requieren curvas cuya longitud sea proporcional a la variación de la aceleración centrífuga, y con las cuales la aceleración centrífuga de los vehículos varíe de cero a un máximo hacia el centro y luego disminuya a cero al llegar a la tangente posterior.

Como no es posible utilizar una espiral para realizar el cambio, se utilizan dos, una de entrada otra de salida, y se acostumbra colocar entre ellas una curva circular en la que no hay cambio de aceleración centrífuga y que se identifica por su grado de curvatura, esto es, el ángulo subtendido por un arco de 20 m. Dado que el ángulo de 360° subtiende un arco de $2\pi R$, el ángulo subtendido por un arco de 20 m es por lo que:

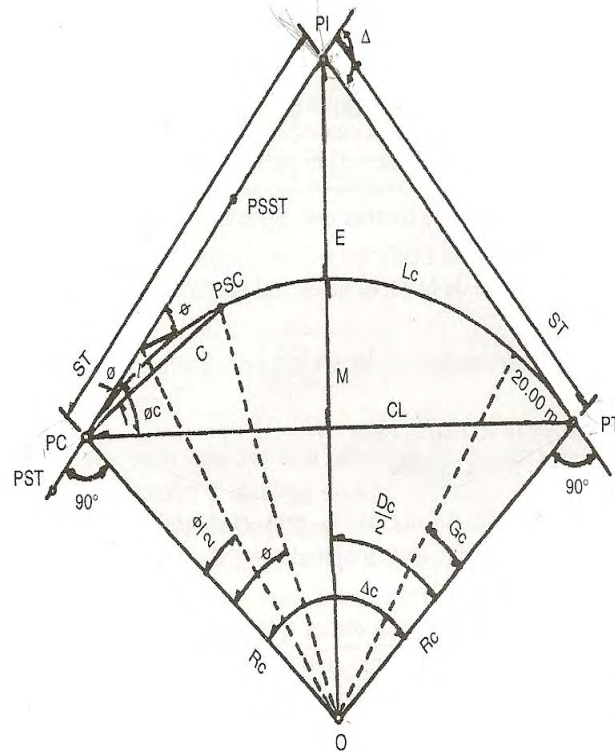
$$360/2\pi R = G_c/20$$

$$G_c = 1,145.96/R$$

G_c Grado de curvatura

Los elementos de una curva circular con espirales de entrada y salida se muestran en las siguientes Figuras: II.7 “Elementos de la Curva Circular Simple” y II.8 “Elementos de la Curva Circular con Espiral”

FIGURA II.7 "ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE"



PI Punto de
intersección de
la prolongación
de las tangentes

PC	Punto en donde comienza la curva circular simple
PT	Punto en donde termina la curva circular simple
PST	Punto sobre tangente
PSST	Punto sobre subtangente
PSC	Punto sobre la curva circular
O	Centro de la curva circular
Δ	Ángulo de deflexión de la tangente
Δc	Ángulo central de la curva circular
θ	Ángulo de deflexión a un PSC
φ	Ángulo de una cuerda cualquiera
φc	Ángulo de la cuerda larga
Gc	Grado de curvatura de la cuerda circular
Rc	Radio de la curva circular

ST Subtangente

E Externa

M Ordenada media

C Cuerda

CL Cuerda larga

l Longitud de un arco

Lc Longitud de la curva circular

$$Rc = \frac{114592}{Gc}$$

$$ST = Rc \tan \frac{\Delta c}{2}$$

$$E = Rc \left(\sec \frac{\Delta c - 1}{2} \right)$$

$$M = Rc \sin \text{Ver} \frac{\Delta c}{2}$$

$$C = 2Rc \sin \frac{\theta}{2}$$

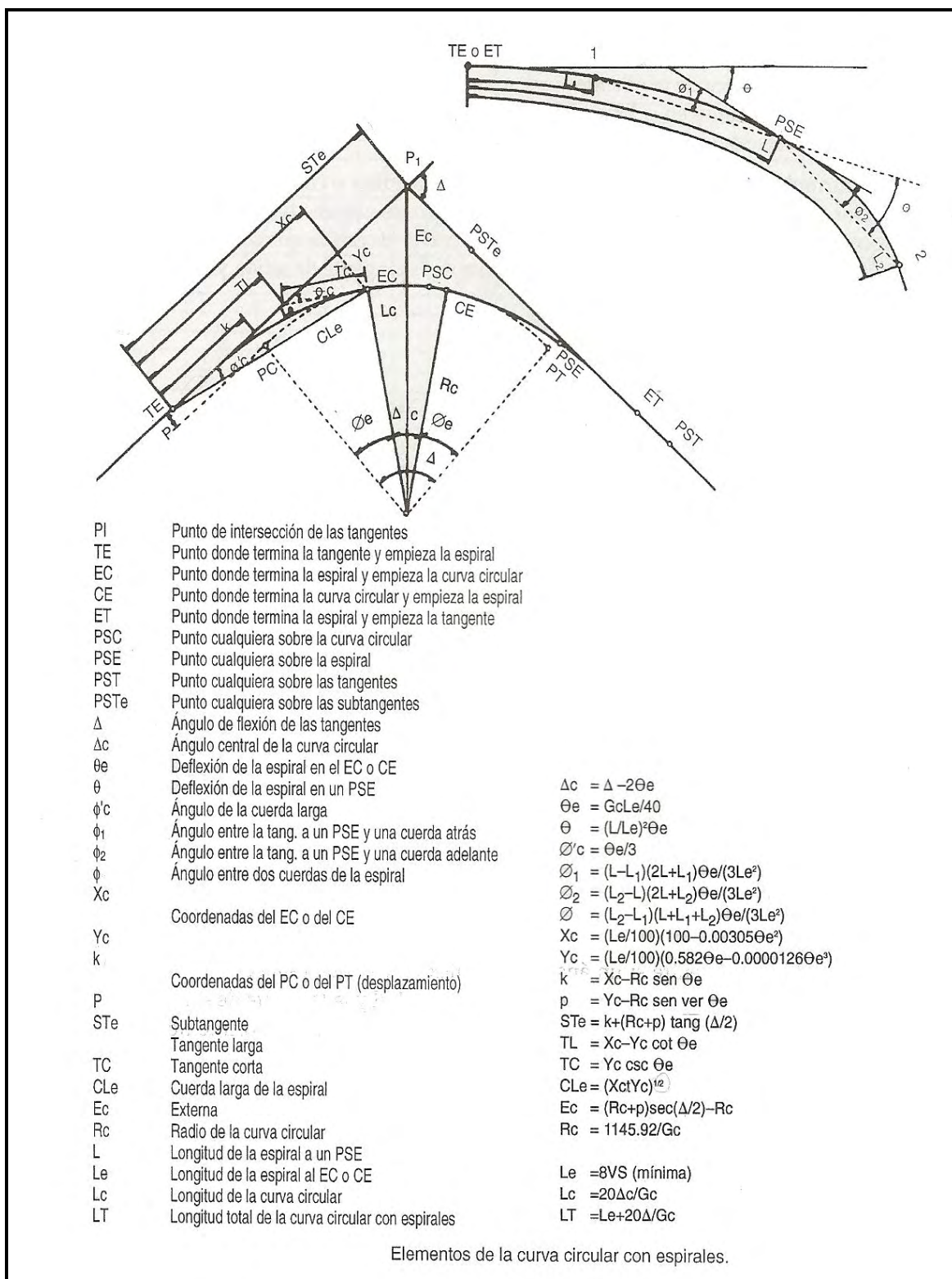
$$CL = 2 Rc \sin \frac{\Delta c}{2}$$

$$l = \frac{20\theta}{Gc}$$

$$Lc = \frac{20\Delta c}{Gc}$$

Elementos de la curva circular simple.

FIGURA II.8 "ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRAL"



En México la longitud de la curva en espiral se calcula por comodidad y su valor se obtiene con la fórmula:

$$L_e = 8 V S$$

Donde:

L_e = Longitud de la curva espiral

V = Velocidad de proyecto en km/h

S = Sobreelevación de la curva circular.

Para cada tipo de camino, velocidad de proyecto y grado de curvatura de la curva circular, las normas proporcionan estas longitudes en tablas.

FIGURA II.9“LIMITE DE GRADOS DE CURVATURA PARA CURVAS CIRCULARES”

VELOCIDAD		70						80						90						100						110					
Gc	Rc	Ac		Sc	Le		Ac	Sc	Le		Ac	Sc	Le		Ac	Sc	Le		Ac	Sc	Le		Ac	Sc	Le		Ac	Sc	Le		
		A4S	A4		A4S	A4			A4S	A4			A4S	A4			A4S	A4			A4S	A4			A4S	A4			A4S	A4	A4S
0° 15'	4583.68	0	20	20	39	67	0	20	20	45	76	0	30	20	50	86	0	30	20	56	95	0	30	20	62	105	0	30	20	62	105
0° 30'	2291.84	20	30	20	39	67	20	30	20	45	76	20	40	20	50	86	20	40	23	56	95	20	50	27	62	105	20	50	27	62	105
0° 45'	1527.89	20	40	20	39	67	20	40	23	45	76	30	50	28	50	86	30	60	34	56	95	30	60	40	62	105	30	60	40	62	105
1 00	1145.92	20	50	25	39	67	30	50	30	45	76	30	60	36	50	86	30	70	45	56	95	30	70	52	62	105	30	70	52	62	105
1 15	916.14	30	50	30	39	67	30	60	37	45	76	40	60	45	50	86	40	70	55	56	95	40	80	63	62	105	40	80	63	62	105
1 30	763.94	30	60	35	39	67	30	60	44	45	76	40	70	53	50	86	40	80	64	56	95	40	90	73	64	109	40	90	73	64	109
1 45	684.81	30	60	41	39	67	40	70	50	45	76	40	80	61	50	86	40	90	73	58	99	50	100	81	71	121	50	100	81	71	121
2 00	572.96	30	70	46	39	67	40	80	57	45	76	40	90	67	50	86	50	90	81	65	110	50	100	89	78	133	50	100	89	78	133
2 15	509.30	40	80	51	39	67	40	90	62	45	76	50	100	73	53	89	50	100	87	70	118	60	110	94	83	141	60	110	94	83	141
2 30	458.37	40	80	55	39	67	50	90	68	45	76	50	100	79	57	97	60	110	92	74	125	60	120	100	88	147	60	120	100	88	147
2 45	416.70	40	80	60	39	67	50	90	73	47	79	50	110	84	60	103	60	110	96	77	131	60	120	100	88	147	60	120	100	88	147
3 00	381.97	50	90	64	39	67	50	100	77	49	84	60	110	88	63	108	60	120	99	79	135										
3 15	352.59	50	90	67	39	67	50	110	81	52	88	60	120	92	66	113	60	130	100	80	136										
3 30	327.40	50	100	71	40	68	60	110	85	54	92	60	120	96	69	118															
3 45	305.58	50	110	75	42	71	60	120	88	56	96	60	130	98	71	120															
4 00	286.48	50	110	78	44	74	60	120	91	58	99	70	130	99	71	121															
4 15	269.63	60	110	81	45	77	60	130	94	60	102	70	140	100	72	122															
4 30	254.65	60	120	84	47	80	70	130	96	61	104																				
4 45	241.25	60	120	87	49	83	70	140	97	62	106																				
5 00	229.18	60	130	89	50	85	70	140	99	63	108																				
5 15	218.27	60	130	91	51	87	80	140	100	63	108																				
5 30	208.35	70	140	93	52	89	80	150	100	64	109																				
5 45	199.29	70	140	95	53	90																									
6 00	190.99	70	150	96	54	91																									
6 15	183.35	70	150	97	54	92																									
6 30	176.29	80	160	98	55	93																									
6 45	169.77	80	160	99	55	94																									
7 00	163.70	80	160	99	55	94																									
7 15	158.06	80	160	100	56	95																									
7 30	152.79	80	170	100	56	95																									

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm.

Sc Sobreelevación, en porcentaje.

Le Longitud de la transición, en metros.

(Abajo de la línea gruesa se emplearán espirales de transición y arriba se usarán transiciones mixtas)

Notas: Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal
A4S - Dos carriles en cada cuerpo (cuerpos separadas) con el eje de proyecto en el centro de cada calzada
A4 - Cuatro carriles en un solo cuerpo, con el eje de proyecto coincidiendo con el eje geométrico.

**AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES
PARA CARRETERAS TIPO A (A4S Y A4)**

Cuando el desplazamiento (p) es menor que 30 cm, las normas de proyecto permiten que no se tracen las espirales sino sólo la curva circular del grado elegido que cubra la deflexión total (Δ). En este caso las transiciones de la pendiente transversal y la ampliación de la corona se realizan en tangente en una distancia de la mitad de la Longitud de Espiral (L_e) y el resto en la misma longitud, sobre la curva circular.

Las normas de proyecto geométrico para carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), relativas a los diferentes tipos de caminos, incluyen tablas como la de la Figura II.9 “Limite de grados de Curvatura para Curvas Circulares” en la que se marcan los grados de curvatura para los cuales se permite trazar sólo las curvas circulares.

II.2.3.3 SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA OBRA VIAL

La sección transversal de una obra vial es un corte acorde a un plano vertical y normal al centro de línea en el alineamiento horizontal. Permite observar la disposición y las dimensiones de sus elementos, que deben concordar con las normas.

Es preciso hacer notar que el proyecto geométrico de vías terrestres se realiza al nivel de la línea sub-rasante que marca el nivel de las terracerías, por lo que las dimensiones que se deben manejar son la que se tendrán a ese nivel.

Las características de la subcorona con su ancho y su pendiente transversal. En tangentes horizontales, la pendiente transversal es el bombeo que se hace en la corona hacia ambos lados para permitir el desalojo rápido del agua de lluvia, de acuerdo con el tipo de camino, varía de 2 a 3 %.

En las curvas de alineamiento horizontal, la sección transversal se denomina sobreelevación (peraltamiento en América del Sur) y es la pendiente que se da en la corona completa de la obra vial hacia el centro de la curva. Además de asegurar el drenaje, su función es contrarrestar, junto con la fricción, la fuerza centrífuga que obra sobre los vehículos.

La sobreelevación, la fricción, la velocidad del proyecto y el grado máximo de

curvatura para esta velocidad están relacionados con la fórmula:

$$G_{\text{máx}} = 146,735 (\mu + S_{\text{máx}})/V^2$$

En la que:

$G_{\text{máx}}$ = Grado máximo de curvatura para una velocidad que corresponde a la curvatura circular entre las espirales, si las hay.

V = Velocidad de proyecto en km/h

μ = Coeficiente de fricción entre llantas y superficie de rodamiento en decimal

S = Sobreelevación en decimal

TABLA II.1 “VALORES MÁXIMO DE CURVATURA”

Velocidad de proyecto	Coeficiente de fricción	Sobre elevación máxima	Grado máximo de curvatura en grados	
km/h	-----	m/m	Calculado	Proyecto
30	0.280	0.10	61.6444	60
40	0.230	0.10	30.1125	30
50	0.190	0.10	16.9360	17
60	0.165	0.10	10.7472	11
70	0.150	0.10	7.4489	7.50
80	0.140	0.10	5.4750	5.50
90	0.135	0.10	4.2358	4.25
100	0.130	0.10	3.3580	3.25
110	0.125	0.10	2.7149	2.75

Para una velocidad de proyecto, es posible usar varios grados de curvatura siempre y cuando no excedan el máximo. Para hacer el calculo anterior, se debe definir Sobreelevacion máxima ($S_{\text{máx}}$), lo que se realiza de acuerdo con la cantidad de vehículos pesados y si se tienen o no heladas en la zona. En México se usa Sobreelevacion máxima ($S_{\text{máx}}$) = 0.10 asimismo, Coeficiente de fricción entre llantas y superficie de rodamiento (μ) se elige conforme el tipo de superficie de rodamiento y la velocidad del proyecto.

Para una velocidad determinada, pero grados de curvatura menores que el máximo, la sobreelevación es menor y se obtiene de las tablas que proporcionan las normas de proyecto geométrico para carreteras.

Para obtener en la corona la sobreelevación correspondiente a una curva circular, se tendrá que pasar, en el carril exterior del bombeo a posición horizontal, en una distancia denominada “N”. En seguida, este mismo carril se gira en otra distancia “N” de horizontal, hasta coincidir con la inclinación de bombeo con del carril interior. Finalmente se gira toda la corona hasta tener la sobreelevación requerida de la curva circular; los dos últimos movimientos se realizan en la longitud de la espiral (L_e) y el valor de la “N” se calcula con la fórmula $N = (\text{bombeo} \times L_e)/S$.

Como en la curva circular los vehículos caminan “atravesados”, el ancho real que ocupan en la corona es mayor que el que emplean en tangente; por ello, la corona se amplía de acuerdo con el grado de curvatura de la curva circular. Esta ampliación también las proporcionan las normas de proyecto y se coloca hacia fuera de la curva, pero debe de haber una transición de cero en la tangente a la totalidad de la ampliación, al inicio de la curva circular. Esta transición se da a lo largo de la curva espiral en proporciona su longitud. Lo mismo se hace sobre la espiral salida, pero en sentido contrario.

II.2.3.4 NORMAS GENERALES PARA LOGRAR UNA CIRCULACIÓN COMODA Y SEGURA ESTABLECIDAS POR LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

En los apartados anteriores se describió lo que es el alineamiento vertical y horizontal, estos dos conceptos dependen mutuamente entre si, por lo que deben guardar una relación que permita que el proyecto de terracerías tenga una buena compensación entre los volúmenes de excavación y terraplén.

A continuación se describen normas generales las cuales pretenden ayudar a lograr dicho balance.

En el inciso (a) se describen elementos que intervienen en el alineamiento vertical los cuales son importantes para lograr una circulación cómoda y segura.

En el inciso (b) se describen factores que se deben considerarse en el alineamiento vertical.

Los alineamientos horizontal y vertical no deben ser considerados independientes en el proyecto, puesto que se complementan el uno al otro. Si uno de los dos alineamientos presenta partes pobremente proyectadas, éstas influyen negativamente tanto en el resto de ese alineamiento como en el otro. Por lo anterior, deben estudiarse en forma exhaustiva ambos alineamientos, tomando en cuenta que la bondad en su proyecto incrementa su uso y su seguridad.

Una vez que se logra un proyecto armónico entre los alineamientos vertical y horizontal, el camino resulta una vía económica, agradable y segura, se tendrá que la velocidad de proyecto adquiere mayor importancia, puesto que en el cálculo es el parámetro que logra el equilibrio buscado.

En el inciso (c) se describen las normas que se aplican para lograr obtener dicho equilibrio entre los alineamientos vertical y horizontal.

a) ALINEAMIENTO HORIZONTAL

1) La seguridad al tránsito que debe ofrecer el proyecto es la condición que debe tener preferencia.

2) La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y velocidad del proyecto.

3) La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.

4) El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible, sin dejar de ser consistente con la topografía. Una línea que se adapte al terreno natural es preferible a otra con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes.

5) Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo más razonable, el uso de la curvatura máxima permisible. El proyectista debe tender, en lo general, a usar curvas suaves, dejando las de curvatura máxima para las condiciones más críticas.

6) Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.

7) En terraplenes altos y largos sólo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, pues es muy difícil para un conductor percibir algunas curvas forzadas y ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.

8) En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobre todo donde sea necesario proyectar curvas forzadas. Las curvas compuestas se pueden emplear siempre y cuando la relación entre radio mayor y menor sea igual o menor a 1.5.

9) Deben evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos, pues dichos cambios hacen difícil al conductor mantenerse en su carril, resultando peligrosa la maniobra. Las curvas inversas deben proyectarse con una tangente intermedia, la cual permite que el cambio de dirección sea suave y segura.

10) Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse cuando existan tangentes cortas entre ellas, pero pueden proporcionarse cuando las tangentes sean mayores de 500 m.

11) Para anular la apariencia de distorsión, el alineamiento horizontal debe estar coordinado con el vertical.

12) Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, especialmente durante la noche, por lo cual es preferible proyectar un alineamiento ondulado con curvas amplias.

b) ALINEAMIENTO VERTICAL.

1) La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la sub-rasante. Así en terrenos planos, la altura de la sub-rasante sobre el terreno es regulada, generalmente, por el drenaje. En terrenos en lomerío se adoptan sub-rasante onduladas, las cuales convienen tanto en razón de la operación de los vehículos como de la economía del costo. En terrenos montañosos la sub-rasante es controlada estrechamente por las restricciones y condiciones de la topografía.

2) Una sub-rasante suave con cambios graduales es consistente con el tipo de camino y el carácter del terreno; a esta clase de proyecto debe dársele preferencia, en lugar de uno con numerosos quiebres y pendientes en longitudes

cortas. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica, pero la manera en que estos se aplican y adaptan al terreno formando una línea continua, determina la adaptabilidad y la apariencia del producto terminado.

3) Debe evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas, pues el perfil resultante se presta a que las condiciones de seguridad y estética sean muy pobres.

4) Dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección separadas por una tangente vertical corta, deben ser evitadas, particularmente en columpios donde la vista completa de ambas curvas verticales no es agradable. Este efecto es muy notable en caminos divididos con aberturas espaciadas en la faja separadora central.

5) Un perfil escalonado es preferible a una sola pendiente sostenida, porque permite aprovechar el aumento de velocidad previo al ascenso y el correspondiente impulso, pero, evidentemente, sólo puede adaptarse tal sistema para vencer desniveles pequeños o cuando no hay limitaciones en el desarrollo horizontal.

6) Cuando la magnitud del desnivel a vencer o la limitación del desarrollo motiva largas pendientes uniformes, de acuerdo a las características previsibles del tránsito, puede convenir adoptar un carril adicional en la sección transversal.

7) Los carriles auxiliares de ascenso también deben ser considerados donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20 % de la capacidad de diseño para dicha pendiente, en el caso de caminos de dos carriles y del 30 % en el caso de caminos de varios carriles.

8) Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, bien con pendientes escalonadas o largas pendientes uniformes, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.

9) Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección; este cambio en perfil es benéfico para todos los vehículos que den vuelta.

c) COMBINACIÓN DE LOS ALINEAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL

Los alineamientos horizontal y vertical no deben ser considerados independientes en el proyecto, puesto que se complementan el uno al otro. Si uno de los alineamientos presenta partes pobremente proyectadas, éstas influyen negativamente tanto en el resto de ese alineamiento como en el otro. Por lo tanto deben estudiarse en forma exhaustiva ambos alineamientos, tomando en cuenta que la bondad en su proyecto incrementará su uso y seguridad.

Es difícil discutir la alineación de los alineamientos horizontales y verticales, sin referirse al amplio aspecto de localización de caminos, ambos temas están relacionados entre si y cuando pueda decirse uno generalmente es aplicable al otro.

Se supone que la localización ha sido realizada y que el problema restante es lograr un proyecto armónico entre los alineamientos horizontal y vertical y que obtenido éste, el camino resulta una vía económica, agradable y segura, se tendrá que la velocidad de proyecto adquiere mayor importancia, puesto que en el cálculo es el parámetro que logra el equilibrio buscado.

Las combinaciones apropiadas de los alineamientos horizontal y vertical se logran por medio de estudios de ingeniería y de las siguientes normas generales:

1) La curvatura y la pendiente deben estar balanceadas. Las tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes o largas, o bien una curvatura horizontal excesiva con pendientes suaves, corresponden a diseños pobres. Un diseño apropiado es aquel que combina ambos alineamientos ofreciendo lo máximo en seguridad, capacidad, velocidad, facilidad y uniformidad en la operación, además de una apariencia agradable dentro de los límites prácticos del terreno y del área atravesada.

2) La curvatura vertical sobrepuesta horizontal o viceversa, generalmente da como resultado una vía más agradable a la vista, pero debe ser analizada tomando en cuenta el tránsito. Cambios sucesivos en el perfil que no están en combinación con la curvatura horizontal, pueden tener como consecuencia una serie de jorobas visibles al conductor por alguna distancia. Sin embargo en algunas ocasiones la combinación de los alineamientos horizontal y vertical puede

también resultar peligroso bajo ciertas condiciones, tal como se discuten enseguida.

3) No deben proyectarse curvas horizontales verticales en o cerca de una cima, o de una curva vertical en cresta pronunciada. Esta condición es peligrosa porque el conductor no puede percibir el cambio en el alineamiento horizontal, especialmente en la noche, por que las luces de los coches alumbran adelante hacia el espacio y en línea recta. El peligro puede anularse si la curvatura horizontal se impone a la vertical, por ejemplo construyendo una curva horizontal más larga que la curva vertical, también puede lograrse usando valores de proyecto mayores que los mínimos.

4) De la misma manera no deben proyectarse curvas horizontales forzadas o cerca del puno bajo de una curva vertical en columpio, por que el camino da la impresión de estar cortado.

Cuando la curva horizontal es muy suave presenta una apariencia de distorsión indeseable. Muchas veces las velocidades de otros vehículos especialmente las de los camiones, son altas al final de las pendientes y pueden conducir a operaciones erráticas especialmente durante la noche.

5) En caminos de dos carriles, la necesidad de tramos para rebasar con seguridad de intervalos frecuentes y en un porcentaje apreciable de longitud del camino, influye en la combinación de ambos alineamientos, en estos casos es necesario proporcionar suficientes tangentes largas para asegurar la distancia de visibilidad de rebase.

6) En las intersecciones donde la distancia de visibilidad a lo largo de ambos caminos sea importante y los vehículos tengan que disminuir su velocidad o parar, la curvatura horizontal y el perfil deben proyectarse lo más suave posible.

7) En caminos divididos se pueden emplear diferentes combinaciones de alineamiento horizontal y vertical para cada sentido de circulación, si la anchura de la faja separadora lo permite.

Una vez conociendo los parámetros que se deben cumplir se continúa con el trazo del alineamiento horizontal, lo cual consiste en lo siguiente:

II.2.4 METODOLOGÍA DEL ANTEPROYECTO.

De acuerdo con el tipo de camino, con auxilio de un compás de punta sobre la restitución se traza una línea que a lo sumo tenga la pendiente gobernadora menos 0.5 %; esta es una línea quebrada, generalmente de segmentos cortos, denominada “línea a pelo de tierra”. La abertura del compás que trazará la línea a pelo de tierra para topografía con líneas de nivel a cada 5 m, escala de 1:5,000 y Pendiente gobernadora Pg en porcentaje es:

abertura = $1/(10Pg - 5)$, en metros

por lo tanto la abertura de compás para trazar el trazo de la autopista Toluca-Naucalpan será:

abertura = $1/(10*5 - 5) = 0.022$ metros = 2.22 cm

La línea anterior se endereza con tangentes de longitudes necesarias para trazar curvas con grados de curvatura iguales o menores al máximo, de acuerdo con la velocidad de proyecto. Para saber si el enderezado es correcto, se utiliza plantillas circulares con diferentes grados de curvatura, dibujadas a escala. A medida que se enderezan las tangentes, se colocan entre ellas las plantillas circulares para que haya la menor cantidad de movimientos de tierra; es decir, hay que apegarse lo más posible a la forma del terreno, lo que se consigue al hacer que las nuevas tangentes y las curvas tengan tal posición que corten continuamente hacia arriba y hacia abajo la “línea a pelo de tierra”. Hasta esta etapa, es necesario que entre curva y curva exista una distancia mínima de 30 m para alojar después en ellas, las espirales y las transiciones del bombeo.

Los elementos de las curvas del proyecto horizontal se calculan con o sin espirales, se cadenea (absisados) con marcas cada 20 m hasta el primer Punto de Inflexión (PI). Para trazar la primera curva horizontal se mide la subtangente del PI hacia atrás y hacia adelante y se encuentran los puntos de inicio y final de la curva y con los elementos calculados, se dibujan las espirales de entrada y salida si las hay además de las circulares. El cadenamiento se extiende por esta primera curva y se llega hasta el segundo Punto de Inflexión (PI); se repiten todas las operaciones en todo el proyecto.

Teniendo el alineamiento horizontal definido se continúa con la elaboración del alineamiento vertical, para lo cual se dibuja un perfil de la línea proyectada deduciendo los datos de la restitución, tomando las elevaciones a cada 20 m y los puntos especiales de las curvas; se hace el anteproyecto de la sub-rasante de la obra colocando tangentes verticales con la combinación adecuada de pendientes, de tal manera que los cortes compensen aproximadamente a los terraplenes; se estudian las secciones críticas con todo cuidado y si es necesario, se hace las modificaciones en la posición de la rasante o aun en el alineamiento horizontal.

Todos los pasos descritos en el apartado de la metodología se aplicó tanto a la alternativa uno como al dos lo cual generó las siguientes datos.

a) ALTERNATIVA 1.

La alternativa 1 corresponde a la ruta norte que parte de la carretera Aeropuerto - Xonacatlán hacia la autopista Chamapa–La Venta, a la altura de la Avenida 1º de Mayo.

Desarrolla un libramiento por la parte norte de la población de Xonacatlán, y de ahí va paralelo a la carretera Xonacatlán-San Miguel Mimiapan, esta última se rodea por su parte sur y se enfila hacia La Glorieta, posteriormente a San Francisco-Chimalpa y termina al norte del Entronque de la Autopista Chamapa–Lecheria por las características del terreno.

La carretera será Tipo A con una longitud de 37.570 km, el tipo de terreno es montañoso, por lo cual la curva máxima será de 5°30', tendrá una velocidad de proyecto de 80 a 110 km/h con una pendiente gobernadora de 4% y una pendiente máxima de 6 %

Se localizan seis pasos vehiculares a lo largo del tramo en los cruces del trazo con las Carreteras de Xonacatlán, la Carretera Estatal 952 y la Carretera Federal 134. Se ubican once escurrimientos que ameritan la colocación de puentes y viaducto y dos túneles.

b) ALTERNATIVA 2.

La alternativa 2 corresponde a la ruta sur que parte de la carretera Aeropuerto–Xonacatlán hacia la autopista Chamapa–La Venta, a la altura del cruce de Ferrocarril México–Toluca– Nuevo Laredo.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

Desarrolla un libramiento por la parte sur de la población de Xonacatlan, paralelo al actual acceso a la misma y a la carretera hacia Santa Catarina; libra por la parte norte la población de Santa María Tlalmimilolpan y cruza entre Zacamulpa Tlalmimilolpan y San Francisco Xochicuautila. Más adelante, recorre la parte norte la población de Santa Cruz Ayotuxco para internarse en la zona poblada de Santiago Yancuitalpan siguiendo el trazo de las vías de ferrocarril.

Esta alternativa, se encuentra en una zona con varios asentamientos, lo cual hace que en más del 70 % de su desarrollo vaya rodeando las mismas.

La carretera será Tipo “A” con una longitud de 32.380 km, el tipo de terreno es montañoso, por lo cual la curva máxima será de 5° 30’, tendrá una velocidad de proyecto de 80 a 110 km/h con una pendiente gobernadora de 4 % y una pendiente máxima de 6 %

Se ubican ocho pasos vehiculares en los cruces con la carretera Xonacatlán, Santa María–Tlalmimilolpan y la zona urbana de Sante Cruz Ayotuxco.

En esta alternativa por las condiciones del terreno es necesario emplear ocho viaductos y dos túneles.

II.2.5 SELECCIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA.

De la información obtenida se presenta un cuadro comparativo para evaluar cual será la ruta óptima.

**TABLA II.2 (1/3) “COMPARACIÓN ENTRE LAS DOS ALTERNATIVAS
PROPUESTAS”**

CONCEPTOS TÉCNICOS	ALTERNATIVAS	
	1	2
Longitud de análisis (Aeropuerto Toluca-Autopista Chamapa- Lecheria)	38 km Parte más alta Anteproyecto a 50,000	33 km Parte sobre el derecho de vía del F.C. Anteproyecto a 50,000
Trazo	Cumple todas las especificaciones	Cumple todas las especificaciones, pero fue corregida en una mayor parte, ya que el FFCC tiene pendientes más bajas y mayor Longitud de desarrollo

Esta tabla continúa en la siguiente página

Esta tabla viene de la página anterior

**TABLA II.2 (2/3) “COMPARACIÓN ENTRE LAS DOS ALTERNATIVAS
PROPUESTAS”**

CONCEPTOS TÉCNICOS	ALTERNATIVAS	
	1	2
Entronques	Se requiere un entronque nuevo	Conflictivo en cruce con Autopista Chamapa-La Venta - Se necesita mover algunos kilómetros y un nuevo entronque
Derecho de vía	Nueva adquisición de todo el tramo	Adquisición no establecida claramente, variables en FFCC y otros
Vía Férrea existente	No Aplica	Solo tiene una vía, si se pretende explotar en forma definitiva (pasajeros) se requiere doble vía
Pasos superiores vehiculares	Pocos pasos vehiculares	Requieren muchos pasos superiores vehiculares
Integración a la zona urbana de Naucalpan	Solo por Av. 1º de Mayo requiere mejoras importantes y un ramal para integrarse al trazo de esta alternativa	Por el derecho de la vía férrea con un proyecto vial tipo elevado (limitaciones en anchos y otros)
Integración a la zona urbana de Huixquilucan	Estará alejado del Municipio y solo beneficiaria el tráfico del largo itinerario mejorando el flujo local	Beneficiaria al Municipio pero se tendrían problemas en el cobro de cuotas y se incrementaría el volumen de tráfico en general
Competitividad con las rutas alternas de cuotas	Mayor competitividad, lejanía de rutas alternas	Menor competitividad por la cercanía a otras rutas alternas más próxima a este trazo
Vehículos de carga	Más atractiva y son necesarios para su factibilidad económica	Se requiere para su factibilidad económica
Vehículos ligeros y de pasajeros	Más rápida para largo itinerario	Beneficia a vehículos ligeros y de pasajeros en rutas urbanas y rural, corto y largo itinerario

Esta tabla continúa en la siguiente página

Esta tabla viene de la página anterior

**TABLA II.2 (3/3) “COMPARACIÓN ENTRE LAS DOS ALTERNATIVAS
PROPUESTAS”**

CONCEPTOS TÉCNICOS	ALTERNATIVAS	
	1	2
Impacto ambiental	Ruta en zona protegida	Ruta en zona protegida
Valor de la tierra	Bajo valor de la tierra en el derecho de vía y zona adyacente	Alto valor de la tierra en el derecho de vía y zona adyacente
Impactos Económicos de la Obra	Menor por lejanía	Más alto que la ruta 1
Variaciones en la tenencia de la tierra	Pocas variables en la tenencia de la tierra	Muchas variables en la tenencia de la tierra (ejidal, privada)
Estudios y proyectos definitivos de ruta aceptada	Bajo riesgo de incumplimiento	Alto riesgo en el incumplimiento de los proyectos definitivos
Construcción de la alternativa	Más rápida	Menos rápida por la complejidad de la zona
Señalización	Señalización normal requerida	Alta señalización mayor que la 1
Siniestros	Poca siniestralidad	Posibilidad de mayor siniestralidad
Accesos a la ruta	Pocos y menor control de accesos y salidas al tramo	Necesidad de un mayor número de accesos al tramo

Después de analizar las dos alternativas de trazo propuestas se seleccionó la alternativa 1, la cual tendrá una longitud de 33.7 km. Y se propone sea tipo A4 para que mejore significativamente las comunicaciones entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y la Ciudad de Toluca.

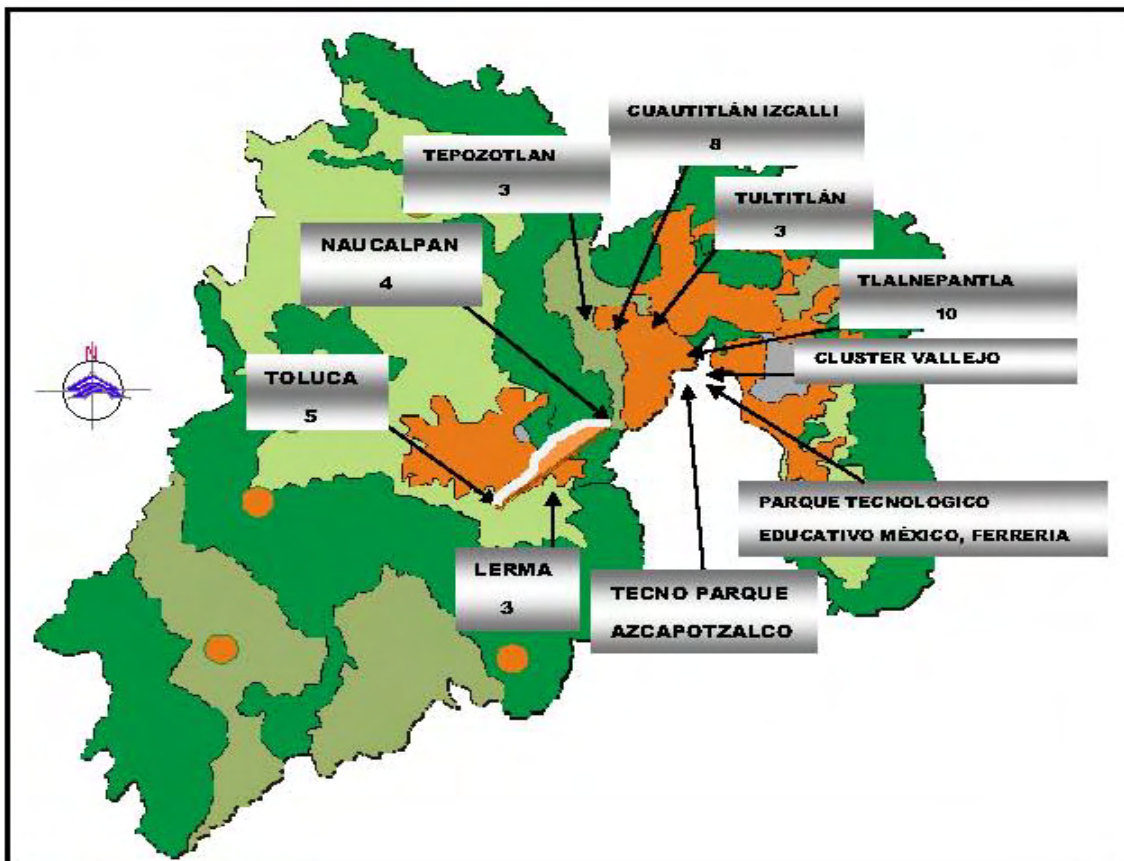
II.3 RUTA ACEPTADA.

De la alternativa 1 se continuó con la obtención de información económica para lo cual se localizaron las zonas de influencia, aspectos económicos del entorno y el flujo vehicular actual de la zona de proyecto, de igual forma se realizó un análisis del tránsito por medio de encuestas y aforos dando como resultado los beneficios que aportará la nueva autopista Toluca—Naucalpan.

II.3.1 EL PROYECTO Y SU ENTORNO.

En la zona de influencia del proyecto se localizan 42 parques industriales, muchos de ellos en proceso de consolidación, Para esta región industrial, la autopista representará una mejor conectividad y oportunidad de intercambio de bienes y servicios.

FIGURA II.10 “PARQUES INDUSTRIALES EXISTENTES EN LA ZONA DE PROYECTO”



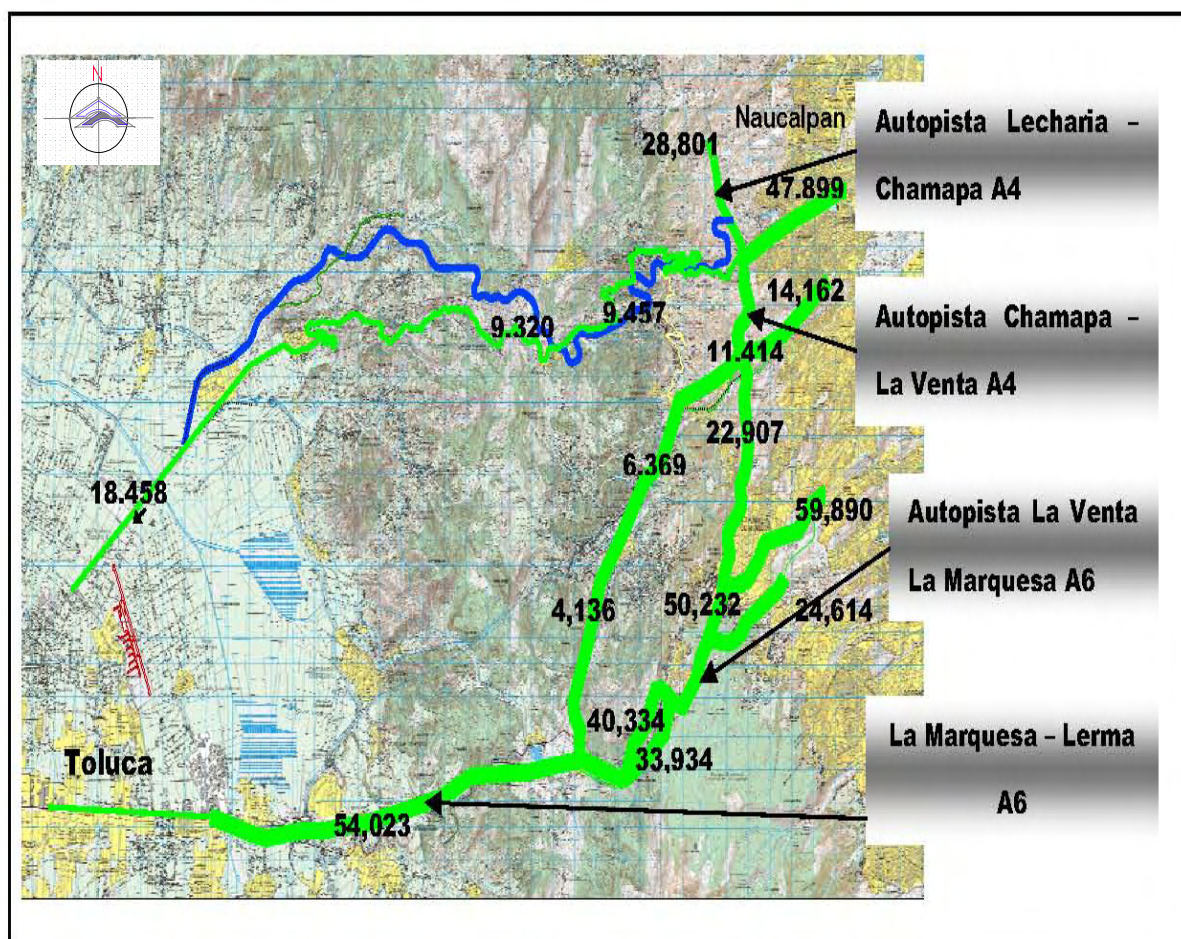
II.3.2 PROYECTOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA.

El incremento previsto en el número de operaciones y movimiento de pasajeros y carga en el aeropuerto de Toluca, el proyecto del Parque Industrial de Clase Mundial de Autopartes propuesto en el Valle de Toluca y la infraestructura vial que se esta impulsando en la zona, serán factores que mejora la accesibilidad y consolidaran el desarrollo regional.

II.3.3 ESQUEMA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA RED DE INFLUENCIA (AÑO 2005).

En el tránsito entre el Valle de Toluca y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se aprecia mayor preferencia por las vías de cuota, mientras que las vías libres, por sus condiciones de operación y trazo son menos favorecidas.

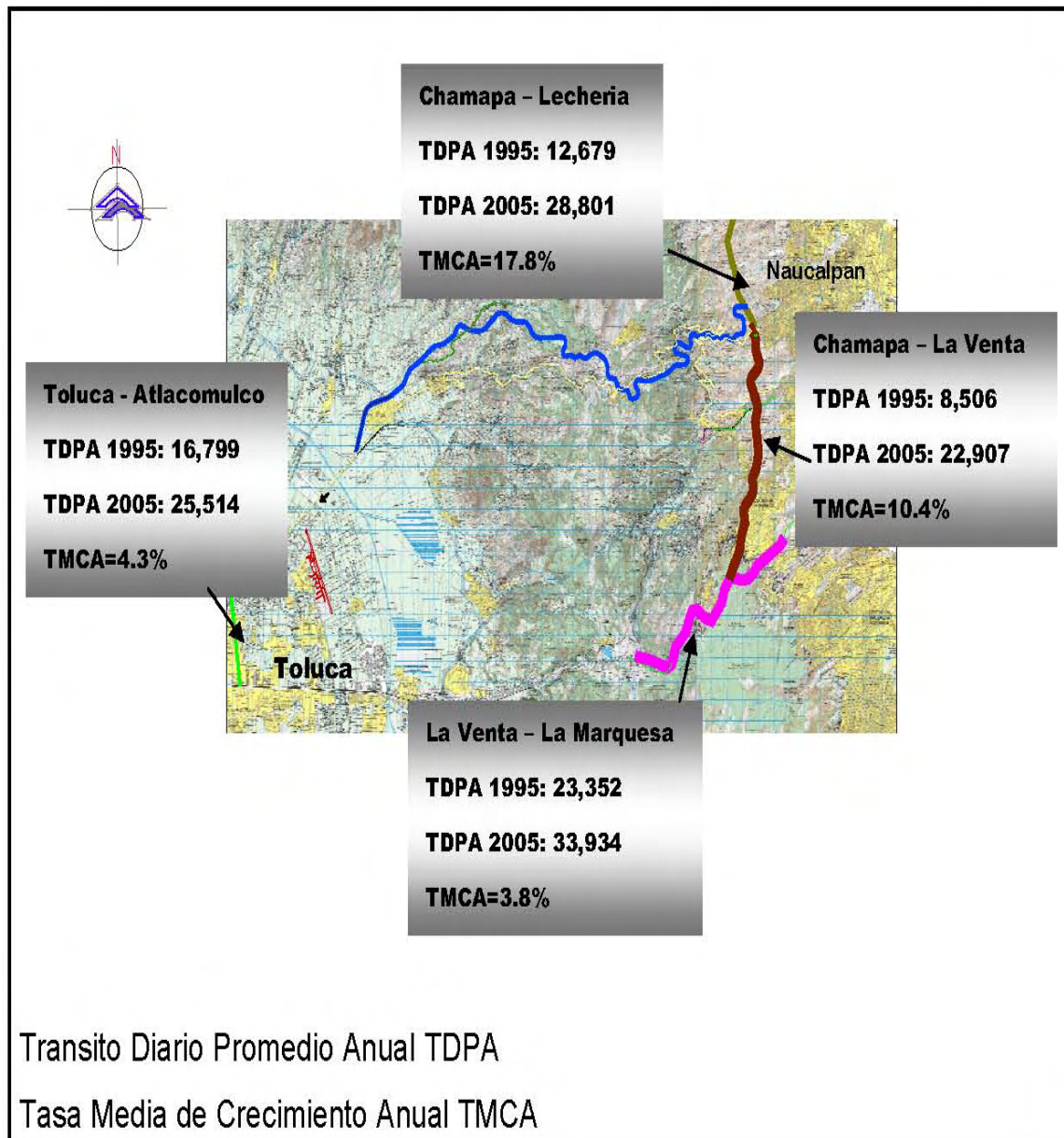
FIGURA II.11 “CIFRAS DE TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL”



II.3.4 AUTOPISTA DE LA RED DE INFLUENCIA.

Los cuatro tramos de Autopista que se ubican en la zona de influencia del proyecto, tuvieron crecimientos mínimos de 4 % anual en los últimos 10 años, lo cual refleja la dinámica de desarrollos en la región. Sin embargo, las autopistas urbanas mostraron crecimientos entre el 10 % y el 17 % anual.

FIGURA II.12 “COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO DEL AFORO VEHICULAR”

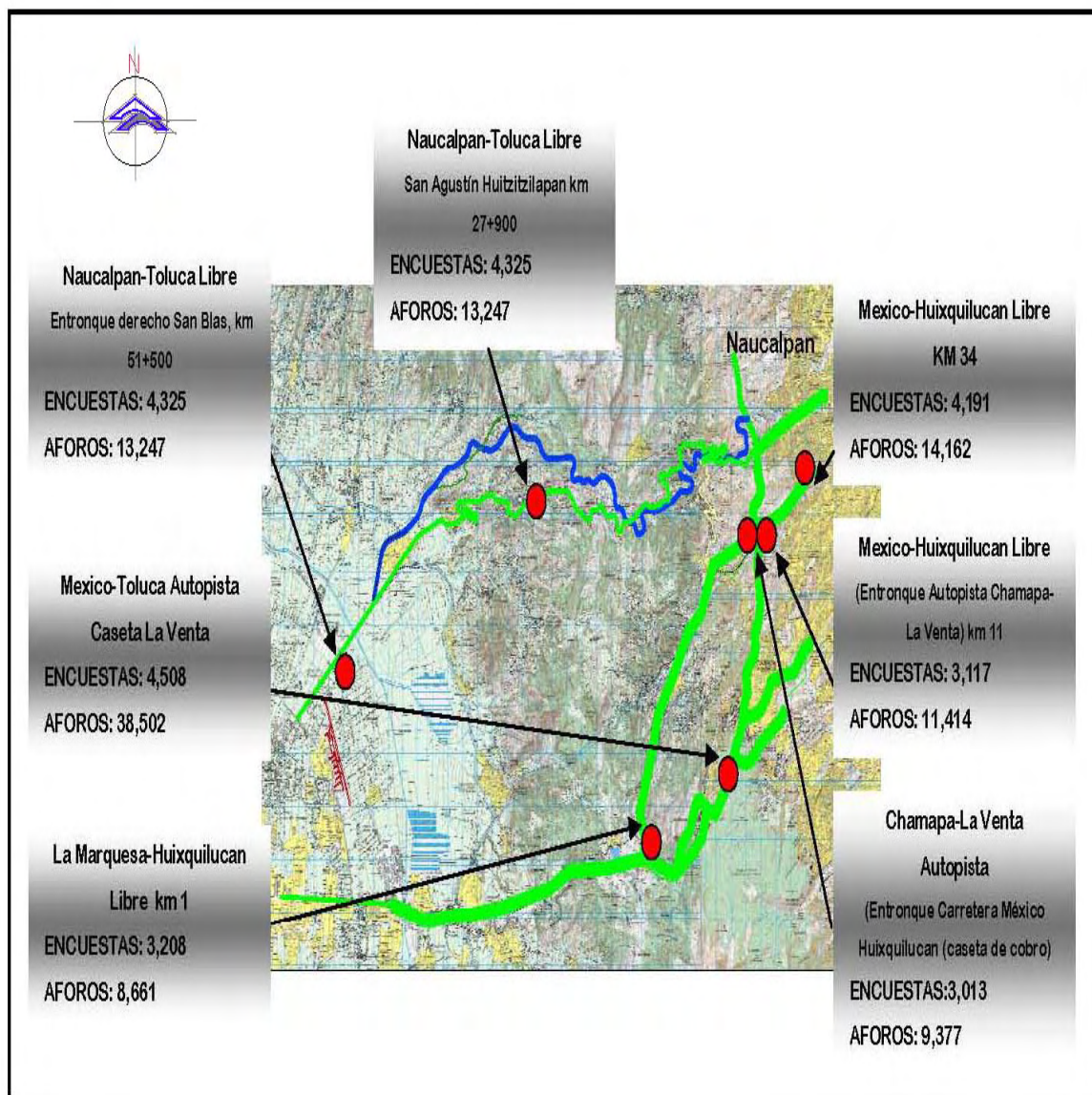


II.3.5 LOCALIZACIÓN DE AFOROS.

Los usuarios de la carretera libre Naucalpan–Toluca tienen como principal origen–destino a la Ciudad de Toluca y la zona norte de la Ciudad de México (destacando los municipios industriales del Estado de México, representando el segmento de tránsito potencial más importante para el proyecto.

En la caseta de la autopista Chamapa–La Venta, ubicada en Huixquilucan, se identificaron a usuarios de largo itinerario que usan actualmente de la autopistas Chamapa–La Venta–La Marquesa.

FIGURA II.13 “UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE AFORO”



II.3.6 PRONÓSTICO DE TRÁNSITO PARA EL HORIZONTE DEL PROYECTO.

El pronóstico estimado para el escenario tendencial y la asignación de tránsito en función de la disponibilidad de pago en el año 2009 y tomando en cuenta la curva de aprendizaje, el Tránsito Diario promedio Anual (TDPA) será de 6,604 vehículos y al año 2037 ascendería a 24 mil, en función de planeación de transporte será de 7,094 y de 26,700 vehículos respectivamente.

En el horizonte del proyecto el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) será de un poco más de la mitad de que hoy tiene la autopista La Venta–La Marquesa, a solo 15 años de operación.

TABLA II.4 (1/2) “PRONÓSTICOS DE TRÁNSITO PARA EL HORIZONTE DEL PROYECTO”

PRONÓSTICOS DE TENDENCIAS AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN (TDPA)				
AÑO	Autos	Autobuses	Camiones	Total
2006	5,867	44	718	6,629
2007	6,094	46	746	6,886
2008	6,330	48	775	7,152
2009	6,940	52	850	7,842
2010	7,588	57	929	8,574
2011	7,882	59	965	8,906
2012	8,187	62	1,002	9,251
2013	8,504	64	1,041	9,609
2014	8,833	66	1,081	9,981
2015	9,175	69	1,123	10,367
2016	9,530	72	1,167	10,768
2017	9,899	74	1,212	11,185
2018	10,282	77	1,259	11,618
2019	10,680	80	1,307	12,067
2020	11,093	83	1,358	12,534
2021	11,522	87	1,410	13,019
2022	11,968	90	1,465	13,523
2023	12,431	93	1,522	14,046
2024	12,912	97	1,581	14,590
2025	13,412	101	1,642	15,155
2026	13,931	105	1,705	15,741

Tránsito Diario Promedio Actual (TDPA)

Esta tabla continúa en la siguiente página

Esta tabla viene de la página anterior

**TABLA II.4 (2/2) “ PRONÓSTICOS DE TRÁNSITO PARA
EL HORIZONTE DEL PROYECTO”**

PRONÓSTICOS DE TENDENCIAS AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN (TDPA)				
AÑO	Autos	Autobuses	Camiones	Total
2027	14,470	109	1,771	16,350
2028	15,030	113	1,840	16,983
2029	15,612	117	1,911	17,640
2030	16,216	122	1,985	18,323
2031	16,844	127	2,062	19,032
2032	17,495	132	2,142	19,769
2033	18,172	137	2,225	20,534
2034	18,876	142	2,311	21,328
2035	19,606	147	2,400	22,154
2036	20,365	153	2,493	23,011
2037	21,153	159	2,589	23,902

Tránsito Diario Promedio Actual (TDPA)

Los datos obtenidos en el pronóstico del tránsito son utilizados posteriormente en el Capítulo IV “Anteproyecto”, para la propuesta del espesor de pavimento.

II.3.7 BENEFICIOS DE LA AUTOPISTA TOLUCA– NAUCALPAN RESPECTO A LAS VÍAS ACTUALES.

Entre los factores más significativos de preferencia que tendrá la nueva autopista respecto a la vía libre actual, se encuentran ahorros de 10 km de longitud, 40 minutos de tiempo al tener mayor velocidad de proyecto, (actualmente la velocidad promedio es 45 kph y con la autopista Toluca–Naucalpan será de 110 kph,) mejoramiento en la seguridad (abatimiento de accidentes), mejoramiento en el nivel de servicio, mayor comodidad en el manejo y otra opción en caso de algún problema en las vías alternas.

Respecto a la autopista de cuota actual (La Venta–Toluca), los usuarios se ahorrarán 12 km de distancia y 15 minutos en tiempo, ventajas para el tránsito de largo itinerario con origen-destino al norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad

de México, en resumen el usuario ahorra en costo de operación vehicular, es decir los gastos de insumos del vehiculo y pagos de peaje serán menores.

Una vez que se tiene definida la ruta por donde se realizará el trazo de la autopista, se tiene la información necesaria para realizar los estudios básicos para la elaboración del Anteproyecto. Al estudio y análisis de las cuencas de aportación de los escurrimientos que se presentan en la zona que tienen como finalidad determinar la geometría de las obras de drenaje se le conoce como estudio hidrológico. El estudio geotécnico tiene la finalidad de conocer los tipos de materiales existentes que servirán o no para la construcción, en caso de requerirse se recurrirá a bancos de materiales aledaños al trazo. Simultáneamente se realizan los estudios de afectaciones ambientales temas que se tratan detalladamente en el Capítulo III “Estudios Preliminares”.

CAPÍTULO III

ESTUDIOS PRELIMINARES

CAPÍTULO III

ESTUDIOS PRELIMINARES.

Los estudios preliminares sirven para conocer las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas, así como la clasificación mineralógica de los estratos del suelo en donde deberá quedar alojado el tramo de la carretera, así como el impacto ambiental que deberá tomar en cuenta las modificaciones al medio ambiente por la ejecución y operación de un camino en toda su vida útil.

Su finalidad es evaluar el trazo de una nueva carretera o de la ya existente, también evalúa la relación suelo-roca, es decir, la proporción existente de estos materiales en todo el trazo, ya que de ella depende la definición del proyecto y el llevar a cabo los cortes y terraplenes para conocer un aproximado de los costos en el movimiento de tierras, así como túneles y puentes.

III.1 ESTUDIO GEOTÉCNICO.

El estudio geotécnico para cualquier obra de ingeniería brinda un factor de confianza y seguridad en la estructura, economía y tiempo que es lo que todo Ingeniero trata de alcanzar en toda obra de Ingeniería Civil, y se pueden hacer por medio de levantamientos superficiales, estudios aéreos o análisis exploratorios geofísicos, el conocimiento completo consiste en una inspección superficial junto con una clasificación mineralógica de las capas.

Los Estudios Geotécnicos tienen por objeto, el establecer las normas y procedimientos a los que tendrán que apegarse los proyectistas, en la realización de los movimientos de curva masa y posteriormente durante la construcción.

Estos estudios inician con recorridos por la zona donde se ubica la línea del camino, en la cual se realizarán Pozos a Cielo Abierto (PCA), tomando muestras representativas de los materiales, se determinarán las características de los caminos en cuanto a su calidad y resistencia de los mismos, mediante pruebas de laboratorio.

Estos estudios tienen por objeto llegar a conocer las características geológicas y los problemas que presente el terreno donde deberá quedar alojado el tramo de la carretera.

III.1.1 FOTOINTERPRETACIÓN GEOLÓGICA.

Consiste en analizar estereoscópicamente los rasgos de la superficie terrestre (morfología) las fotografías aéreas, tiene el propósito de definir la geología del sitio principalmente del tipo de roca, las estructuras geológicas y su relación entre ellas. En los estudios de fotointerpretación se sigue la siguiente secuencia:

- 1) Recopilación de datos geológicos: Se recopilan los datos geológicos de la región por donde se localiza la línea de trazo de la carretera; a continuación, en gabinete se efectúa el análisis de los datos levantados, y con ayuda del estereoscopio se van interpretando las fotografías aéreas pancromáticas, generalmente de una escala 1:50,000 ó 1:25,000; su interpretación consiste en la delimitación de las unidades de rocas y suelo, rasgos estructurales como los son las fracturas, fallas, rumbos y echados de los estratos y dirección de los escurrimientos en rocas, etc.
- 2) Itinerario y recorrido en campo: Una vez analizada en gabinete la fotointerpretación, se formulará un itinerario a seguir para verificar sobre el terreno las características del mismo. El trabajo de campo consiste en recorrer directamente la zona donde se alojará la construcción; tomar fotos de los tipos de rocas y de los suelos, y coleccionar muestras, marcando puntos de control geológico en las fotografías aéreas a modo de referencia.
- 3) Reinterpretación de fotografías aéreas: Nuevamente en el gabinete se reinterpretan las fotografías aéreas para ratificar cada una de las características que fueron supuestas antes de realizar la visita al campo. Para esta interpretación, se aprovechará la información obtenida sobre el terreno estudiado, a modo de verificación de las hipótesis.

A continuación se describirá el contenido de un informe geotécnico para un proyecto ejecutivo.

III.1.2 ELABORACIÓN DEL INFORME GEOTÉCNICO.

Para la elaboración del informe geotécnico, se deberán considerar los siguientes puntos:

- Localización y descripción del tramo
- Características socioeconómicas de la zona; poblaciones, cultivos, industrias, explotación minera, servicios existentes, etc.
- Topografía de la zona (general).
- Datos climatológicos: temperatura, humedad, precipitación pluvial, frecuencia de perturbaciones atmosféricas, ciclones, etc.
- Estimación de los factores hidrológicos: ríos, arroyos importantes, y nueve puentes con longitud aproximada de 140 m., determinación de los sitios de cruce con otros caminos, ríos y estudios de cuencas.
- Nivel freático.
- Bancos de materiales, determinando su calidad y cantidad, y el estudio socioeconómico.
- Descripción general en esta primera etapa de las formaciones de las rocas y suelos (Geología Regional).
- Estimación de los problemas geológicos y de los suelos; zonas de pantano y lacustre, zonas de laderas inestables, zonas fuertemente erosionadas, escasez o abundancia de materiales de construcción, excavaciones por realizar, zonas de mala calidad, etc.

Una vez obtenida toda la información anterior, los técnicos darán su informe con sus conclusiones, donde deberán justificar la necesidad de proseguir con el estudio o modificar la línea o ruta. Se deberá precisar mediante la fotointerpretación geológica, los tipos de suelos y rocas estudiados, así como la hidrografía y el área de cuencas.

En el campo, se hacen sondeos del tipo Pozo a Cielo Abierto (PCA) a cada 500 m ó 1,000 m, esto dependiendo de la topografía, siendo en general a una

profundidad de 2 m; para facilitar los trabajos de campo, se realiza una zonificación del terreno en base a su morfología, luego se subdivide tomando en cuenta sus características geológicas.

Con la realización de estos estudios, se proporcionan posteriormente al proyectista todos los datos del terreno, como los son la capacidad de carga para el desplante de obras menores de drenaje, espesor de despalme, la disponibilidad de materiales y sus volúmenes aprovechables, así como su calidad y recomendaciones en lo relativo a los procedimientos de construcción a seguir en cada caso.

Por lo anterior, éstos estudios se han dividido en dos etapas, en la primera, se realizan los trabajos de campo, obtención de muestras, el levantamiento estratigráfico y pruebas de laboratorio, y en la segunda etapa, se recolecta toda la información obtenida previamente, la que es analizada en forma posterior de manera detallada, redactando el informe respectivo.

Por el nivel de detalle del presente trabajo no se realiza la primera etapa, y para la segunda etapa nos basamos en proyectos realizados en la cercanía y la carta geológica publicada por el INEGI (Anexo F).

III.1.3 GEOLOGÍA DEL LUGAR.

En la zona de estudio, las características geológicas corresponden a formaciones del Cenozóico Cuaternario de origen ígneo–extrusivo del período reciente aflorando tres unidades representadas por rocas basálticas, brechas volcánicas y tobas básicas.

En la zona de estudio se localiza dentro de la Provincia del Eje Neovolcánico, de acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964). El Eje Neovolcánico es una cadena montañosa formada principalmente por rocas ígneas extrusivas que se encuentra paralelo a la costa del Océano Pacífico y orientada de NW a SE y es una continuación del macizo montañoso de América Central. Por otro lado, el área pertenece a la Zona Sísmica de la República Mexicana, la cual se ve afectada por los frecuentes sismos y cuyos focos se localizan en una profundidad no mayor de 100 km y han tenido movimientos entre 3 y 6 grados de magnitud en

la escala de Richter. (El 40 % de los sismos se originan frente a las costas de los estados de Michoacán, Guerrero y Oaxaca).

En la zona de estudio se refleja la acción de procesos magmáticos dentro de la cual se observan las emisiones lávicas que formaron mesas profundamente disectadas y por acumulaciones piroclásticas que formaron volcanes durante la Era Cenozóica. Particularmente se observan amplios derrames de fisuras y volcanes piroclásticos. De acuerdo a sus características geomorfológicas es posible ubicarla en una etapa de juventud.

En la zona de estudio, las características geológicas corresponden a rocas ígneas representada por basaltos y andesitas de coloración crema claro. En esta roca se observan de manera notable, las concentraciones de feldespato monoclinico (ortoclasa) y particularmente de cuarzo.

De la zona en estudio la Geología se remonta al período terciario superior, aflorando localmente tres unidades constituidas por tobas básicas y unidades del cuaternario compuestas por basaltos y brechas volcánicas.

Las características geológicas corresponden a formaciones del cretácico superior clásico de origen ígneo del período reciente con formaciones representadas por rocas andesíticas, tobas, conglomerado, gravas y arcillas con diferentes grados de compacidad, las zonas planas se aprovechan para cultivo, principalmente las arcillas superficiales cuyo espesor varía de 0.40 a 1.5 metros.

En el área los suelos están constituidos principalmente por limos, arenas arcillosas y arenas limosas producto de la alteración de las andesitas y basaltos.

A continuación se hace una descripción de las principales rocas que se encuentran en la zona.

Basalto: Constituido por derrames del cuaternario, de color negro a gris azulosos cuyos compuestos minerales son ortopiroceno, ematita, magnetita y clinoperoxeno (minerales petrográficos que químicamente son silicatos ferromagnésicos, con calcio y magnesio, de estructura fibrosa). Presentan estructura vesicular con fracturamiento intenso y poco intemperizado. Se origina como parte del volcanismo que originó el eje neovolcánico, se presentan como derrames en extensiones muy amplias.

Brecha Volcánica: Esta unidad comprende diferente alternancia de material piroclástico y derrames basálticos, presentan diferentes tamaños y están poco consolidados los depósitos piroclásticos, son de tamaño pequeño y la escoria se presenta como bloques y en ocasiones en bombas, se presentan sobrepuestos a cordones de lava en forma de conos volcánicos.

III.1.4 GEOLOGÍA APLICADA.

Una vez que se cuenta con la información suficiente, se continuará con la elaboración de la tabla de curva masa y croquis de bancos de terracerías, la cual es necesaria para la elaboración del anteproyecto de terracerías.

La localización de bancos de préstamos de terracerías quedará establecida de acuerdo a la Tabla III.1 “Formato para la Relación de Materiales” y Tabla III.2 “Formato para la localización de los Bancos de Préstamo de Materiales”).

III.1.4.1 FORMATO PARA LA RELACIÓN DE MATERIALES.

Este formato muestra algunos indicadores representativos de la clasificación de suelos tales como el kilometraje de desplazamiento, el estrato, la variación volumétrica, el tratamiento probable y los cortes de los taludes, todo se explica detalladamente a continuación.

La columna (1) indica el kilometraje de una zona que por tener las mismas características, tendrá las mismas recomendaciones.

La columna (2) indica el número progresivo y espesor del estrato en metros.

La columna (3), se utiliza para describir en forma detallada los materiales de cada estrato, debiendo indicar para el caso de suelos: el nombre, color, textura, estructura, compacidad, grado de cementación, grado de plasticidad, contenido de grava y fragmentos de roca, grado de humedad, etc.; para rocas, se debe indicar: nombre, origen geológico, estado de interperización y fracturamiento, de los estratos y materiales que se obtendrán al ser explotados, etc. Esta clasificación es de acuerdo a lo presentado en la Tabla III.3 “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)” (Aumento con Fragmento de Roca), así como la Figura III.1 “Carta de Plasticidad”, versiones ambas, de la extinta Secretaría de Obras Públicas

(SOP); de acuerdo con el tamaño de las partículas se deberá obtener para su identificación el porcentaje de suelo que pasa la malla número 200 y el porcentaje retenido en la malla número 4 con el fin de conocer el tamaño de partícula que definen las gravas y los finos.

También y en consecuencia para la clasificación de los fragmentos de roca para su posible utilización, de acuerdo con el tamaño máximo de los mismos, se presentan en la Tabla III.3 “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)” (Aumento con Fragmento de Roca) y en la Tabla III.4 “Uso de los Suelos para Terracerías de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Una de las ventajas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), es que determina el criterio para identificar en campo los suelos finos, donde también cuenta mucho la experiencia. Aún así es aconsejable la comparación de resultados de laboratorio en cada caso, por lo tanto, la identificación se realizará por medio de las siguientes pruebas:

- a) Dilatancia.
- b) Tenacidad.
- c) Resistencia en estado seco.

a) DILATANCIA. Es la propiedad que tienen los materiales para retener o expulsar agua mediante la aplicación de una amasada y presión a una porción de suelo, y puede ser rápida, lenta, muy lenta o nula. Puede decirse que las arenas muy finas expulsan el agua más rápidamente y en forma distinta, mientras que las arcillas no lo expulsan.

Por lo tanto, las arcillas no tienen reacción, los limos inorgánicos tales como el polvo de roca, dan una reacción rápida y moderada, la velocidad con que la pastilla cambia su consistencia y con la que el agua aparece y desaparece, indica el carácter y la naturaleza de los finos del suelo.

El fenómeno de aparición del agua en la superficie de la muestra, es debido al acomodo de los suelos limosos y en mayor grado la de los arenosos bajo la acción de los impactos en la mano, ya que se reduce la relación de vacíos del material expulsando el agua de ellos. El amasado posterior aumenta nuevamente la

relación de vacíos; las arcillas no sufren cambio en la relación de vacíos, por lo que no se presenta la reacción.

b) TENACIDAD. Se determina apreciando la dificultad de remoldeo que se presenta en una porción de suelo con humedad cercana al límite plástico, se mide como nula, media y alta.

La fracción coloidal arcillosa se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollito de material al acercarse al límite plástico, y de la rigidez de la muestra al romperse finalmente entre los dedos.

La debilidad del rollo al acercarse al límite plástico y la pérdida rápida de la cohesión al rebasar ese límite; la presencia de arcilla inorgánica de baja plasticidad, tales como arcillas de tipo caolín y las arcillas orgánicas, las que se sienten muy débiles entre los dedos, y esponjosas al tacto.

c) RESISTENCIA EN ESTADO SECO. Se presenta en una porción de suelo al medir su resistencia al desmoronamiento de grumos en estado seco, se mide de nula, ligera, mediana a alta y muy alta.

Una resistencia alta, es característica de los grupos de arcillas de alta plasticidad ($CH_1 - CH_2$); el limo inorgánico posee ligera resistencia, al que pueda sentirse por el tacto cuando se encuentre en estado seco.

La arena tiene consistencia granular, mientras que el limo (ML), no presenta ninguna resistencia y al momento se desmorona con poca presión de los dedos. Una resistencia baja es representativa de los suelos de baja plasticidad y se localizan debajo de la línea "A", las arcillas inorgánicas muy limosas se ubican ligeramente sobre la línea "A" (CL), y las resistencias medias se definen en aquellos del grupo (CL), y en ocasiones (CH – MH).

La columna (4), se refiere al tratamiento mecánico que se debe dar al material utilizando en las diferentes capas de terracerías, entre éstos se tiene el despálme, compactado, disgregado, bandeado, etc.

La columna (5), donde aparecen los coeficientes de variación, son datos de gran importancia ya que, permiten tener idea del abudamiento o reducción de volúmenes de corte o préstamo, que se emplean para hacer la compensación de la curva masa.

Concretamente, el Coeficiente de Variación Volumétrica (Cvv), es un número que expresa la relación entre los pesos volumétricos secos en estado natural y el compactado a un cierto grado de compactación.

Esta relación se expresa como sigue:

$$C_{vv} = \frac{\gamma_{dn}}{G_c} \cdot \gamma_{dmáx}$$

Donde:

Cvv= Coeficiente de Variación Volumétrica

γ_{dn} = Es el peso volumétrico seco en estado natural, en el lugar que ha de ser extraído.

$\gamma_{dmáx}$ = Es el máximo peso volumétrico seco que puede obtenerse para ese suelo con la prueba de control de compactación que se vaya a emplear.

Gc = Es el grado de compactación que se especifique para el caso.

El coeficiente de variación volumétrica, permite establecer los volúmenes de materiales que han de ser excavados y obtenidos en los bancos de préstamo, para determinar el volumen que se necesita utilizar en las terracerías, dato que es indispensable para obtener el costo verdadero de un proyecto dado.

En el caso de trabajar con fragmentos de roca, los procedimientos normales de compactación presentan problemas, dado que se presenta el llamado coeficiente de bandeo, el cual se da en forma subjetiva de acuerdo con el grado de alteración y fracturamiento del macizo rocoso.

En general, para rocas sanas se da como 1.25; para rocas muy intemperizadas se da como 1.00, teniéndose grados de alteración intermedios y en consecuencia valores intermedios (Ver Tabla III.6 “Valores Típicos de Coeficientes de Variación Volumétrica”)

TABLA III.1 “FORMATO PARA LA RELACIÓN DE MATERIALES”

[illegible]

La columna (6), se refiere a la clasificación para presupuesto, la cual se utiliza como forma de pago a las empresas constructoras, tomando en cuenta la dificultad de explotación, el equipo y técnica utilizada.

De acuerdo con la dificultad que presentan para su extracción y carga, los materiales producto de los cortes se clasifican en tres tipos:

- Material “A”. Material blando o suelto, que puede ser eficiente explotado con motoescropa de 90 a 110 HP, sin auxilio de arados o de tractores empujadores, aunque éstos se utilizan para dar mayores rendimientos, son suelos poco o nada cementados con fragmentos hasta de 7.6 cm.; ejemplos de éstos, los suelos agrícolas, las arenas y limos, etc.
- Material “B”. Material que por su extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente con tractor montado sobre orugas (Bulldozer) y con cuchilla de inclinación variable de 140 a 160 HP, con pala mecánica con capacidad de 1 m³ mínimo, sin uso de explosivos, aunque por conveniencia se utilicen éstos para aumentar el rendimiento o bien puede ser aflojado por arado de 6 toneladas, remolcado por tractor de orugas de 140 a 160 HP en la barra.
- Material “C”. Son los que por dificultad de extracción, sólo pueden ser excavados con el uso de explosivos. Se consideran las rocas sueltas con dimensión mayor de 75 cm; entre estos se encuentran los basaltos, areniscas, conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, andesitas sanas, granitos, etc.

Generalmente se dan a los materiales las siguientes clasificaciones de pago, según las especificaciones mencionadas:

La columna (7), comprende un aspecto de gran importancia dentro del proyecto geotécnico, éste consiste en un conjunto de recomendaciones que se deben proporcionar para establecer la inclinación de los taludes de los cortes. En principio, sería necesario el tener un conocimiento amplio de todas las características mecánicas de los suelos que intervienen en cada proyecto, con la ayuda del laboratorio ya que es prácticamente imposible el conocimiento detallado

TABLA III.2 “FORMATO PARA LA LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIALES”

[illegible]

TABLA III.3 (1/6) “SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)” (AUMENTO CON FRAGMENTO DE ROCA)

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de Grupo	1.
FRAGMENTOS DE ROCA Tamaños mayores de 7.6 cm y menores de 2 m	Grandes Mayores de 75 cm y menores de 2 cm	- Fragmentos grandes, con menos del 10 % de otros fragmentos o de suelo. - Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10 % de fragmentos chicos o de suelo. - Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10 % de fragmentos medianos o de suelo. - Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 0 % de suelo. - Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10 % de suelo.	FG	Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10 % de suelo, el material se clasificará con símbolo doble, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmento respectivo. Si el volumen de suelo rebasa al 50 %, el símbolo de éste se antepondrá al del fragmento; si el volumen del suelo está comprendido entre 10 y 50 %, su símbolo se colocará en seguida del símbolo de los fragmentos de roca.
			Fgm	
			Fgc	
			Fgmc	
			Fgcm	
	Medianos Mayores de 20 cm y menores de 75 cm	- Fragmentos medianos, con menos del 10 % de otros fragmentos o de suelo. - Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10 % de fragmentos o de suelo. - Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10 % de fragmentos chicos o de suelo. - Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10 % de suelo. - Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10 % de suelo.	Fm	Ejemplo 1 Un material contiene: 60 % de Fm 20 % de SM 15 % de Fm 5 % de FC Su símbolo sería: Gc-Fgm
			Fmc	Ejemplo 2 Un suelo contiene: 40 % de Fm 30 % de SM 20 % de FE 10 % de Fg Su símbolo sería: Fmcg-SM
			Fmg	
			Fmcg	
			Fmgc	

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.3 (2/6) “SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)” (AUMENTO CON FRAGMENTO DE ROCA)

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de Grupo	
FRAGMENTOS DE ROCA Tamaños mayores de 7.6 cm y menores de 2 m	Chicos Mayores de 7.6 cm y menores de 20 cm	• Fragmentos chicos, con menos del 10 % de otros fragmentos o de suelo. • Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10 % de fragmentos grandes o de suelo. • Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10 % de fragmentos medianos o de suelo. • Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10 % de suelo. • Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10 % de suelo.	Fc Fmg Fcg Fcgm Fcgm	Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que contenga un material, se harán en forma estimativa 1. La clasificación de suelos que aparece en este cuadro corresponde, en general, al Sistema Unificado (S.U.C.S.) y puede considerarse como la versión S.O.P. de dicho sistema. 2. Todos los tamaños de las mallas que aparecen en este cuadro son las de la U.S. Standard (abertura cuadrada).

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.3 (3/6) “SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)” (AUMENTO CON FRAGMENTO DE ROCA)

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de Grupo	1. Como los símbolos de los suelos proceden en general de nombres en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de las letras que aparecen en los mismos:
SUELOS	Más de la mitad del material se retiene de partículas gruesas en la malla núm. 200	Gravas bien granuladas, mezcla de grava y arena, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. Gravas mal granuladas, mezclas de grava y arena, poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	GW	2. Tratándose de suelos como partículas gruesas, en que el % en peso que pasa la malla núm. 200 queda comprendido entre 5 y 12 %, se tienen casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
	Se estima que las partículas más pequeñas apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074 mm (malla núm. 200)			
	Gravas. Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla núm. 4			
	(Para clasificación visual puede considerarse 5 mm como equivalente a la abertura de la malla núm. 4)			
SUELOS	Partículas menores de 7.6 cm	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y lima, mal granuladas.	GM	2. Tratándose de suelos como partículas gruesas, en que el % en peso que pasa la malla núm. 200 queda comprendido entre 5 y 12 %, se tienen casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.3 (4/6) “SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)” (AUMENTO CON FRAGMENTO DE ROCA)

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de Grupo	
SUELOS Partículas menores de 7.6 cm	Más de la mitad del material se retiene de partículas gruesas en la malla núm. 200	(Cantidad apreciable de partículas finas) Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas mal granuladas Más de 12% en peso pasa la malla núm. 200 y las pruebas límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla núm. 40, la clasifican con un suelo CI, arriba de la línea “A” de la carta de plasticidad, o Ip > 6.	GC	Ejemplos: Gw – GC corresponde a una mezcla de grava y arena bien granulada, con sementante arcilloso; GW – SM corresponde a un material bien granulado con menos de 5 % pasando la malla núm 200 y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena. 1. Los coeficientes de Uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc) que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP están dados por las siguientes expresiones: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ en que:
	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4			
	Gravas. Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla núm. 4			
	Se estima que las partículas más pequeñas apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074 mm (malla núm. 200) Arenas. Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4 (Para clasificación visual puede considerarse 5 mm como equivalente a la abertura de la malla núm. 4)			
	Arenas limpias	• Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de fino, deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3.	SW	
	(Poco o nada de partículas finas)	• Arenas más graduadas, arenas con grava, poco o nada finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW:	SP	

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.3 (5/6) “SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)” (AUMENTO CON FRAGMENTO DE ROCA)

SUELOS Partículas menores de 7.6 cm			
Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de Grupo
	Más de la mitad del material se retiene de partículas gruesas en la malla num. 200 Se estima que las partículas más pequeñas apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074 mm (malla num. 200) Arenas. Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla num. 4 (Para clasificación visual puede considerarse 5 m como equivalente a la abertura de la malla num. 4)	Arenas con finos - Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas. (Cantidad apreciable de partículas finas) - Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcillas más graduadas.	SM SC
		Más de 12 % en peso pasa la malla num. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla num. 40, la clasifican como un suelo ML, debajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, o $Ip < 6$. Más de 12 % en peso pasa la malla num. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa a la malla num. 40, la clasifican como un suelo CI, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o $Ip < 6$.	D_{10}, D_{30} y D_{60} son los diámetros o aberturas de las mallas correspondientes al 10, 30 y 60 % en peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica.

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.3 (6/6) “SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)” (AUMENTO CON FRAGMENTO DE ROCA)

Tipo	Subtipos			Identificación	Símbolo de Grupo	1. La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla núm. 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad a que se refiere el inciso 90-02, 2, que aparece por separado.
	Se estima que las partículas más pequeñas apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074 mm (Malla núm. 200)					
	Más de la mitad del material pasa la malla número 200					
	De partículas finas.					
Partículas menores de 7.6 cm						
SUELOS						
	Altamente orgánicas	Mayor del 100 %	• Limos inorgánicas de alta plasticidad (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad) • Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad) • Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad)	MH ₂ CH ₂ OH ₂	No existen datos	
		Entre 50 y 100 %	• Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad) • Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad) • Limos y arcillas orgánicas de media y alta plasticidad (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad)	MH ₁ CH ₁ OH ₁		
		Menor de 50 %	• Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas (Dentro de la zona 1 de la carta de plasticidad) • Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad) • Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de media y alta plasticidad (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad)	ML CL OL		
		Limas y arcillas límite líquido			2. Se ha observado que los suelos OL, OH ₁ y OH ₂ caen dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos ML, MH1 Y MH2, respectivamente. Sin embargo, casi siempre quedan más cerca de la línea "A" que estas últimas, en virtud de presentar mayores índices plásticos.	

**TABLA III.4 (1/2) “USO DE LOS SUELOS PARA TERRACERIAS DE
ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE
CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)”**

Tipo	Subtipos	Símbolo de Grupo	Características para su acomodo	Pruebas especializadas para la determinación de los pesos volumétricos secos máximos	Recomendaciones de Uso	
					Cuerpo de Terraplén	Capa de subrasante en terraplenes y cortes
Fragmentos de roca Tamaños mayores de 7.6 cm y menores de 2 m.	Grandes Mayores de 75 cm Y Menores de 2 m	Fg Fgm Fgc Fgmc Fgcm	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.	----	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	No debes usarse
	Medianos Mayores de 20 cm Y Menores de 75 cm	Fm Fmc Fmg Fmcg Fmgc	Susceptibles de acomodarse por bandeado con tractor y/o con el equipo de construcción.	----	Pueden utilizarse en todo el cuerpo de terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	No deben usarse
		Fc Fcm Fcg Fcmg Fcgm	Susceptibles de acomodarse por bandeado con tractor y/o con el equipo de construcción	----	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	No deben usarse

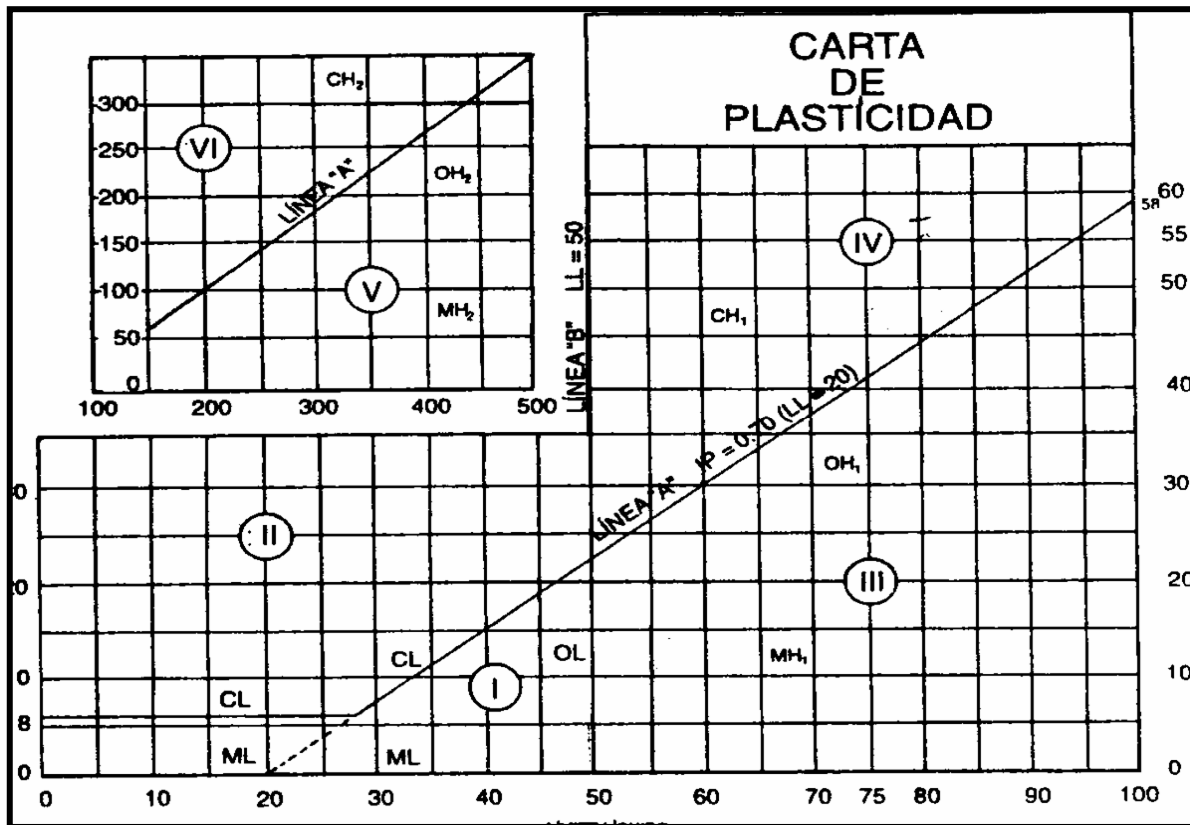
Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

**TABLA III.4 (2/2) “USO DE LOS SUELOS PARA TERRACERIAS DE
ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE
CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)”**

Tipo	Subtipos	Símbolo de Grupo	Características para su acomodo	Pruebas especializadas para la determinación de los pesos volumétricos secos máximos		Recomendaciones de Uso	
				Cuerpo de Terraplén		Capa de subrasante en terraplenes y cortes	
SUELOS Partículas menores de 7.6 cm	Gruesos	GW	Susceptibles de compactarse con equipo especial.	Porter	En los casos de suelos en que por su baja cementación no esté bien definida la prueba que debe aplicarse para determinar el peso volumétrico seco máximo, se efectuarán las pruebas Proctor SOP y Proctor, optando por aquella que de un peso volumétrico seco máximo más alto.	95 % de compactación	No deberán usarse materiales con valor relativo de soporte saturado menor de 5 % o expansión mayor de 5 %.
		GP		Porter			
		GM		Porter			
		GC		Porter			
	Arenas	SW		Porter	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible construir por capas todo o parte del terraplén. Las mezclas de fragmentos de roca y suelos en que predominen éstos, podrán, en algunos casos, ser susceptibles de compactarse con equipo especial, aunque no pueda determinarse el grado de compactación. Esto sólo podrá hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto fijará el procedimiento a seguir en estos casos.	90 % de compactación	No deberán usarse materiales con valor relativo de soporte saturado menor de 5 % o expansión mayor de 5 %.
		SP		Porter			
		SM		Porter			
		SC		Porter SOP			
	Finos	ML	Susceptibles de compactarse con equipo especial.	Porter para $I_p < 6$	En los casos de suelos en que por su baja cementación no esté bien definida la prueba que debe aplicarse para determinar el peso volumétrico seco máximo, se efectuarán las pruebas Proctor SOP y Proctor, optando por aquella que de un peso volumétrico seco máximo más alto.	95 % de compactación en carreteras. En aeropistas no deben usarse.	No deben usarse
		CL		Proctor SOP para $I_p > 6$			
		OL		Proctor SOP			
		MH ₁		Proctor SOP			
		CH ₁		Proctor SOP			
		OH ₁		Proctor SOP			
Altamente orgánicos	Turba	MH ₂	Límite líquido mayor de 100				
		CH ₂					
		OH ₂					
		Pt					

FIGURA III.1 "CARTA DE PLASTICIDAD"



de dichas propiedades en cada punto de una carretera, por lo menos en el grado de aproximación que permita un proyecto basado en métodos teóricos.

Lo anterior se realiza por ser más práctico por razones económicas, por lo tanto en la mayor parte, los criterios que se siguen son basados en la experiencia de los ingenieros encargados de los estudios de campo y que son los encargados de dar las recomendaciones, de acuerdo con el conocimiento de los materiales que intervienen en cada caso.

También se hace necesario aclarar que, lo anterior se aplica en conjunto a cualquier obra vial, pero no debe excluirse la necesidad de realizarse estudios detallados, respaldados por exploración directa o indirecta, y por el empleo de laboratorio donde sea preciso. En general, se puede decir que la mayor parte de los cortes que se presentan en un proyecto, se proyectan sin ningún estudio detallado de campo que incluya el muestreo del suelo y el posterior estudio de laboratorio para efectuar un cálculo matemático en forma más detallada, por lo

TABLA III.5 “CLASIFICACIÓN DE MATERIALES “A”, “B” Y “C”

MATERIAL	CLASIFICACIÓN		
LIMOS Y ARENAS DE SUELOS	A	B	C
MUY SUELTA	100	0	0
SUELTA	90	10	0
MEDIANAMENTE COMPACTA	80	20	0
COMPACTA	50	50	0
MUY COMPACTA	0	100	0
ARCILLAS			
MUY SUAVE	100	0	0
SUAVE	95	5	0
FIRME	90	10	0
MUY FIRME	80	20	0
DURA	50	50	0
MUY DURA	0	100	0
ROCA (BASALTO, ANDESITA, CALIZAS, ETC.)			
SANA	0	0	100
FRACTURADA	0	20	80
MUY FRACTURADA	0	40	60
TOBA VOLCÁNICA	0	100	0

**TABLA III.6 “VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES
DE VARIACIÓN VOLUMÉTRICA”**

TIPO DE MATERIAL	COMPACTADO			BANDEADO	ABUNDAMIENTO
	90 %	95 %	100 %		
• ARENA					
SUELTA	0.87	0.82	0.78	--	1.00
MEDIANAMENTE COMPACTA	0.96	0.91	0.86	--	1.10
COMPACTA	1.03	0.98	0.93	--	1.20
MUY COMPACTA	1.11	1.05	1.00	--	1.28
• LIMO NO PLÁSTICO					
MUY SUELTO	0.82	0.78	0.74	--	1.06
SUELTO	0.91	0.86	0.82	--	1.17
MEDIANAMENTE COMPACTO	0.99	0.94	0.89	--	1.27
COMPACTO	1.06	1.00	0.95	--	1.36
MUY COMPACTO	1.11	1.05	1.00	--	1.43
• ARCILLA Y LIMO PLÁSTICO					
MUY BLANDA	0.78	0.74	0.70	--	1.08
MEDIA	0.87	0.82	0.78	--	1.20
FIRME	0.95	0.90	0.85	--	1.30
MUY FIRME	1.01	0.96	0.91	--	1.40
DURA	1.08	1.02	0.97	--	1.49
ROCAS	1.14	1.08	1.02	--	1.57
• MUY INTEMPERIZADAS. Rocas con alteración física y química muy avanzada., poco cementadas, con grietas apreciables rellenas de suelo; se disgregan fácilmente. Podrán atacarse con tractor y se obtendrán fragmentos chicos, graves, arenas y arcillas.					
				1.00	1.10
• MEDIANAMENTE INTEMPERIZADAS. Rocas con alteración física y química medianamente avanzada, medianamente cementadas, fracturadas. Para atacarlas se requerirá el empleo de arado y de explosivos de bajo poder y se obtendrán fragmentos chicos y medianos, gravas y arenas.					
				1.07	1.25
• POCO INTEMPERIZADAS. Rocas con poca alteración física o química, bien cementada, poco fracturadas. Para atacarlas se requerirá el empleo de explosivos de alto poder y se obtendrán fragmentos medianos, hicos y grandes gravas.					
				1.15	1.50
• SANAS. Rocas sin alteración física o química, poco o nada fisuradas, bien cementadas, densas. Para atacarlas se requerirá el empleo de explosivos de alto poder y se obtendrán fragmentos grandes y medianos.					
				1.25	1.75

que se proyectan en base a la experiencia y criterio del ingeniero responsable, auxiliándose de algunas estructuras similares en la zona y por las condiciones de estabilidad de las laderas naturales, por lo que no se puede dar como regla general el tratamiento a seguir, pues cada caso debe tratarse en forma individual.

La siguiente Figura III.2 “Talud del Corte”, reúne la experiencia de un grupo de ingenieros del Departamento de Carretera de California, Estados Unidos de América, la cual sirve para determinar la inclinación del corte en función de su altura para conjunto de valores de cohesión (c) y ángulo de fricción (Q), valores que el ingeniero ha de obtener mediante pruebas de laboratorio practicadas a los materiales en cuestión, con lo cual podrá establecer las condiciones en las cuales se logrará la estabilidad del corte en estudio.

La columna (8), corresponde a las observaciones o recomendaciones que deberán seguirse cuando a la utilización de los materiales que se emplearán en las terracerías de acuerdo con la calidad y características de los mismos, así como su utilización probable en las diferentes capas de las terracerías así como el grado de compactación que se deberá dar a las capas que constituyan a dichas terracerías y en casos particulares se indica algún párrafo anexo o procedimiento cuando se trata de estudios especiales o zonas de riesgo, como zonas pantanosas, lagunas, zonas de falla geológica, etc.

III.1.4.2 LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE PRÉSTAMO DE MATERIALES.

En general, los materiales que se utilizan en la formación de las capas de las terracerías, pueden ser procedentes de los cortes como compensación longitudinal en el caso de que dichos cortes cumplan con las características de calidad que se requiere, siendo éste el procedimiento más económico en el sentido de que se disminuyen los volúmenes de desperdicio y se utiliza todo el material removido, pero aún con esto, no siempre se logra la compensación completa en todos los casos.

Otro procedimiento para obtener materiales para la formación de las capas de terracerías es el llamado préstamo lateral, en el cual, se extrae el material

requerido de áreas paralelas al eje de trazo y generalmente dentro del derecho de vía, con este procedimiento se reducen los acarreos de materiales, y en consecuencia el costo de la construcción; el procedimiento estará limitado por la calidad de los materiales existentes, de la ubicación del préstamo es decir que los materiales se encuentran en zonas planas, agrícolas, inundables o pantanosas, por lo que se recomienda no hacer excavaciones en esos sitios, ya que traería más problemas que ventajas; en ocasiones por lo reducido del derecho de vía, se obliga a excavar zanjas muy profundas, por lo que los problemas de drenaje y encharcamientos se gravan, y si en el futuro se va a llevar una ampliación o construcción de un cuerpo nuevo, éstas zanjas o excavaciones tendrían que ser rellenadas. Por lo anterior, el préstamo se recomienda únicamente cuando produzca materiales apropiados, que las zanjas provocadas por las excavaciones sean fáciles de drenar y que éstas queden a razonable distancia de la carretera.

Es recomendable durante la etapa del anteproyecto, se realice un análisis de costos con el fin de establecer si este concepto es ventajoso o no, ya que algunas veces no lo es tanto.

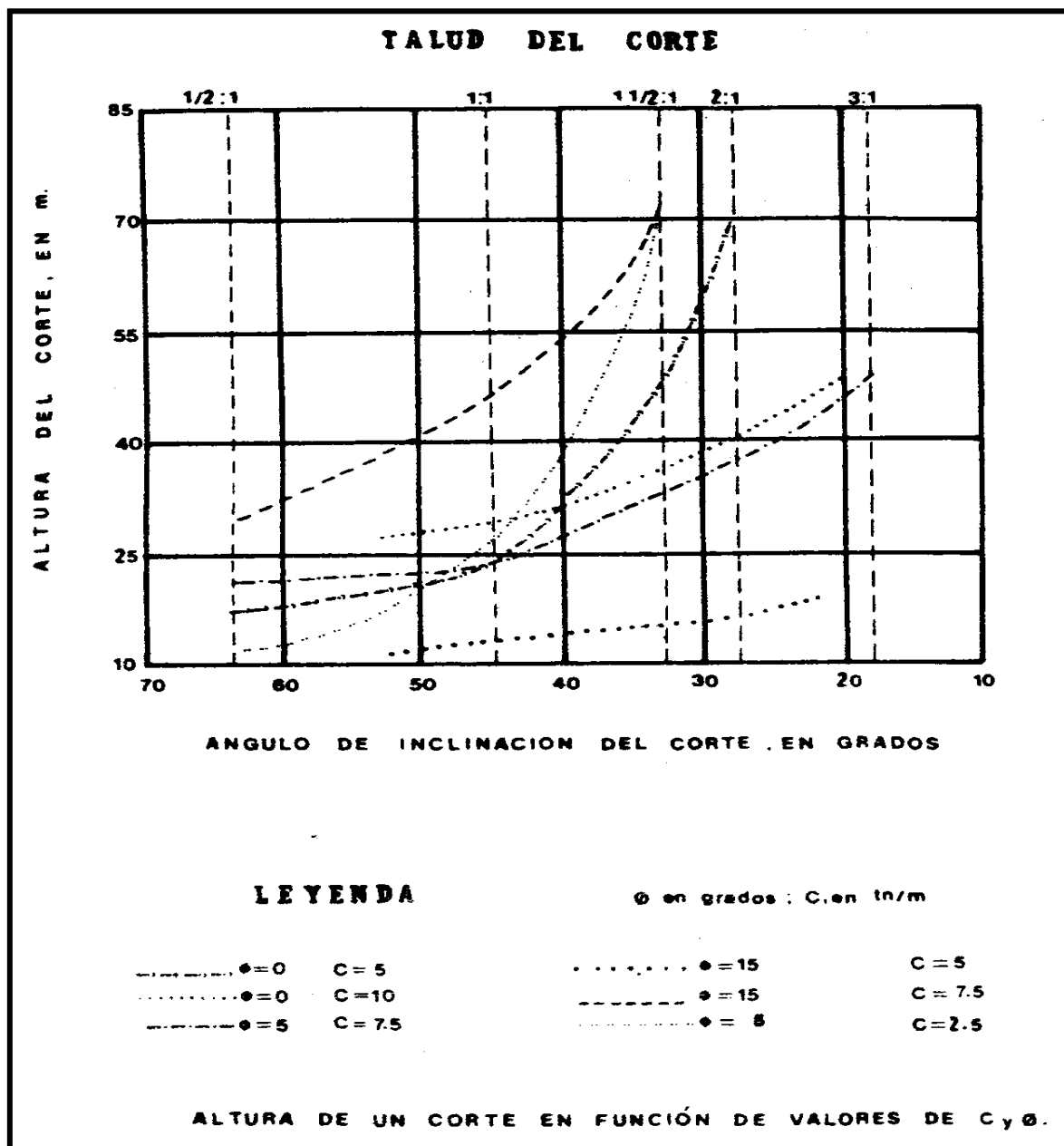
Uno de los procedimientos para la obtención de materiales, es la de ubicar áreas de extracción en depósitos o formaciones naturales, ya que éstas se explotan en forma masiva y se encuentran fuera del derecho de vía, por lo que se requiere acarrear para tenderlo, a estos préstamos se les domina bancos de préstamo.

Los bancos de materiales deberán quedar lo mejor ubicados respecto a la línea de trazo y además deberán cumplir con las especificaciones de calidad y volumen suficiente según el uso específico que se les dará, también es importante que dichos bancos se pueda explotar con los procedimientos menos costosos, y una vez en la obra, requieran los procedimientos más usuales y mínimo tratamiento.

La búsqueda y localización de bancos de materiales debe hacerse con el auxilio de la fotointerpretación y posteriormente mediante reconocimientos de campo, y si el volumen fuera muy grande, con el auxilio de los métodos geofísicos; generalmente será necesario el localizar bancos de materiales de subrasante, sub-base, base, carpeta y sello, y en ocasiones se requerirán bancos para la elaboración de concretos y piedra para mampostería. Muchas veces, un mismo

banco puede proporcionar material para la mayor parte de los usos, dando un tratamiento en cada caso.

FIGURA III.2 "TALUD DEL CORTE"



Los bancos de terracerías conviene localizarlos próximos al tramo, cuya distancia no mayor de 5 km., aunque en ocasiones en las zonas costeras donde el material es escaso, es permitido. En caso contrario, el material que se pudiese utilizar y

cuya calidad no sea la adecuada, tendrá que estabilizarse mediante un proceso especial, ya sea químico o mecánico.

En general, para la formación de la capa subrasante, se recomienda que el material de los bancos sea lo más homogéneo posible ya que los valores representativos para el diseño de la estructura del pavimento por lo regular se basan en los mismos, lo que permite que la estructura no se varíe en forma significativa.

Los materiales para sub-base y base, suelen estar condicionados por el tratamiento al que se sujetan para satisfacer las normas y especificaciones de calidad, ya que necesitan de la instalación por esto, la ubicación de dichos bancos es más espaciada, con distancias entre éstos de hasta 50 km.

Los bancos de materiales utilizados en subrasante se localizan principalmente en lomeríos suaves, en formaciones de roca muy alterada, en zonas de depósito de los ríos, etc., en cambio, los materiales de sub-base y base, son encontrados en playones y márgenes de los ríos, en frentes rocosos, cerros relativamente elevados, etc.

III.1.4.2.1 BANCO DE PRÉSTAMO DE MATERIALES.

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de vías terrestres corresponden a la obtención de los materiales de roca, arena, y otros suelos que por su localización y selección se convierte en uno de los problemas básicos del ingeniero civil y conexión estrecha con el geólogo. La experiencia diaria enseña que, si se da a estas tareas la debida importancia podrán localizarse depósitos de materiales apropiados cerca del lugar de su utilización, abatiendo los costos de transportación, otras veces se logran obtener materiales utilizables en zonas que antes dependían de otras más alejadas en este aspecto. Por estas razones, no es de extrañar que la búsqueda científica y la explotación racional de los materiales ocupen la atención de los grupos técnicos interesados.

Durante muchos años, la detección de bancos de materiales dependía de métodos exploratorios comunes, desde la simple observación sobre el terreno, hasta el empleo de pozos a cielo abierto, perforadoras, barrenos y aún máquinas

perforadoras. En épocas más recientes los estudios geofísicos, de gran potencialidad en estas cuestiones, han a sumarse a la técnica disponible, ahorrando mucho tiempo y esfuerzo humano y mucha exploración.

Un punto fundamental en la determinación de bancos de materiales es la evaluación de las rocas o suelos contenidos, la que suele ser muy difícil de establecer en forma cuantitativa. En lo que se refiere a las rocas, existen dos puntos principales que se deben mencionar. El primer punto se refiere a los cambios físicos que las rocas puedan sufrir por fragmentación durante la extracción por manejo o durante la colocación. El segundo punto, se refiere a la alteración física y química que pueda tener el lugar durante la vida útil de la obra. Estos mismos factores han de ser considerados cuando se trate de suelos, pero revisten mayor importancia en las rocas, cuyos suelos seguramente han sufrido ya sus transformaciones físico-químicas importantes durante su proceso anterior de descomposición, que les dio existencia a partir de la roca madre, sobre todas las sanas trituradas o rotas, no han estado antes sujetas a procesos intensos de meteorización y estos pudieran tener consecuencias muy notables.

Cada caso requiere de la realización de pruebas de campo y de laboratorio sobre las rocas que forman el banco de estudio. La mejor prueba de campo es, quizá, la duplicación de un proceso de excavación análogo al que se usará en forma masiva, para ver objetivamente que materiales se obtiene, esta será necesariamente, una prueba a escala suficientemente grande, como para ser realista.

La evaluación preliminar de los suelos se hace con base en experiencias precedentes, el Sistema Unificado de la Clasificación de Suelos (SUCS) ayuda en todos los casos ya que este sistema lleva aparejando al encasillamiento en un grupo determinado, todo un conjunto de comportamiento. La evaluación a detalle de los suelos constitutivos de un banco y debe hacerse con base en pruebas de laboratorio.

Con los datos obtenidos de una carretera de la zona de estudio con características más o menos similares, se procedieron a elaborar las tablas de datos para el cálculo de la curva masa, las cuales contienen el espesor de los estratos de los

materiales y su clasificación, para presupuesto, la altura de terraplenes, sus taludes y las observaciones, estas se presentan a continuación en la Tabla III.7 “Curva Masa”.

OBSERVACIONES PARTICULARES.

- A) En todos los casos el cuerpo de terraplén se compactarán al 90 % Proctor o se bandeará según sea el caso, las capas de transición y subrasante se compactarán al 95 % y 100 % respectivamente; los grados de compactación indicados son con respecto a la prueba Proctor dependiendo de la granulometría del material, por lo que quedará a juicio del laboratorio de control aplicar la prueba correspondiente.
- B) En todos los casos, cuando no se indique otra cosa, el terreno natural, después de haberse efectuado el despalme al 90 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) en una profundidad mínima de 0.20 m; o bandearse según sea el caso.
- C) Material que por sus características no debe utilizarse ni en construcción del cuerpo del terraplén.
- D) Material que por sus características, solo puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, mismo que deberá compactarse al 90 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) o bandearse según sea el caso.
- E) Material que por sus características, puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, capa de transición y capa subrasante.
- F) En terraplenes formados con este material, se deberá construir capa transición de 0.20 m de espesor, cuando la altura de estos sea menor de 0.80m y cuando sea, mayor, la transición será de 0.30 m de espesor.
- G) Material que por sus características, puede ser utilizado en la formación del cuerpo del terraplén capa de transición.
- H) En terraplenes la construcción de este material, se deberá proyectar capa de transición de 0.20 m de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30m compactadas al 95 y 100 % respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco más cercano.

TABLA III.7 (1/5) "CURVA MASA DEL TRAMO 0+000 AL 5+800"

DATOS PARA EL CALCULO DE CURVA MASA					CAMINO: TOLUCA - NAUICALPAN										
					TRAMO: TOLUCA - NAUICALPAN										
					SUBTRAMO: DE KM 0+000 AL KM 35+000										
					ORIGEN: XONACATLAN, EDO. DE MEXICO										
Km a Km	Estrato N° Espesor	Clasificación	Tratamiento Probable	Coeficiente de Variación Volumétrica			Clasificación Propuesta			Terraplen		Corte		Observa- ciones	
				90%	95%	100%	A	B	C	Altura Máxima	Talud	Altura Máxima	Talud		
0+000 a	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme				100	00	00					
	2	0.8	Arcilla caférojiza gris obscuro de consistencia blanda a media poco húmeda (CH)	Compactado	0.95	0.90	0.85	70	30	0	*****		10.0	1.7:1	ABCJ
	3	Indef.	Arcilla con arena fina color gris claro, compacta, poco húmeda con gravas aisladas (CL-SC)	Compactado	1.05	1.00	0.95	40	60	00					ABFGM
3+400															
3+400 a 4+350	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme				100	0	00					
	2	1.5	Arcilla con arena color café claro, compacta poco húmeda, con gravas aisladas. (SC)	Compactado	1.03	0.98	0.93	40	60	0	5.0	1/2X1	3.0	1.7:1	ABEGI
	3	Indef.	Toba areno limosa con gravas y fragmentos chicos en 10 % aprox. Compacta. (SM-MG)	Compactado	1.05	1.00	0.95	40	60	0					ABFGM
4+350															
4+350 a	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme				100	00	00					
	2	8.00	Toba arena limosa con gravas y fragmentos chicos en 10 % compacta (GM-GM)	Compactado	1.05	1.00	0.95	40	60	0					ABFGM
	3	Indef.	Brecha volcanica (Rie), al atacarse se obtendrá fragmentos chicos y medianos aislados con gravas y arenas (Fcm-GM-SM)	Bandeado				00	60	40	1.10			3/4:1	ABDN
5+800															

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.7 (2/5) “CURVA MASA DEL TRAMO 5+800 AL 12+050”

DATOS PARA EL CALCULO DE CURVA MASA										CAMINO: TOLUCA - NAUICALPAN									
TRAMO: TOLUCA - NAUICALPAN																			
SUBTRAMO: DE KM 0+000 AL KM 35+000																			
ORIGEN: XONACATLAN, EDO. DE MEXICO																			
Km	ESTRATO	CLASIFICACION	TRATAMIENTO	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA			CLASIFICACION PROPUESTO			TERRAPLEN		CORTE		OBSERVACIONES					
Km	Nº	ESPESOR	PROBABLE	90%	95%	100%	BANDEADO	A	B	C	ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD					
5+800	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme				100	00	00	20.0	3/4X1	26.0	1.7X1	ABDN				
a	2	Indef	Toba andesitica bien cimentada al atacarse se obtendra gravas y arenas	Compactado	1.06	1.01	0.96												
7+150																			
7+150	1	0.3	Tierra Vegetal	Despalme				100	0	0									
A	2	Indef	Toba andesitica muy alterada (Rie) al atacarse se obtendrán arenas limosas con gravas y 8% de fragmentos chicos (SM-Fcm)	Compactado	1.05	1.00	0.95	20	80	0	29.0	1/2X1	26.0	17X1	ABEGI				
9+600																			
9+600	1	0.25	Tierra Vegetal	Despalme				100	0	0									
a	2	Indef	Toba andesitica alternada(Rie) al atacarse se obtendrán gravas, arenas limosas con fragmentos chicos y medianos. (Fcm-GM)	Compactado	1.06	1.01	0.96	60	40	0	37.0	1/2X1	20.0	1/7X1	ABDN				
11+530																			
11+530	1	0.20	Tierra Vegetal	Desplante				100	0	0									
A	2	Indef	Andesitica (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtendrán fragmentos medianos y chicos con gravas y fragmentos grandes de aislados (Fmc-GM)	Bandeado			1.15	0	20	80	5.0	1/2X1	3.00	1.7X1	ABDN				
12+050																			

Esta tabla continúa en la página siguiente.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES

Continúa de la página anterior

TABLA III.7 (3/5) "CURVA MASA DEL TRAMO 12+050 AL 16+300"

CAMINO: TOLUCA - NAUICALPAN																
TRAMO: TOLUCA - NAUICALPAN																
SUBTRAMO: DE KM 0+000 AL KM 35+000																
ORIGEN: XONACATLAN, EDO. DE MEXICO																
Km a Km	Km N°	ESTRATO ESPESOR	CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA			CLASIFICACION PROPUESTO		TERRAPLEN		CORTE		OBSERVA CIONES		
					90%	95%	100%	A	B	C	ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA		TALUD	
12+050	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme					100	00	00					
a	2	Indef.	Toba andesitica alterada y muy alterada (Rie) al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas (Fcm-GM)	Bandeado	1.07				0	40	60	4.7	1/2X1	20.00	1.7X1	ABDN
12+950																
12+950	1	0.25	Tierra Vegetal	Despalme					100	0	00					
a	2	Indef.	Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtendran fragmentos chicos y medianos con grava y fragmentos grandes aislados. (Fmc-GM)	Bandeado	1.10				0	30	70	22.0	1/2X1	10.00	1.7X1	ABDN
14+100																
14+100	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme					100	00	00					
a	2	Indef.	Toba andesitica alterada y muy fracturada (Rie), al atacarse se obtendran fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)	Bandeado	1.07				0	40	60	22.0	1/2X1	18.00	1.7X1	ABDN
16+300																

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.7 (4/5) "CURVA MASA DEL TRAMO 16+300 AL 23+700"

DATOS PARA EL CALCULO DE CURVA MASA				CAMINO: TOLUCA - NAUICALPAN									
				TRAMO: TOLUCA - NAUICALPAN									
				SUBTRAMO: DE KM0+000 AL KM 35+000									
				ORIGEN: XONACATLAN, EDO. DE MEXICO									
Km	ESTRATO	Nº	ESPEJOR	CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA			BANDEADO	CLASIFICACION PROPUESTO			OBSERVACIONES
						90%	95%	100%		A	B	C	
Km										ALTURA MAXIMA	TERRAPLEN ALTURA MAXIMA	CORTE ALTURA MAXIMA	TALUD
16+300	1	0.25		Tierra Vegetal	Despalme					00	100	00	
a	2	Indef		Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas y fragmentos grandes aislados. (Fmc-GM)	Bandeado				1.10	0	60	40	17X1
19+010													ABDN
19+010	1	0.30		Tierra Vegetal	Despalme					100	0	0	
A	2	Indef		Toba andesitica alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)	Bandeado				1.07	0	40	60	17X1
20+200													ABDN
20+200	1	0.25		Tierra Vegetal	Despalme					100	0	0	
a	2	Indef		Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos. (Fcm-GM)	Bandeado				1.10	0	60	40	17X1
21+050													ABDN
21+050	1	0.20		Tierra Vegetal	Desplante					100	0	0	
A	2	Indef		Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos. (Fmc-GM)	Bandeado				1.07	0	40	80	17X1
23+700													ABDN

Esta tabla continúa en la página siguiente.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES

Continúa de la página anterior

TABLA III.7 (5/5) "CURVA MASA DEL TRAMO 23+700 AL 35+000"

DATOS PARA EL CALCULO DE CURVA MASA					CAMINO: TOLUCA - NAUICALPAN TRAMO: TOLUCA - NAUICALPAN SUBTRAMO: DE KM 0+000 AL KM 35+000 ORIGEN: XONACATLAN, EDO. DE MEXICO												
Km a Km	ESTRATO N°	ESPESOR	CLASIFICACION	TRATAMIENTO	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA			CLASIFICACION PROPUESTO			TERRAPLEN		CORTE		OBSERVA CIONES		
					90%	95%	100%	A	B	C	ALTURA MAXIMA	TALUD	ALTURA MAXIMA	TALUD			
23+700 a	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme						100	00	00					
	2	Indef.	Toba andesitica alterada y muy fracturada (Rie), al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)	Bandeado	1.07			0	40	60	20.00	1/2X1	15.00	1.7X	ABDN		
25+770																	
25+770 a	1	0.25	Tierra Vegetal	Despalme						100	0	00					
	2	Indef.	Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas y fragmentos grandes y aislados. (Fmc-GM)	Bandeado				0	30	70	48.00	1/2X1	40.00	1.7X1	ABDN		
31+050																	
31+050 a	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme						100	00	00					
	2	Indef.	Toba andesitica alterada y muy fracturada (Rie), al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)	Bandeado				1.15	0	40	60	30.00	1/2X1	28.00	1.7X1	ABDN	
32+730																	
32+730 a	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme													
	2	Indef.	Toba andesitica muy alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)	Bandeado													
32+730																	
32+730 a	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme						00	100	00	20.0	3/4X1	26.0	1.7X1	ABDN
	2	Indef	Toba andesitica muy alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtendrán fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)	Bandeado				1.00									
34+150																	
34+150 A	1	0.30	Tierra Vegetal	Despalme													
	2	Indef	Toba andesitica (Rie), café con gravas y finos hasta el 40 % de mediana plasticidad húmeda y muy compacta. (SC)	Compactado	1.10	1.05	1.00	0	100	0	24.00	1/2X1	3.00	17X1	ABEGI		
35+000																	

- I) En cortes formados en este material la capa de corte se deberá compactar al 95 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM), en una profundidad mínima de 0.30 m y se deberá proyectar capa subrasante de 0.30 m de espesor compactándola al 100 % con material procedente del banco más cercano.
- J) En este tramo se deberá proyectar en cortes y terraplenes bajos, capa de transición de 0.50 m de espesor, como mínimo y capa subrasante de 0.30 m en caso de ser necesario se deberán abrir cajas de profundidad suficiente. Para alojar las capas citadas; ambas capas se proyectarán con préstamo del banco más cercano.
- K) En cortes, se deberá escarificar los 0.15 m superiores y acamellonar el material; la superficie descubierta se deberá compactar al 100 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM), en un espesor mínimo de 0.15 m, con lo que quedará formada la 1ª capa subrasante; con el material acamellonado se construirá la 2ª capa subrasante, misma que deberá compactarse también al 100 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM).
- L) En cortes formados en este material se escarificarán únicamente capa subrasante de 0.30 m de espesor mínimo. Compactándolo al 100 % ras cercano, de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) y se construirá con material de préstamo del banco más cercano.
- M) En cortes formados en este material se escarificarán 0.30 m a partir del nivel superior de la subrasante, se acamellonará el material producto del escarificado, se compactará la superficie descubierta al 95 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) hasta una profundidad de 0.20 m posteriormente con el material acamellonado, se formará la capa subrasante de 0.30 m de espesor.
- N) En el caso de cortes y terraplenes contruidos sobre este material, deberá proyectarse capa de transición de 0.20 m de espesor, como mínimo y capa subrasante de 0.30 m, compactadas al 95 % y 100 % de su Peso

Volumétrico Seco Máximo (PVSM) respectivamente, ambas capas se formarán con material del banco más cercano.

III.1.4.2.2 TRATAMIENTO A LOS MATERIALES PROCEDENTES DE LOS BANCOS.

En general, los materiales procedentes de los bancos que van a ser utilizados en la formación de las terracerías, no suelen sujetarse a ningún tipo de tratamiento especial y se utilizan tal como se obtienen, esa es una condición que deberá cumplirse en la mayoría de los casos, ya que de la calidad del material empleado depende el procedimiento constructivo a seguir, por lo que se considera antieconómico el empleo de algún tratamiento en particular. Solo es justificable, cuando en el lugar donde se realizará la construcción, no logre la calidad especificada y no cumpla con las especificaciones de proyecto, por lo tanto, solo en las capas superiores de las terracerías es adecuado su mejoramiento.

En los materiales para pavimento, por el contrario, es usual el dar un cierto tratamiento para lograr que dicho material cumpla con las funciones, dependiendo de la capa por construir.

Los tratamientos más usuales son:

a) Eliminación de desperdicios.

Este tratamiento consiste en eliminar un determinado porcentaje de partículas (más de 5 %), cuyo tamaño máximo es mayor al considerado en el proyecto (frecuentemente estas partículas son mayores de 7.62 cm), y esta eliminación se hace por lo regular a mano y se denomina papeo.

b) Disgregado

Los materiales que requieren ser disgregados, son los cohesivos, tales como los tepetates, caliches, conglomerados, que al ser extraídos, resultan terrones que deben ser disgregados por medio de arados o cuchillas y con equipos de compactación como rejillas o pata de cabra. Ver Fotografía III.1 “Disgregado de materiales”

c) Cribado

Los materiales que requieren de cribarse, son las mezclas de grava, arena y limos, que al extraerlos quedan sueltos y en algunos casos contienen entre el 5 % y el 25 % de material mayor de 7.62 cm.

FOTOGRAFÍA III.1 “DISGREGADO DE MATERIALES”



El cribado generalmente se utiliza para lograr que el material tenga una granulometría adecuada o para eliminar porcentajes altos de partículas mayores que el tamaño máximo requerido (arriba del 15 % es recomendable el eliminar por medio de cribado).

Las instalaciones donde se realiza el cribado son sencillas y el material normalmente se maneja por gravedad, es decir, el material se pasa por una criba y se recoge en un camión. Cuando se necesita de una buena clasificación de materiales diversos, se requiere utilizar alguna planta de cribado la cual deberá contar con cribas vibratorias en dos o tres niveles, dichas plantas por lo regular se utilizan en combinación con equipos de trituración, como se observa en la Fotografía III.2 “Cribado de Materiales”.

La trituración se realiza en plantas muy completas y que están formadas por alimentadores, bandas de transportación, plantas de cribado, elevadores de material y equipos de trituración por medio de primarios, secundarios, y terciarios en ocasiones, ya sea por impactos, de quijadas, etc.

d) Lavado

En algunas ocasiones cuando el material se encuentra muy contaminado o aún cuando no esta muy contaminado por finos del tipo plástico, se requiere lavar el material por medio de chiflón de agua o por medio de tanques lavadores, este procedimiento se realiza durante las operaciones de cribado y trituración. Ver Fotografía III.3 “Lavado de Materiales”.

FOTOGRAFÍA III.2 “CRIBADO DE MATERIALES”



FOTOGRAFÍA III.3 “LAVADO DE MATERIALES”



III.2 ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO.

La hidrología consiste en determinar el evento de diseño que para el caso de obras de drenaje es la tormenta de diseño y de su conversión a una avenida generada en la cuenca.

La hidráulica permite conocer la forma en que un caudal escurre por un cauce natural o artificial.

Uno de los elementos que causa mayores problemas a los caminos es el agua, pues disminuye la resistencia de los suelos, presentándose así fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior obliga a construir el drenaje de tal forma que el agua se aleje a la mayor brevedad de la obra. Podría decirse que un buen drenaje es el alma de los caminos.

El drenaje artificial es el conjunto de obras que sirve para captar, conducir y alejar del camino el agua que puede causar problemas.

Para construir estos caminos y en general las vías terrestres se requieren estudios cuidadosos del drenaje y los Ingenieros proyectistas deben tener amplios conocimientos en la materia, a fin de que estas obras cumplan con sus objetivos.

Al construirse un camino se modifican las condiciones del escurrimiento en las zonas que la vía atravesará lo cual puede causar problemas como erosiones e inundaciones.

Por otro lado las características de las cuencas se alteran cuando se construye un camino ya que se modifican el uso de la tierra al propiciar el desarrollo económico en la zona de influencia.

El estudio del drenaje debe iniciarse desde la elección de ruta, eligiéndose una zona que tenga menos problemas de escurrimiento. De ser posible se utilizarán las pendientes máximas permisibles y se tratará de llegar y aprovechar los parteaguas en donde el drenaje será mínimo.

III.2.1 GENERALIDADES.

La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre. Las ciencias en que se apoya la

investigación hidrológica son básicamente la geografía, la meteorología, la oceanografía y las matemáticas.

La parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería de vías terrestres, se conoce como ingeniería hidrológica o hidrología aplicada.

La historia de la hidrología moderna comienza con los estudios de los franceses Pierre Perrault y Mariotte, además del astrónomo británico Halley en el siglo XVII. Perrault obtuvo mediciones de precipitación en la cuenca de río Sena en un periodo de 3 años y demostró que conociendo el área que contribuye al descubrimiento de una corriente y la cantidad de lluvia, era posible conocer el caudal del río; hizo mediciones también de capilaridad y evaporación. Meriotte aforó las velocidades del río Sena las que multiplicó por las áreas hidráulicas respectivamente para obtener el gasto. Halley midió la cantidad de evaporación del mar Mediterráneo y concluyó que el agua evaporada era suficiente para dotar a los ríos.

El siglo XVIII aportó numerosos avances en hidráulica e instrumentación, como ejemplo esta el piezómetro de Bernoulli, el tubo de Pitot, el teorema de Bernoulli y la ecuación de Chezy.

En el siglo XIX floreció la hidrología experimental de Darcy que desarrolló su Ley de Flujo en medios porosos, Thiem su fórmula de flujo subterráneo de 1930 a 1950 los análisis racionales empezaron a reemplazar a los empirismos; como ejemplo del gran proceso están el hidrograma unitario de Sherman, la Teoría de Infiltración de Horton y la fórmula de Theis de flujo transitorio en hidráulica de pozos.

OBJETIVOS

Los objetivos de la hidrología pueden resumirse en 2 grupos:

- A) Obtención de la avenida máxima de una corriente de agua para una frecuencia de diseño de obras como puentes, alcantarillas, vertedores, bordos, derivaciones, etc.
- B) Conocimiento de la cantidad, frecuencia y naturaleza de ocurrencia del agua sobre la superficie terrestre y debajo de ella para diseñar sistemas de

riego, abastecimiento de agua, aprovechamientos hidroeléctricos, navegación en ríos, etc.

III.2.1.1 CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE.

El drenaje artificial se clasifica en superficial y subterráneo, dependiendo si el agua escurre o no por las capas de la corteza terrestre. El drenaje superficial se considera longitudinal o transversal, según la posición que las obras guarden con respecto al eje del camino. El drenaje longitudinal tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino, causando desperfectos. Ejemplo de este tipo de drenaje son las cunetas, contracunetas, bordillos y canales de encauzamiento. Se llama drenaje longitudinal por que se sitúan más o menos paralelos al eje del camino.

El drenaje transversal da paso al agua que cruza de un lado al otro del camino, como ejemplo serían los tubos, losas, cajones, bóvedas, lavaderos, vados, sifones invertidos, fuentes y el bombeo de la corona.

De acuerdo con la dimensión del claro de las obras de drenaje transversal se puede dividir al drenaje en mayor y menor. El drenaje mayor requiere obras con un claro superior a 6 m. A las obras de drenaje mayor se le denomina puentes y a las de drenaje menor alcantarilla.

III.2.1.2 CICLO HIDROLÓGICO.

El ciclo hidrológico describe la circulación general del agua, digamos que empiezan con la evaporación de los océanos; el vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento, en determinadas condiciones, el vapor se condensa formando nubes, que pueden ocasionar precipitación, de la cual, una parte es retenida por la superficie, otra escurre sobre ella y la restante penetra en el suelo, el agua retenida es devuelta a la atmósfera por evaporación y por la transpiración de las plantas. La parte que escurre sobre la superficie es drenada por arroyos y ríos hasta los océanos, perdiéndose una parte por evaporación. El agua que se infiltra puede satisfacer ciertas condiciones y abastecer los depósitos subterráneos, de donde puede fluir hacia los ríos o descargar en océanos; la que

queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmósfera por transpiración. (Figura III.3 “Ciclo Hidrológico”).

III.2.1.3 LA CUENCA DE DRENAJE.

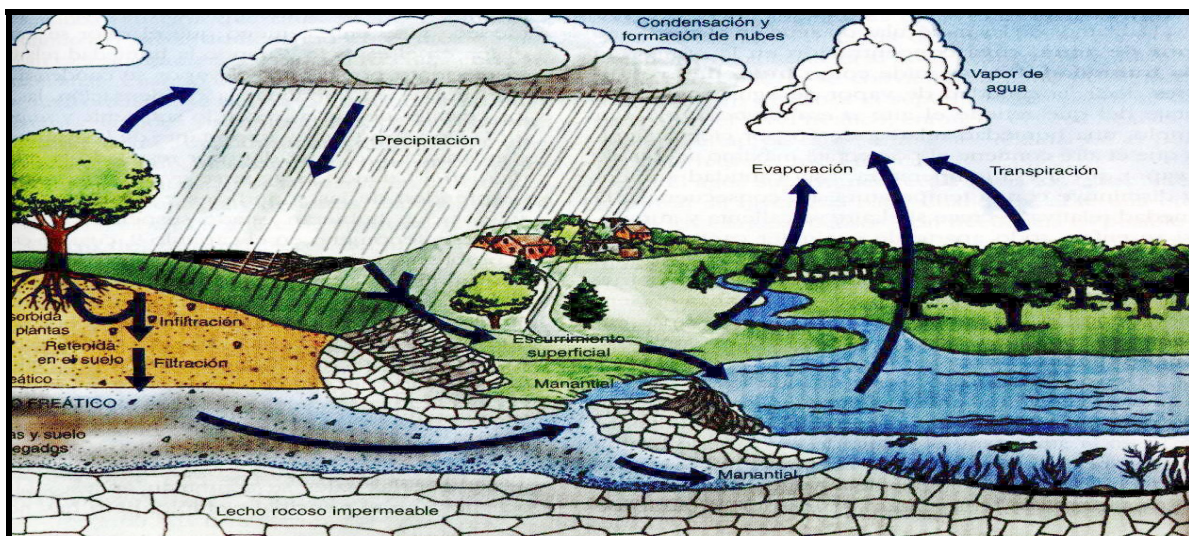
Se define la cuenca de drenaje de una corriente como el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios; se dice parte o todo por que casi nunca coincide la cuenca definida (de drenaje superficial) con las correspondientes de flujo subterráneo siendo entonces posible que haya flujo base proveniente de otra cuenca.

La cuenca de drenaje de una corriente superficial esta limitada por su parteaguas (Figura III.4 “Delimitación de cuencas adyacentes”), que es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y esta formada por los puntos de mayor elevación, cruzando a las corrientes en los puntos de salida.

En una cuenca pequeña el estudio hidrológico debe enfocarse con más atención en la cuenca misma.

Una cuenca pequeña se define como aquella cuyo escurrimiento es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, donde predominan las características físicas del suelo, así como su uso (cultivos, vegetación, etc.). El área límite de una cuenca pequeña según Ven Te Chow, puede considerarse de 130 km².

FIGURA III.3 “CICLO HIDROLÓGICO”

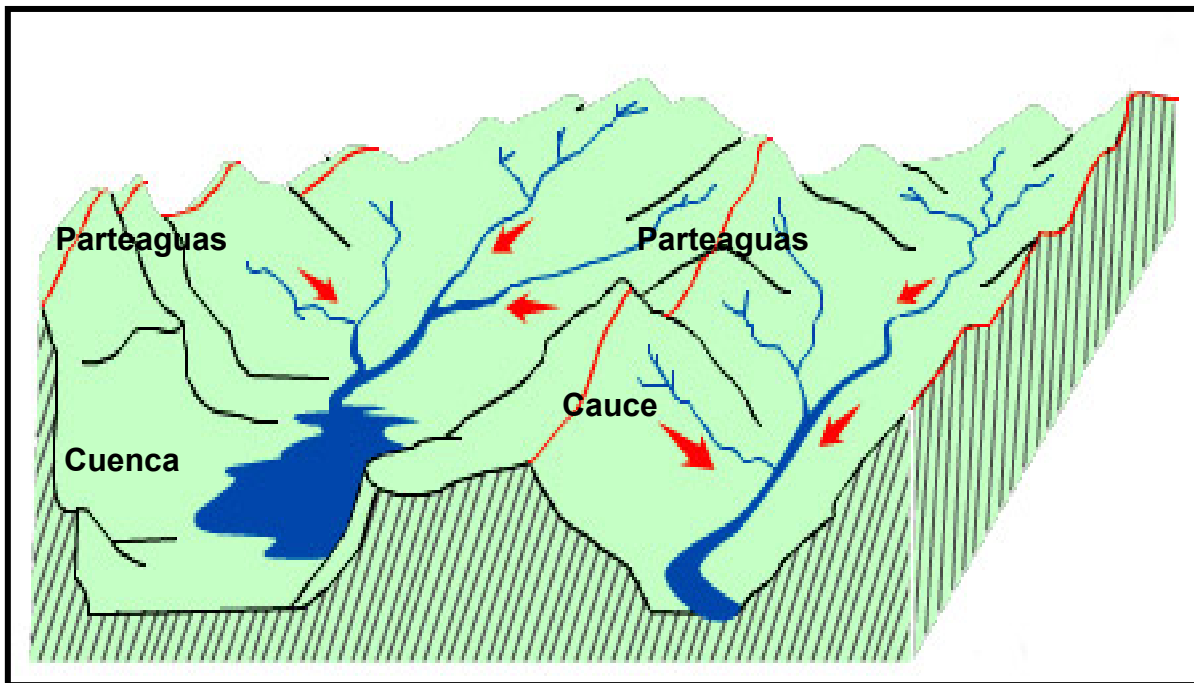


Las principales características fisiográficas de una cuenca que influyen en el escurrimiento son el área, pendiente, elevación, red de drenaje, longitud del cauce principal y pendiente del mismo.

1) **ÁREA DE LA CUENCA.**

Es el área en proyección horizontal encerrada por el parteaguas; generalmente se determina con planímetro.

FIGURA III.4 “DELIMITACIÓN DE CUENCAS ADYACENTES”



2) **DENSIDAD DE DRENAJE.**

Proporciona una información real y se expresa como la longitud de las corrientes por unidad de área, es decir:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje

A = Área de la cuenca en km².

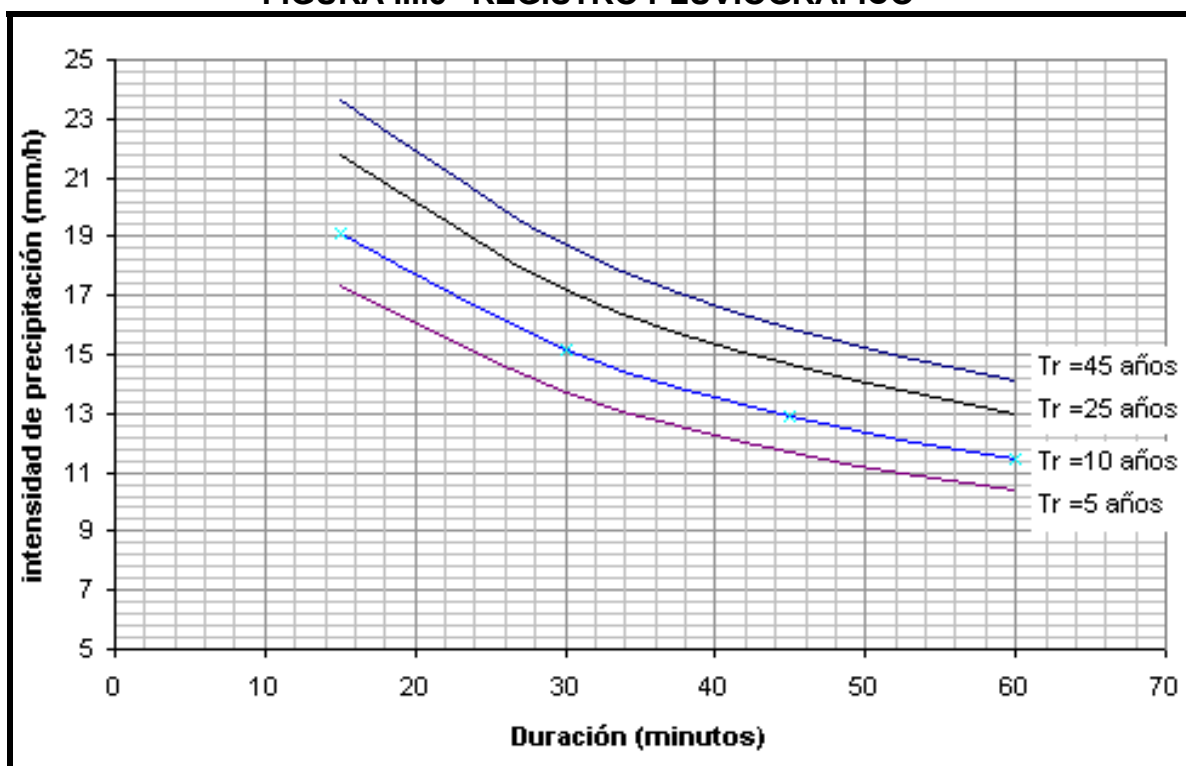
L = Longitud total de las corrientes perennes e intermitentes en km.

III.2.1.4 PRECIPITACIÓN.

Precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera; se mide en términos de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos.

Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación, que se define como la altura de precipitación entre el tiempo en que se produjo, tal como se muestra en la Figura III.5 “Registro Pluviográfico”.

FIGURA III.5 “REGISTRO PLUVIOGRÁFICO”

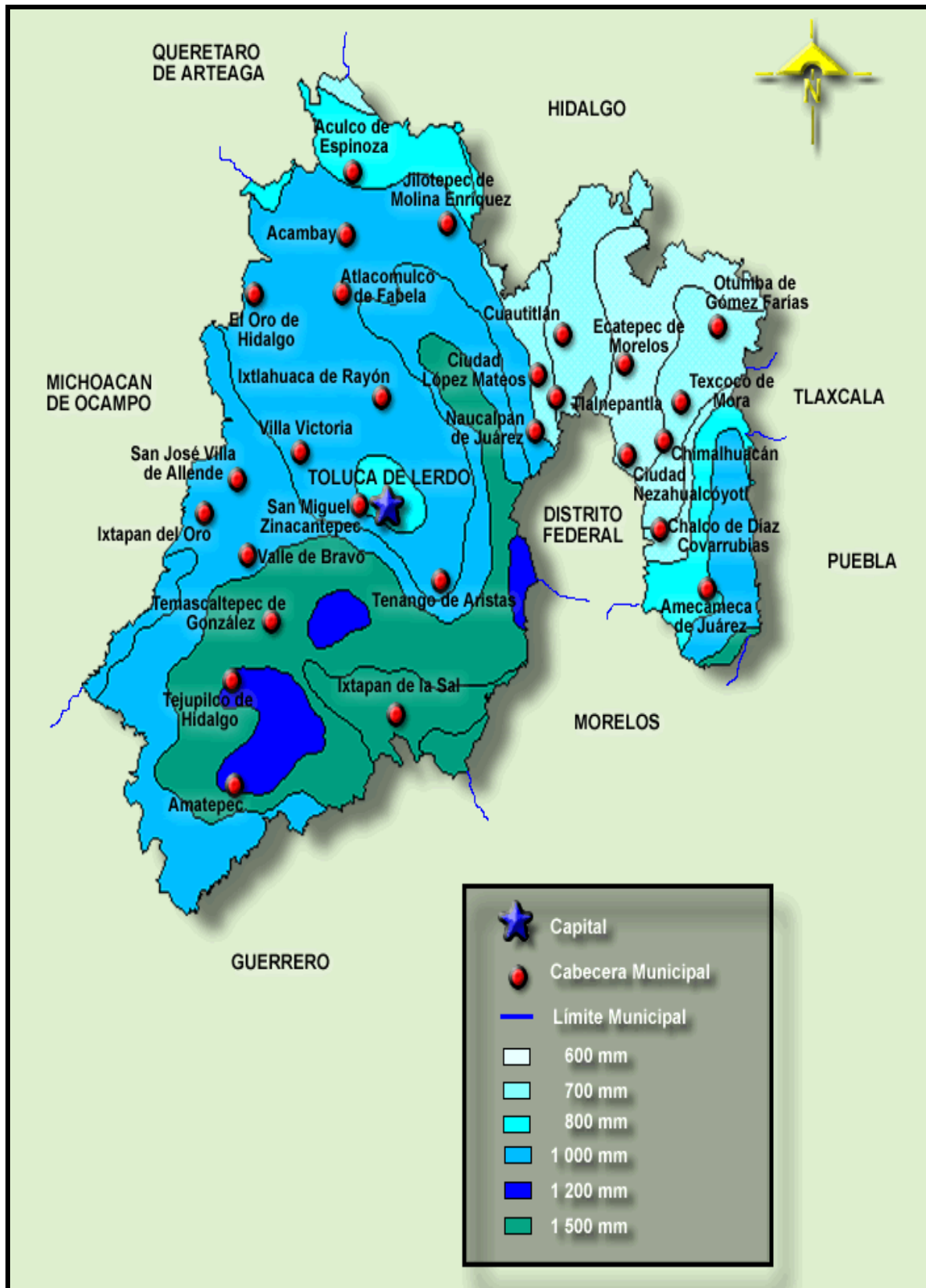


En la República Mexicana, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha obtenido y analizado estadísticamente la información pluviométrica y pluviográfica y ha elaborado planos de isoyetas para diferentes duraciones y períodos de retorno. A manera de ejemplo se presentan las correspondientes al Estado de México. (Figura III.6 “Isoyetas del Estado de México”)

a) PERIODO DE RETORNO.

El período de retorno Tr expresado en años, se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o excedido.

FIGURA III.6 “ISOYETAS DEL ESTADO DE MÉXICO”



Por otra parte la probabilidad de que un evento con un período de retorno T_r ocurra en cualquier año es igual a:

$$P = \frac{1}{T_r}$$

En un conjunto de eventos que podría ser precipitación máxima anual en 24 horas o gastos máximos anuales, el período de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado con la fórmula de Wiebull.

$$T_r = \frac{n+1}{m}$$

Donde:

T_r = Tiempo de retorno

m = es el número de orden.

n = número total de años de registro.

Para asignar el orden a cada uno de los datos del registro, éstos se ordenan de mayor a menor y el lugar que ocupan dentro de la lista, corresponde al valor de m , así por ejemplo, el mayor valor tiene una $m = 1$, mientras que el que resulta más pequeño es:

$$m = n$$

b) ESCURRIMIENTO.

El agua que fluye por las corrientes de una cuenca hasta su salida se llama escurrimiento. El escurrimiento superficial es el que proviene de la precipitación no infiltrada y fluye sobre la superficie del suelo; la parte de la precipitación que contribuye a este escurrimiento superficial se conoce como precipitación en exceso. El escurrimiento se debe a la lluvia infiltrada que escurre a pequeña profundidad puede ser rápido o retardado dependiendo del tipo de suelo. El escurrimiento subterráneo es el que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la precipitación infiltrada por el suelo cuando éste se satura.

El escurrimiento directo es el superficial y el subsuperficial rápido y, el escurrimiento base es el subsuperficial lento y subterráneo.

c) PROCESO DE ESCURRIMIENTO.

Cuando llueve hay un período inicial en que el agua es interceptada por la vegetación y todo lo que impida la infiltración; después se infiltra o llena las

diferentes depresiones de la superficie y se conoce como infiltración (F) y almacenaje por depresión (Vd) respectivamente. Después que se llenan las depresiones si la intensidad de lluvia excede a la capacidad de infiltración la diferencia es llamada lluvia en exceso (hpe); esta lluvia en exceso primero se acumula sobre el terreno como detención superficial hasta que adquiere la carga suficiente para fluir (flujo sobre tierra) hacia los cauces.

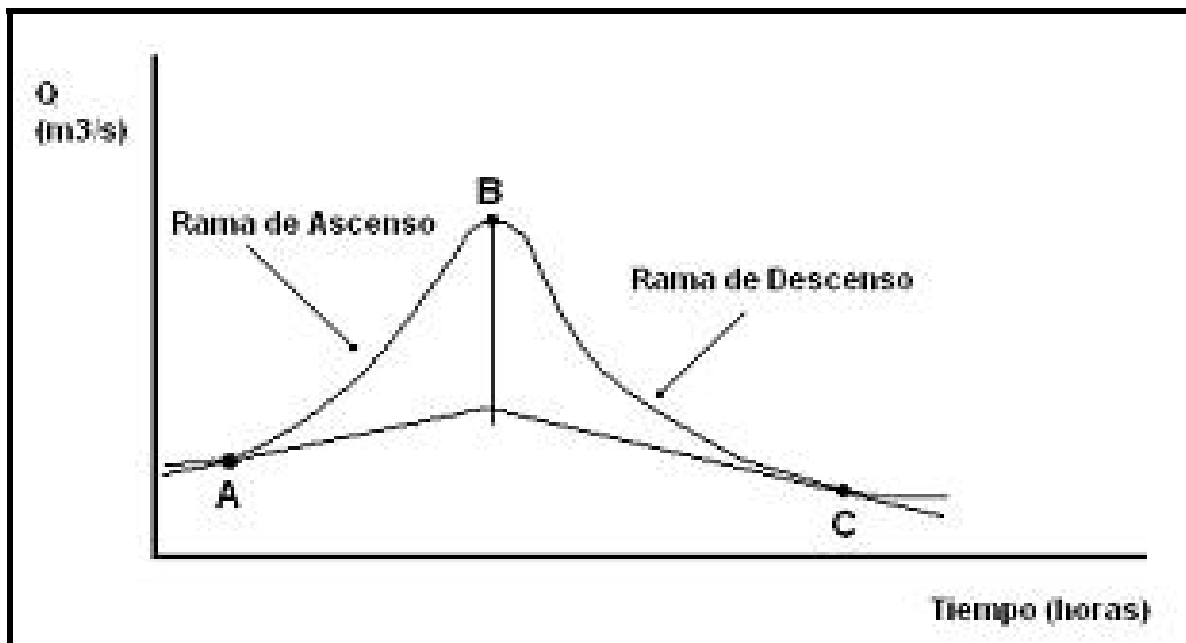
A la cantidad de agua que puede retener un suelo contra la acción de la gravedad se le llama capacidad de campo.

La diferencia entre ésta y la humedad que contenga en un cierto instante se conoce como deficiencia de humedad del suelo.

d) **HIDROGRAMA.**

Es la representación gráfica de los gastos de una corriente respecto al tiempo. (Figura III.7 “Hidrograma”).

FIGURA III.7 “HIDROGRAMA”



El punto A indica el inicio del escurrimiento directo, alcanzando su máxima en el punto B, el punto C presenta una rama de descenso que indica el cese del flujo sobre tierra, llegando así al punto del cese final.

El tiempo que transcurre entre A y B es el tiempo pico y al que transcurre entre A y C se le llama tiempo base.

III.2.2 DATOS HIDROLÓGICOS.

Es importante contar con los datos hidrológicos para el diseño de un proyecto hidráulico. La mayoría de los datos hidrológicos se recopila y se publica en boletines que contienen registros de flujo diario, flujo mensual, volumen anual del flujo, gastos extremos y datos estadísticos de la totalidad del registro. (Ver de la Figura III-8 a la Figura III-14 “Isoyetas de intensidad de lluvia”).

III.2.2.1 CÁLCULO DEL GASTO DE DISEÑO.

Aunque hablar de gasto de diseño en una cuenca puede parecer un término poco adecuado, es necesaria esta denominación para referirse al gasto de diseño máximo de cualquier obra de drenaje.

El agua de lluvia que cae sobre una determinada cuenca, corre sobre el suelo, se filtra, es absorbida por la vegetación o se estanca en la superficie terminando por evaporarse o infiltrarse. Las más importantes son:

- 1) La permeabilidad del suelo que depende de las características físicas y geológicas del terreno y que varía con el grado de humedad, decreciendo con ésta, hasta llegar a un valor constante.
- 2) La intensidad de la lluvia, que es el elemento principal del escurrimiento normalmente, las tormentas de gran intensidad y poca duración son las que proporcionan mayores caudales. Las lluvias se caracterizan por sus curvas de intensidad–duración–período de retorno.
- 3) La pendiente del terreno, que favorece el escurrimiento del caudal al aumentar de valor, para igualdad de condiciones pluviométricas.
- 4) La resistencia que el agua encuentra en el terreno, que frena la velocidad de circulación cuanto más rugosidad, grietas y vegetación haya en la zona.
- 5) La capa vegetal, que además de ejercer un freno a la velocidad de escurrimiento, produce un efecto de absorción importante.
- 6) La existencia de zonas urbanas, que en unos casos producen flujo rápido y en otros casos absorben gran cantidad de agua de lluvia en sus propias redes de drenaje que pueden afectar o no a las carreteras situadas aguas abajo.

La construcción de una carretera supone una modificación topográfica de las cuencas naturales y una interceptación de muchos cauces que el agua seguía antes de la obra. Por esto, se hacen necesarias una serie de precauciones para recoger las aguas de las nuevas cuencas y establecer cauces antiguos, creando otros nuevos, si fuera necesario.

Antes de afectar el cálculo del gasto se debe examinar su comportamiento en el máximo período posible y recabar datos sobre los niveles alcanzados en el cauce en el mismo periodo.

Para fines de anteproyecto se pueden clasificar los métodos para determinar las avenidas máximas como sigue:

- A) Empíricos
- B) Semiempíricos
- C) Estadísticos

Los métodos empíricos se emplean para obtener una idea preliminar sobre el gasto de diseño, o bien cuando no se conocen las características de la precipitación de la zona correspondiente a la cuenca en estudio.

Los métodos semiempíricos son similares a los empíricos pero hacen intervenir la intensidad de lluvia y las características fisiográficas de la cuenca.

Los métodos estadísticos son de gran utilidad en los sitios en los que se cuenta con aforos de los gastos ocurridos.

Los métodos de uso actual en las vías terrestres se presentan enseguida.

III.2.2.1.1 FÓRMULA DE TALBOT.

Es una fórmula empírica el que se usa actualmente en anteproyectos de carreteras y que permite determinar directamente el área hidráulica necesaria de la alcantarilla en función del área por drenar y de un coeficiente de escurrimiento que depende de las características de la cuenca.

La fórmula de Talbot es:

$$a = 0.183 C \sqrt[4]{A^3}$$

Donde:

a = área hidráulica que deberá tener la alcantarilla, m²

A = área de la cuenca por drenar en hectáreas.

C = coeficiente de escurrimiento que depende de la topografía de la cuenca.
(Tabla III.8 “Valores del coeficiente C de la fórmula de Talbot”)

Esta fórmula está basada en características de precipitación muy particulares de una región, no permite tomar en cuenta la variación de la intensidad de lluvia ni su frecuencia, aunque investigaciones limitadas han indicado que el uso de esta fórmula permite un área hidráulica que drena una creciente con período de retorno de 10 años, a una velocidad de 3 m/s.

Desde el punto de vista hidrológico e hidráulico, la fórmula de Talbot da solamente una idea aproximada de la respuesta al problema.

III.2.2.1.2 FÓRMULA DE CALIFORNIA.

Un grupo de ingenieros llevaron a cabo un estudio de intensidades por hora en el estado de California, Estados Unidos de América, con base en lluvia con una hora de duración (P_{60}). Este estudio se realizó en dicho lugar motivado por una serie de desastres ocurridos en el lapso de 1937 a 1940, ocasionados por lluvias extraordinarias.

Con los datos anteriores al año de 1937 y los observados posteriormente hasta el año de 1958, agrupados estadísticamente y adecuados a las zonas climáticas se procedió al estudio citado proponiendo finalmente la ecuación de tipo hiperbólico para obtener la intensidad por hora de las precipitaciones pluviales, en función de las alturas de las lluvias con duración de una hora.

$$I = 462.20 [6.02 T]^{0.17 \log e \left(\frac{P_{60}}{46228} \right)}$$

Donde:

I = intensidad de lluvia en mm/hr

T = tiempo de concentración en minutos que puede ser obtenido con la fórmula de Kirpich

P_{60} = altura de lluvia en milímetros con duración de una hora y período de retorno de 50 años

**TABLA III.8 “VALORES DEL COEFICIENTE C
DE LA FÓRMULA DE TALBOT”**

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DE LA CUENCA	VALORES DE COEFICIENTE C
Montañosa y escarpada	1.00
Con mucho lomerío	0.80
Con lomerío	0.60
Muy ondulada	0.50
Poco ondulada	0.40
Casi plana	0.30
Plana	0.20

Con base en la relación precipitación-escorrentía, existen varios métodos que si bien se basan en fórmulas empíricas, su utilización es más racional, ya que permiten la libertad de hacer ajustes para ser utilizados en una región distintas en donde fueron obtenidos; están basados en una serie de hipótesis básicas siendo las siguientes las más importantes:

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

Estas suposiciones básicas indican las limitaciones de estos métodos y la forma en que deben ser aplicados. En todos los casos, es necesario determinar la intensidad de precipitación que corresponde a la frecuencia de la tormenta de diseño para una duración especificada y que se obtiene de los planos de isoyetas

de intensidad-duración-período de retorno. La duración de la tormenta de diseño que se elija debe estar de acuerdo con el inciso b.

III.2.2.1.3 MÉTODO RACIONAL.

Este método se puede escribir en el sistema decimal de la siguiente, manera:

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A$$

Donde:

Q = gasto máximo, en m³/s.

0.278 = factor de homogeneidad de unidades para obtener m³/s

C = coeficiente de escurrimiento adimensional; que representa la relación precipitación-escurrimiento.

I = intensidad de la lluvia en mm/hr para el período de retorno elegido y para una duración igual al tiempo de concertación.

A = área de la cuenca, en km².

Los valores recomendados para el coeficiente de escurrimiento C, se presentan en la siguiente tabla: (Tabla III.9 “Valores del coeficiente de escurrimiento C, de la fórmula racional” y la Tabla III.10 “Valores de coeficiente de escurrimiento”).

Una de las hipótesis en que se basa la fórmula racional, expresa que el gasto producido por una lluvia de intensidad constante sobre una cuenca es máximo cuando dicha intensidad se mantiene por un lapso igual o mayor que el tiempo de concentración.

El tiempo de concentración de una corriente de agua alimentada por una lluvia en una cuenca, se define como el tiempo de recorrido del agua desde el punto más alejado hasta el sitio donde se requiere medir el gasto. Al cumplir con esta condición toda el área de la cuenca contribuye al escurrimiento.

Para el caso particular de una cuneta o contracuneta, si el recorrido del agua que drena hacia la cuneta es menor de 20 m, se puede considerar que el tiempo de concentración es de 5 minutos. Este valor se podrá aumentar de 5 a 10 minutos cuando el recorrido del agua en la cuneta aumente de 30 a 150 m hasta las obras de drenaje transversal; para cuencas con longitud de cauce mayor a 150 m, se utiliza la fórmula de Kirpich que se incluye a continuación.

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

Donde:

T_c = tiempo de concentración, en horas

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

S = pendiente del cauce en decimales

Una vez que se ha calculado el tiempo de concentración se puede determinar la intensidad de diseño, a partir de las Isoyetas de Intensidad–Duración–Periodo de Retorno, para lo cual se considera la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración calculado y se fija el período de retorno en función de la vida útil de proyecto y del riesgo que se puede aceptar de que la obra falle. A continuación en la Tabla III.11 “Valores tiempo de retorno T_r (años) para Drenaje” se proporcionan los valores recomendados para diferentes obras de drenaje.

Una vez calculado el tiempo de concentración se puede determinar la intensidad de diseño, a partir de las isoyetas de intensidad-duración-frecuencia. (De la figura III.8 hasta Figura III.14 “Isoyetas de Intensidad de Lluvia”).

Las hipótesis más importantes en que se basa el método racional son las siguientes:

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

Estas suposiciones básicas indican las limitaciones del método y son, por consiguiente, el punto crítico hacia el que se enfocan los ataques de que éste es objeto.

**TABLA III.9 “VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C,
DE LA FÓRMULA RACIONAL Q = 0.278 CIA SEGÚN EL
TIPO DE SUELO POR DRENAR”**

TIPO DE SUELO POR DRENAR	PENDIENTE %	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C
PRADERAS:		
Suelo arenoso plano	< 2	0.50 – 0.10
Suelo arenoso con pendiente media	2 a 7	0.10 – 0.15
Suelo arenoso escarpado	> 7	0.15 – 0.20
Suelo grueso plano	< 2	0.13 – 0.17
Suelo grueso con pendiente media	2 a 7	0.18 – 0.22
Suelo grueso escarpado	> 7	0.25 – 0.35
ZONAS COMERCIALES:		
Zona comercial	--	0.70 – 0.95
Vecindad de la zona comercial	--	0.50 – 0.70
ZONAS RESIDENCIALES:		
Unifamiliares (casas solas)	--	0.30 – 0.50
Multifamiliares separados	--	0.40 – 0.60
Multifamiliares juntos	--	0.60 – 0.75
Áreas suburbanas	--	0.25 – 0.40
Áreas de casas habitación	--	0.50 – 0.70
ZONAS INDUSTRIALES:		
Con escasas construcciones	--	0.50 – 0.80
Áreas densamente construidas	--	0.60 – 0.90
Parques y cementerios	--	0.10 – 0.25
Campos deportivos	--	0.20 – 0.35
Patios de ferrocarriles	--	0.20 – 0.40
Áreas sin urbanizar	--	0.10 – 0.30
ZONAS URBANAS:		
Calles pavimentadas	--	0.70 – 0.95
Calles de concreto hidráulico	--	0.80 – 0.95
Calles adoquinadas	--	0.70 – 0.85
Calzadas y andadores	--	0.75 – 0.85
Azoteas y techados	--	0.75 – 0.95
ZONAS RURALES		
Campos cultivados	--	0.20 – 0.40
Bosques	--	0.10 – 0.20

**TABLA III.10 “VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C
DE LA FÓRMULA RACIONAL $Q = 0.278 CIA$ SEGÚN EL
TIPO DE SUELOS POR DRENAR”**

TIPO DE ÁREA POR DRENAR	PENDIENTE DE LA CUENCA, %	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C
CON CÉSPED		
Suelo arenoso	2 a 7	0.05 – 0.20
Suelo grueso	2 a 7	0.13 – 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 – 0.25
Áreas suburbanas	--	0.25 – 0.40
ZONAS INDUSTRIALES		
Zonas densamente construidas	--	0.60 – 0.90
Parques y cementerios	--	0.10 – 0.25
Áreas de recreo	--	0.20 – 0.35
Patios de ferrocarril	--	0.20 – 0.40
CALLES		
Asfaltadas	--	0.70 – 0.95
De concreto	--	0.80 – 0.95
Enladrillado	--	0.70 – 0.85
Azoteas y techados	--	0.75 – 0.95
ZONAS RURALES		
Campos cultivados	--	0.20 – 0.40
Zonas forestales	--	0.10 – 0.30

TABLA III.11 “VALORES TIEMPO DE RETORNO Tr (AÑOS) PARA DRENAJE”

TIPO DE OBRA	Tr (años)
Bordos	2 a 50
Zanjas para drenaje	5 a 50
Cunetas y contracunetas	2 a 10
Alcantarillas	25 a 50
Puentes	50 a 100

Además de las objeciones relativas a las hipótesis, el método tiene los siguientes inconvenientes:

- Proporciona solamente una estimación del gasto máximo sin tomar en cuenta la forma del hidrograma.
- El cálculo del tiempo de concentración se efectúa mediante fórmulas aproximadas, ensayadas en regiones que en general no son semejantes a las cuencas en estudio.

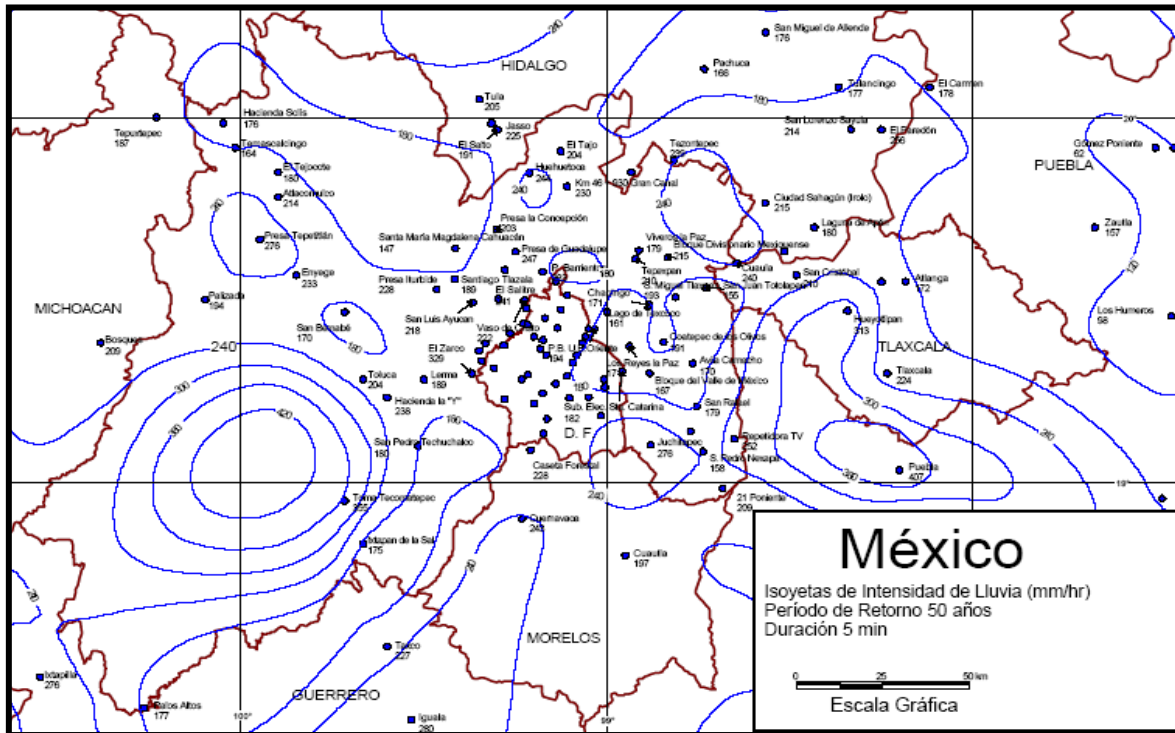
El siguiente formato (Formato III.1 “Memoria de cálculo para el método racional, ver página III-61) es un modelo para ser utilizado como memoria de cálculo.

III.2.2.1.4 MÉTODO DE SECCIÓN Y PENDIENTE.

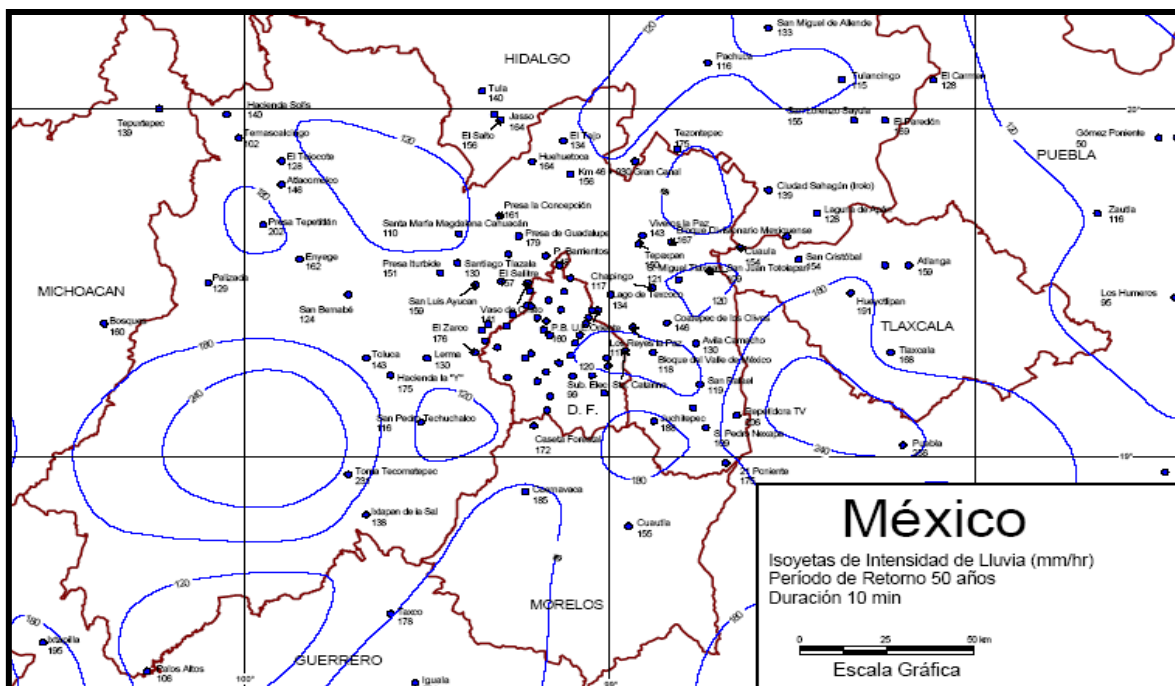
Cuando se necesita conocer la forma en que un caudal de agua escurre por un cauce natural o artificial, caso que se presenta en forma muy destacada en el estudio de obras de drenaje, el método más expedito es el de sección y pendiente.

Este método relaciona las características geométricas del cauce (áreas parciales o total de la sección transversal, tirante, etc.) con las velocidades y los gastos, y no tiene el inconveniente de los aforos directos de no poderse aplicar en cauces secos.

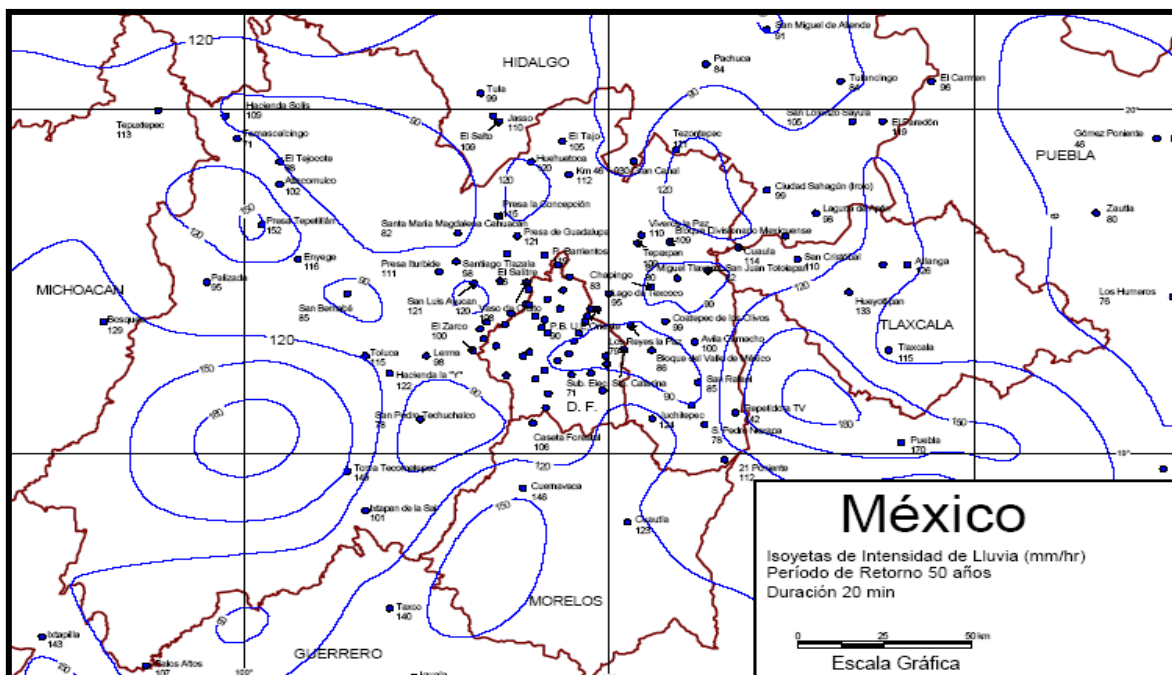
**FIGURA III.8 “ISOYETAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS – DURACIÓN 5 MINUTOS”**



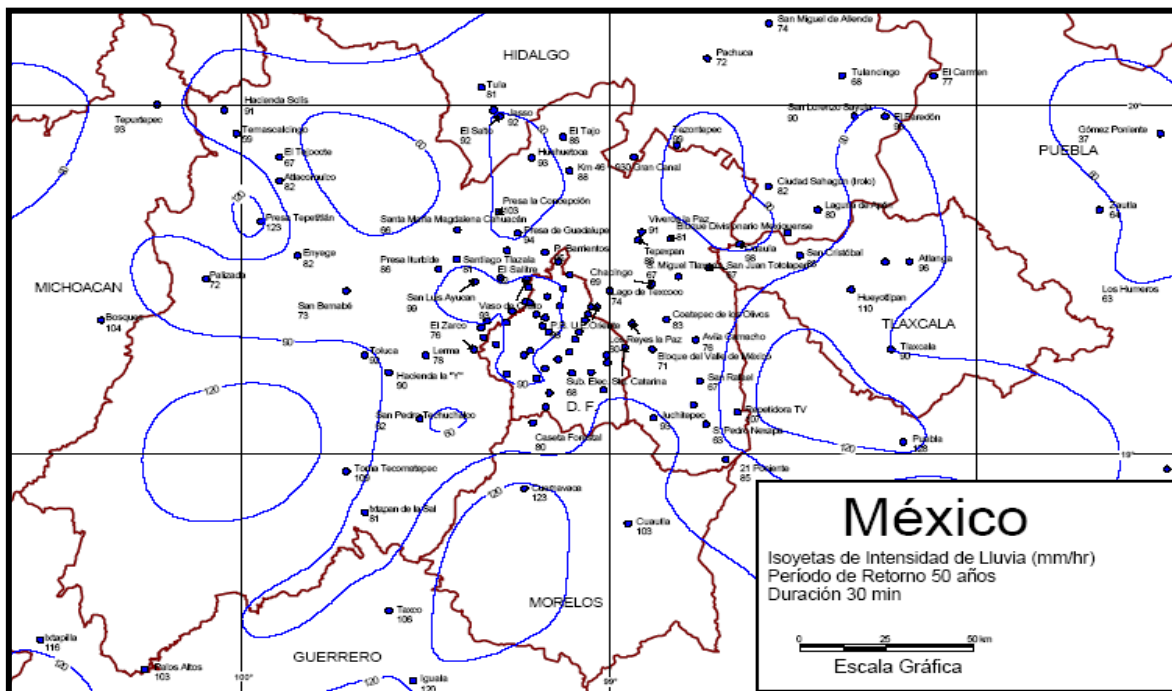
**FIGURA III.9 “ISOYETA DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS – DURACIÓN 10 MINUTOS”**



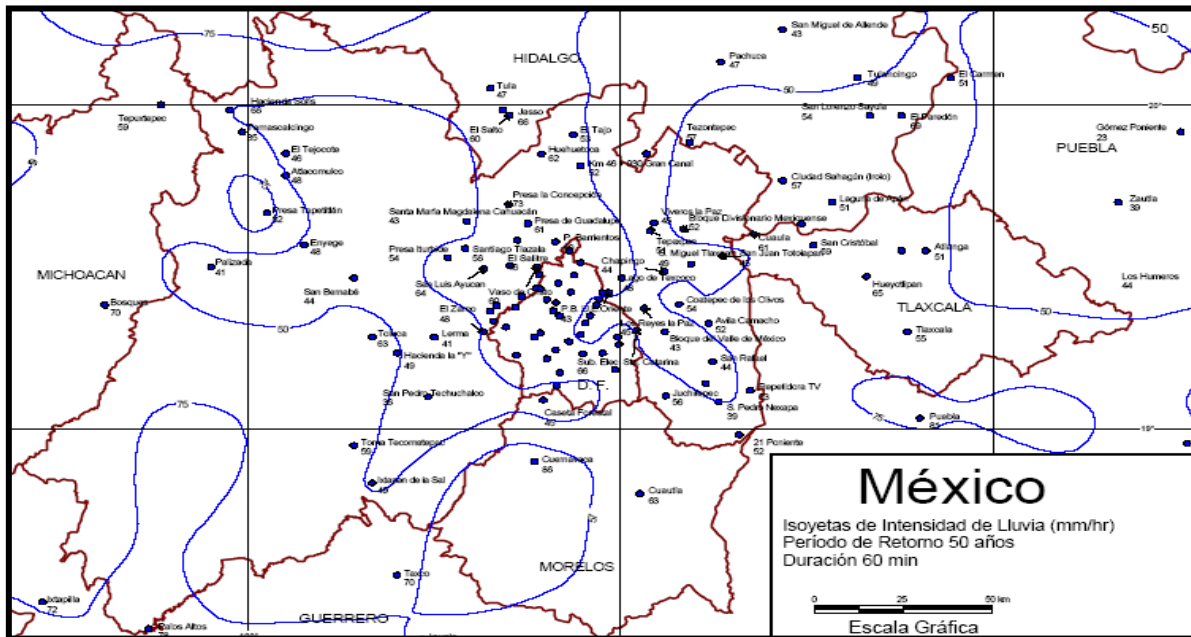
**FIGURA III.10 “ISOYETA DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS – DURACIÓN DE 20 MINUTOS”**



**FIGURA III.11 “ISOYETA DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS – DURACIÓN DE 30 MINUTOS”**



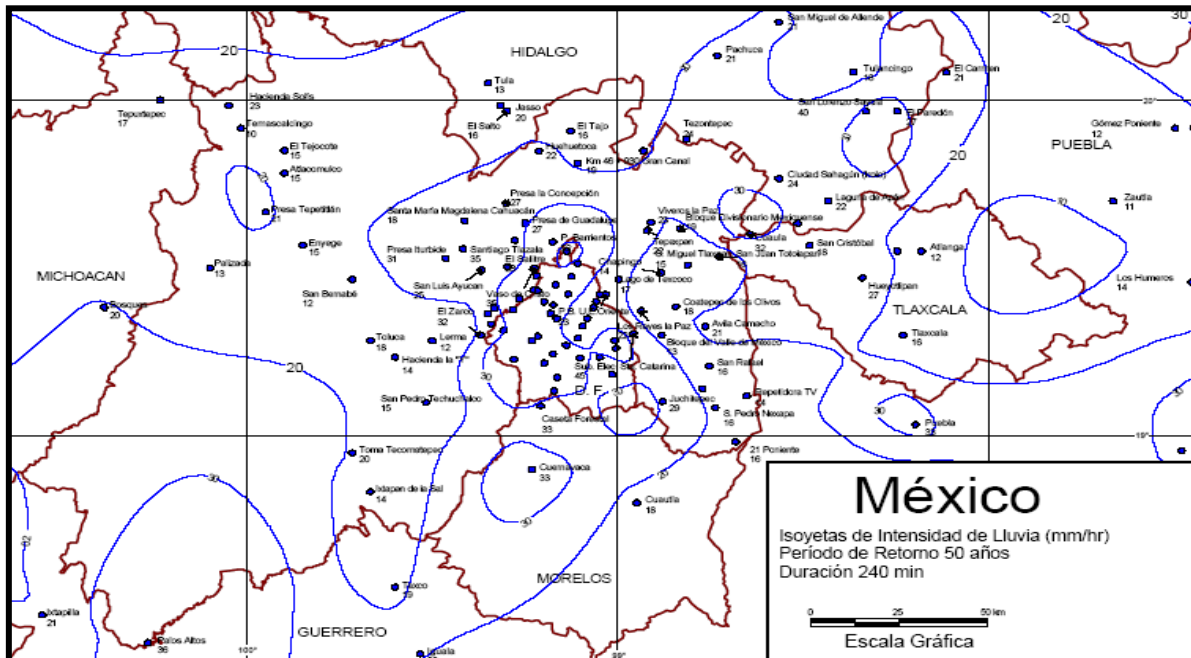
**FIGURA III.12 “ISOYETA DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS – DURACIÓN DE 60 MINUTOS”**



**FIGURA III.13 “ISOYETA DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS – DURACIÓN DE 120 MINUTOS”**



**FIGURA III.14 “ISOYETA DE INTENSIDAD DE LLUVIA”
“PERÍODO DE RECUPERACIÓN 50 AÑOS – DURACIÓN DE 240 MINUTOS”**



Cuando se aplica alguna fórmula empírica que solamente da el área de la sección transversal o el gasto, prácticamente resulta obligado combinar con una de las fórmulas de sección y pendiente para definir los tirantes y las velocidades correspondientes a los gastos que se calculen de ese modo.

Todas las fórmulas conocidas tienen la función de cuantificar la influencia que sobre el escurrimiento tiene la forma del cauce, así como de los materiales que esta constituido y en general de su grado de rugosidad.

Debido al gran número de factores que intervienen en ello y a lo complejo de su comportamiento, el valor que se elija para el coeficiente resulta ser en la mayoría de los casos poco representativo del fenómeno. Contribuye a agravar esto el hecho de que las condiciones de cauce sobre todo tratándose de corrientes naturales cambia con el tiempo pudiéndose dar casos de obras de drenaje que habiendo proyectado para dar un determinado servicio con los años de su capacidad se torna crítica.

Por ello es recomendable que al hacer el análisis del escurrimiento se elijan, no solo los coeficientes que se juzgue adecuados para las condiciones que prevalezcan en la fecha del estudio, sino también otros coeficientes que reflejen

FORMATO III.1 “MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL MÉTODO RACIONAL”

CRUCE:		
CAMINO:		
TRAMO:		
Km.:		
ORIGEN:		
ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA		
MÉTODO RACIONAL		
Constante de cálculo	Nomenclatura	Datos
Área de la cuenca (km ²)	A	
Longitud de la cuenca principal (km)	L	
Pendientes del cauce (decimales)	S	
Coeficiente de escurrimiento (adimensional)	C	
Tiempo de concentración (hrs)	tc	
Para Tr = _____ años I = _____ mm/hr Q= 0.278 CIA = _____ m³/s Para Tr = _____ años I = _____ mm/hr Q= 0.278 CIA = _____ m³/s		

las condiciones que razonablemente se pueda prever que rijan en la futura vida útil de la obra, con el objeto de precisar para que condición conviene proyectarla.

Existe una metodología especial para resolver estos casos en que mediante tanteos, se determinan las velocidades medias en dos secciones de control extremas del tramo, que se fijan de antemano.

Sin embargo, la práctica corriente es asignar a la pendiente de cálculo el valor de la correspondiente a la superficie del agua, con lo que tácitamente se está suponiendo que el régimen es uniforme.

Salvo casos muy particulares, el hacer esta consideración no trae por consecuencia discrepancia de importancia en los resultados que se tenga con respecto a los reales, ya que el valor de la carga de velocidad $\left[\frac{v^2}{2g} \right]$, es pequeño comparativamente con el de la carga de altura (y).

Además dicho error se produce todavía más, puesto que en la fórmula de la velocidad, su influencia es proporcional a $\sqrt{S}$.

A mayor abundamiento, existe una serie de factores cuya influencia es muy difícil cuantificar con precisión; tal es el caso de los coeficientes de rugosidad, por sólo citar uno, que por si mismos pueden originar errores mucho mayores que el que se comete al elegir la pendiente de la superficie del agua.

Es por ello que, dentro del grado de precisión que se puede esperar el método que se comenta, la práctica a que se refiriere puede ser lícita en la mayoría de los casos si se tiene en cuenta, además, lo simple de su aplicación, comparativamente con el método exacto.

Por último, se puede decir que, de las fórmulas que existen para aplicarse en el método de sección y pendiente, la más universalmente empleada y recomendada es la de Manning, por su sencillez al aplicarla y porque se han hecho muchos experimentos que comprueban su confiabilidad.

III.2.2.1.4.1 MÉTODO DE SECCIÓN Y PENDIENTE (MANNING).

Este método utiliza la relación sección-pendiente y se sume que el cauce corresponde a una corriente uniforme en donde la velocidad es según la fórmula de Manning, que es la siguiente:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V = velocidad (m/s)

n = coeficiente de rugosidad (adimensional)

R = Radio Hidráulico (m)

S = Pendiente del cauce (m)

A = Área hidráulica (m²)

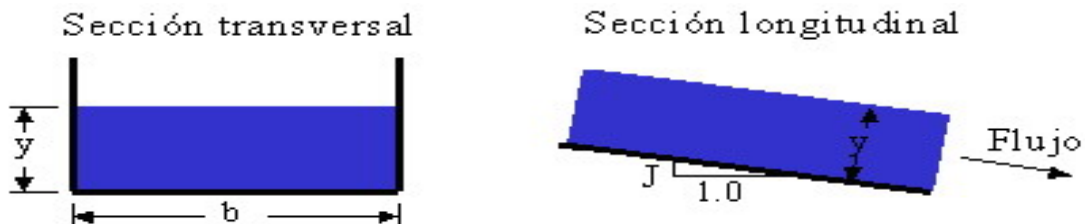
Q = Gasto (m³/s)

$$Q = VA$$

$$S = S^{1/2}$$

En este anteproyecto se utilizó un coeficiente de rugosidad igual a 0.035, el cual corresponde a un canal natural, con pendientes natural, algo irregulares, fondo poco nivelado en arcilla limosa.

El elemento geométrico considerado es de una sección rectangular



$$R = \frac{by}{b + 2y}$$

Donde:

R = radio hidráulico

b = base de la sección

y = es el tirante

Además el caudal se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q = VA$$

Donde:

Q = Gasto (m³/s)

V = Velocidad estimada en campo (m/s)

A = Área (m²)

Como se puede observar, para la aplicación de este método se requiere contar con la topografía del cauce. Para estados altos en el río, la pendiente hidráulica (S) se aproxima a ser un valor constante y el coeficiente de rugosidad (n) tiende a tomar valores bajos indicando que la resistencia que le ofrece el fondo y el talud al paso del agua no es muy representativa.

**TABLA III.12 “GUÍA PRELIMINAR PARA ELEGIR EL
TIPO DE ALCANTARILLA ADECUADO”**

CONDICIÓN	TIPO DE ALCANTARILLA MÁS ADECUADA
Baja capacidad de carga del terreno	Cajones
Gastos pequeños y terraplenes de escasa altura	Tubos
Terraplenes altos y condiciones de cimentación favorables	Bóvedas
El proyecto no considera colchón sobre la estructura	Losas
Sección amplia del arroyo	Losa de claro amplio o batería de tubos

Para el cálculo de la velocidad promedio en el cauce principal se utiliza el método de sección y pendiente Manning, esta metodología calcula la velocidad mediante la siguiente expresión.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

**TABLA III.13 “PENDIENTES MÁXIMAS RECOMENDADAS
PARA ALCANTARILLAS”**

TIPO DE ALCANTARILLA	PENDIENTE MÁXIMA (S %)
Tubo*	45
Losa	15
Cajón	15
Bóveda	18

* Para S > 30% es necesario construir anclajes.

**TABLA III.14 “COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING, n,
PARA CAUCES NATURALES”**

TIPO DE CANAL NATURAL Y DESCRIPCIÓN	n		
	Min.	Med.	Máx.
A. ARROYOS (ANCHO DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN AVENIDAS MENOR DE 30 M):			
a) CORRIENTES DE AGUA EN PLANICIE:			
1. Tramos limpios, rectos, trabajando con niveles máximos de agua, sin desbordamientos, sin pozas profundas.	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más rocas y hierba.	0.030	0.035	0.040
3. Tramos limpios, con curvas, con algunas pozas y bancos de arena.	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algo de hierba y rocas.	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, pero trabajando con niveles bajos de agua, con pendientes y secciones poco eficientes.	0.040	0.048	0.055
6. Igual que el 4, pero con más rocas.	0.045	0.050	0.060
7. Tramos poco eficientes, con hierba y pozas profundas.	0.05	0.070	0.080
8. Tramos con mucha hierba, pozas profundas, o cauces de avenidas con raíces y plantas subacuáticas.	0.075	0.100	0.150
b) CORRIENTES DE MONTAÑAS, SIN VEGETACIÓN EN EL CAUCE, TALUDES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL MUY INCLINADOS; CON ÁRBOLES Y ARBUSTOS A LO LARGO DE LAS MÁRGENES, QUE QUEDEN SUMERGIDOS DURANTE LAS AVENIDAS.			
1. Fondo constituido por grava, boleó y algunos cantos rodados.	0.030	0.040	0.050
2. Fondo constituido por boleó y grandes rocas.	0.040	0.050	0.070
B. PLANICIES DE AVENIDAS:			
a) PASTURA SIN ARBUSTOS:			
1. Pasto bajo	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b) AREAS CULTIVADAS:			
1. Sin cosecha	0.020	0.030	0.040
2. Cosecha con tierra labrada	0.025	0.035	0.045
3. Cosecha de campo	0.030	0.040	0.050
c) ARBUSTOS:			
1. Arbustos dispersos, densa hierba	0.035	0.050	0.070
2. Pocos arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Mediana a densa población de arbustos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Mediana a densa población de arbustos, en verano	0.070	0.100	0.160
d) ÁRBOLES:			
1. Población densa de sauces, rectos, en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terrenos talaos, limpiados, sin crecimientos de retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual al anterior, pero con denso crecimientos de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Densa población de árboles, algunos árboles caídos, escasos matorrales, niveles del agua de avenidas debajo de las ramas de los árboles	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero los niveles de agua de avenidas alcanzan a las ramas de los árboles	0.100	0.120	0.160
C. RÍOS (ANCHO DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN AVENIDAS MAYOR DE 30 M):			
El valor de n es menor que el correspondiente a arroyos menores de igual descripción, ya que las márgenes ofrecen menor resistencia al flujo.			
a) Secciones regulares, sin grandes rocas ni arbustos	0.025	---	0.060
b) Secciones irregulares, “rugosas”	0.035	---	0.100

A continuación se presenta el cálculo del estudio hidrológico por medio del Método Racional, del tramo 0+000 al 4+920, así como la delimitación de la cuenca de limitación. Ver Figura III.15 “Delimitación de la cuenca de aportación del km. 0+000 al 4+920”

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA	0 + 900,00
CARRETERA	: TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"
TRAMO	: TOLUCA - NAUCALPAN
Km	: 0 + 000.00 - 33 + 000.00
ORIGEN	: TOLUCA EDO. DE MEX.
CRUCE	: SOBRE TANGENTE

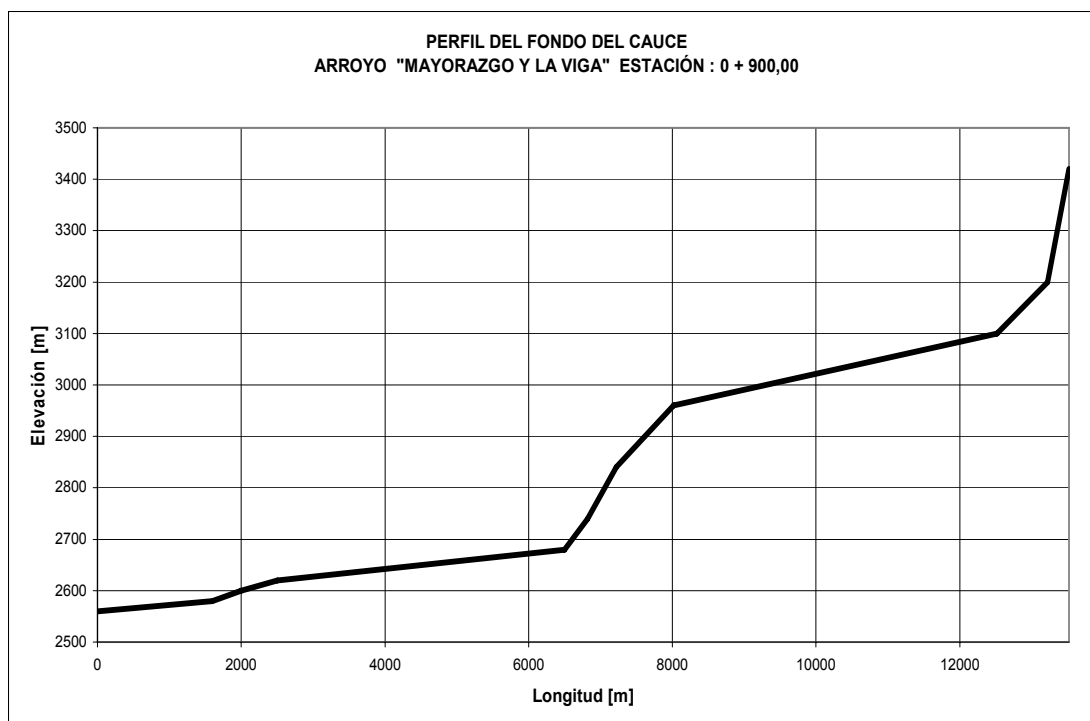
MÉTODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	36,8
Longitud del cauce principal	L	[Km]	13,5
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0,229
Coeficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0,6
Tiempo de concentración	t _c	[min]	52

$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	T _r	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	58
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	356,02
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	18,8
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	18,97
Área hidráulica propuesta (B 4.00 X 4.00 M)	A _P	[m ²]	-



ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA 3+760.00

CARRETERA : TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"

TRAMO : TOLUCA - NAUCALPAN

Km : 0 + 000.00 - 33 + 000.00

ORIGEN : TOLUCA EDO. DE MEX.

CRUCE : SOBRE TANGENTE

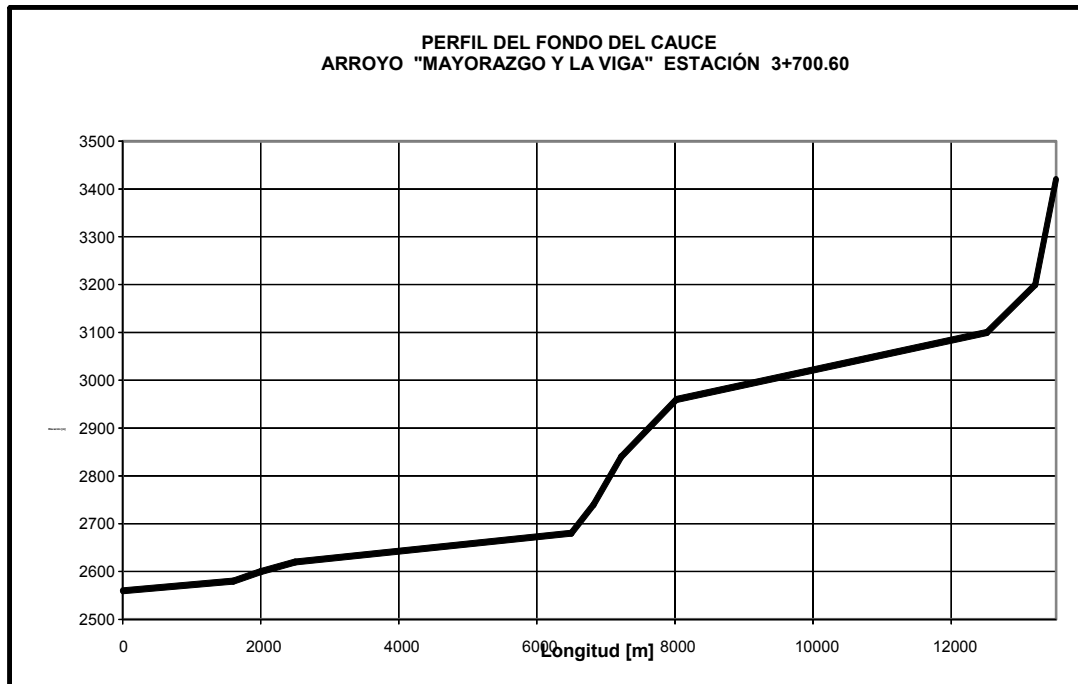
MÉTODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	36.8
Longitud del cauce principal	L	[Km]	13.52
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0.23
Coefficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0.6
Tiempo de concentración	t _c	[min]	52

$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	Tr	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	58
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	356.02
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	18.8
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	18.97
Área hidráulica propuesta (B 4.00 X 4.00 M)	A _p	[m ²]	BOVEDA



ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA : 4 + 500.00

CARRETERA : TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"

TRAMO : TOLUCA - NAUCALPAN

Km : 0 + 000.00 - 33 + 000.00

ORIGEN : TOLUCA EDO. DE MEX.

CRUCE : SOBRE TANGENTE

METODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	0.25
Longitud del cauce principal	L	[Km]	0.11
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0.08
Coefficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0.60
Tiempo de concentración	t _c	[min]	2.00

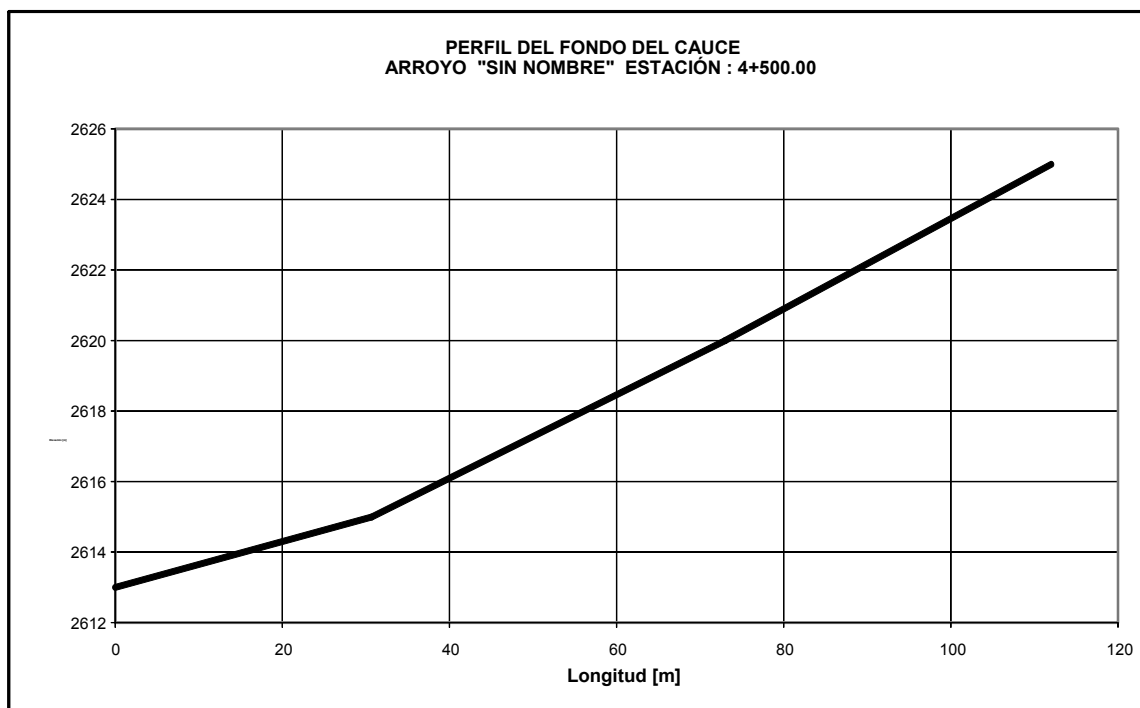
$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	Tr	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	204
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	7.03
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	2.14
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	3.29
Área hidráulica propuesta (L 2.50 x 2.00 m)	A _P	[m ²]	5.00

A_{REC} < A_P, POR LO TANTO LA OBRA ES ADECUADA.



ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA	4+680,00
CARRETERA	: TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"
TRAMO	: TOLUCA - NAUCALPAN
Km	: 0 + 000.00 - 33 + 000.00
ORIGEN	: TOLUCA EDO. DE MEX.
CRUCE	: SOBRE TANGENTE

MÉTODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	0.20
Longitud del cauce principal	L	[Km]	0.50
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0.03
Coefficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0.60
Tiempo de concentración	t _c	[min]	9.38

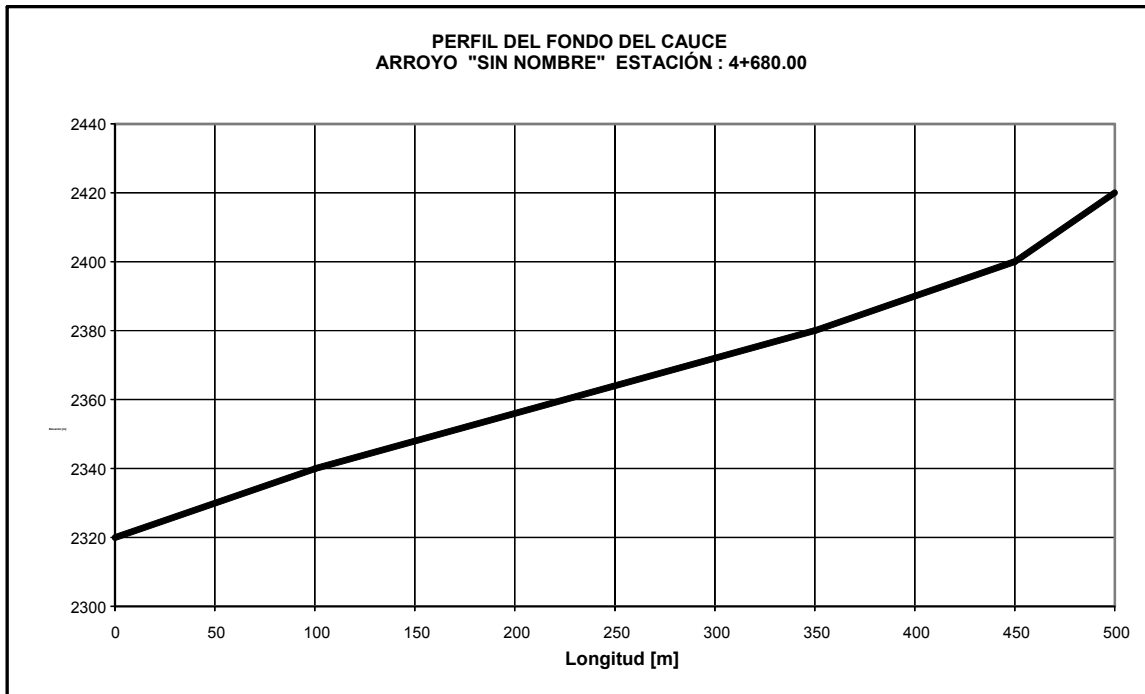
$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	Tr	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	143
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	4.77
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	3.90
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	1.22
Área hidráulica propuesta (Tubo de concreto de 1,50 de Ø)	A _p	[m ²]	1.77

$A_{REC} < A_p$, POR LO TANTO LA OBRA ES ADECUADA.



ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA	: 4+720,00
CARRETERA	: TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"
TRAMO	: TOLUCA - NAUCALPAN
Km	: 0 + 000.00 - 33 + 000.00
ORIGEN	: TOLUCA EDO. DE MEX.
CRUCE	: SOBRE TANGENTE

MÉTODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	0.04
Longitud del cauce principal	L	[Km]	0.06
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0.08
Coefficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0.60
Tiempo de concentración	t _c	[min]	1.00

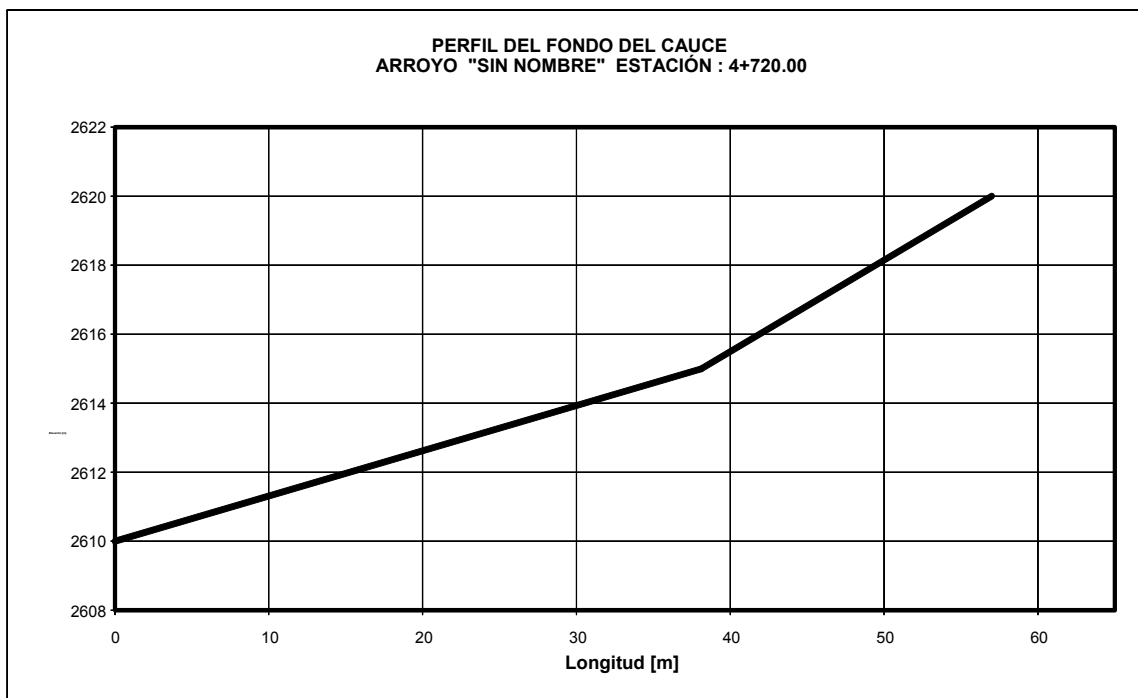
$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	Tr	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	204
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	1.41
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	1.24
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	1.14
Área hidráulica propuesta (Tubo de concreto de 1,50 de Ø)	A _P	[m ²]	1.77

$A_{REC} < A_P$, POR LO TANTO LA OBRA ES ADECUADA.



ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA	4+800,0
CARRETERA	: TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"
TRAMO	: TOLUCA - NAUCALPAN
Km	: 0 + 000.00 - 33 + 000.00
ORIGEN	: TOLUCA EDO. DE MEX.
CRUCE	: SOBRE TANGENTE

MÉTODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	0.11
Longitud del cauce principal	L	[Km]	0.14
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0.119
Coefficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0.60
Tiempo de concentración	t _c	[min]	2.00

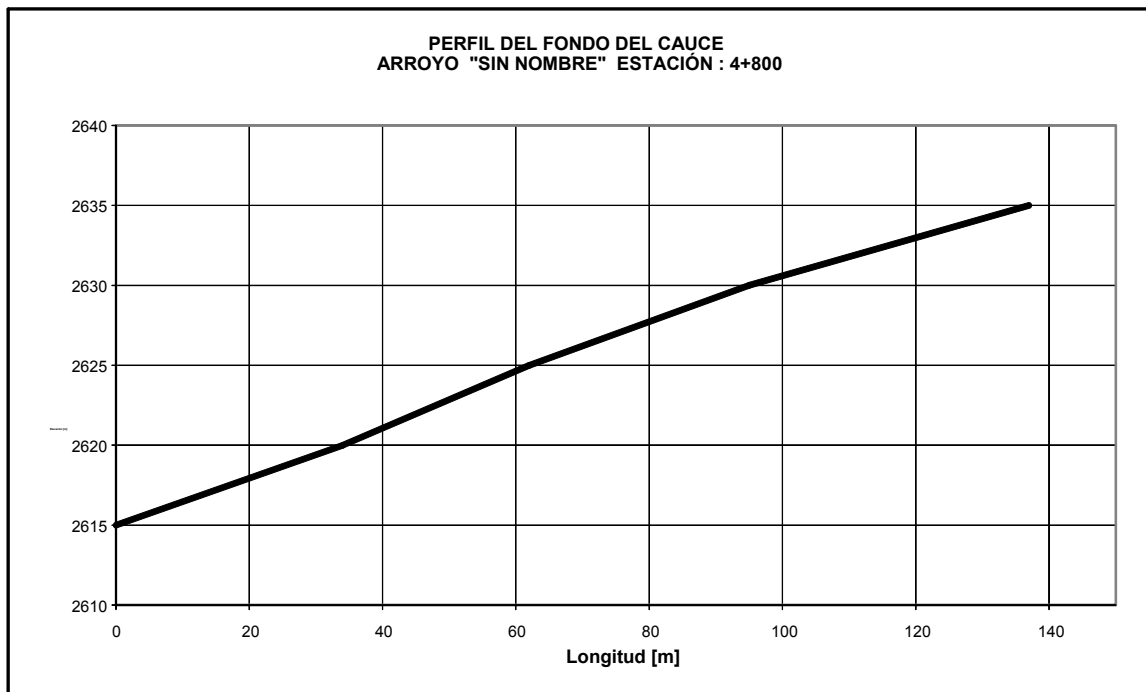
$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	Tr	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	204
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	3.74
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	3.00
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	1.25
Área hidráulica propuesta (Tubo de concreto de 1,50 de Ø)	A _P	[m ²]	1.77

A_{REC} < A_P, POR LO TANTO LA OBRA ES ADECUADA.



ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

ESTUDIO HIDROLÓGICO

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA	4+920,0
CARRETERA	: TOLUCA - NAUCALPAN "PROYECTO 1"
TRAMO	: TOLUCA - NAUCALPAN
Km	: 0 + 000.00 - 33 + 000.00
ORIGEN	: TOLUCA EDO. DE MEX.
CRUCE	: SOBRE TANGENTE

METODO RACIONAL			
CONSTANTES DE CALCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Área de la cuenca	A	[Km ²]	0.16
Longitud del cauce principal	L	[Km]	0.20
Pendiente del cauce	S	[Decimales]	0.467
Coefficiente de escurrimiento	C	[Adimensional]	0.60
Tiempo de concentración	t _c	[min]	1.54

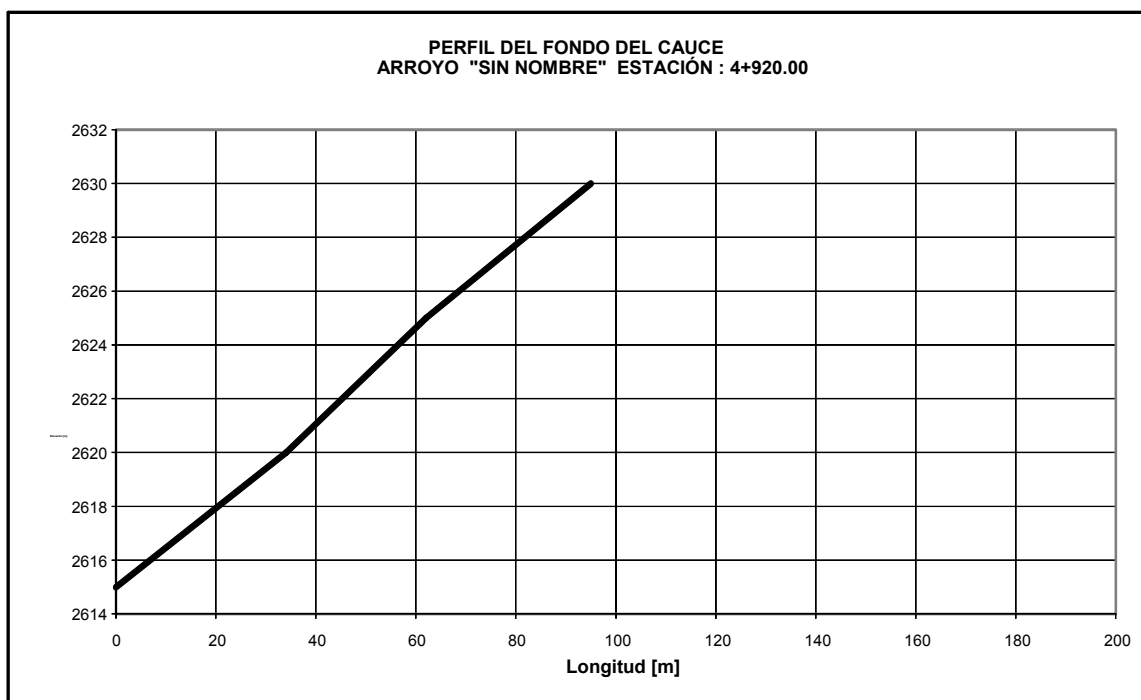
$$t_c := 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$Q := 0.278 \cdot CIA$$

$$Q := V_p \cdot A$$

CONSTANTES DE CALCULO	NOMENCLATURA	UNIDADES	DATOS
Tiempo de retorno	Tr	[años]	50
Intensidad de lluvia	I	[mm/hr]	143
Gasto máximo	Q	[m ³ /s]	3.82
Velocidad promedio	V _p	[m/s]	2.50
Área hidráulica requerida	A _{REC}	[m ²]	1.23
Área hidráulica propuesta (Tubo de concreto de 1,50 de Ø)	A _P	[m ²]	1.77

$A_{REC} < A_P$, POR LO TANTO LA OBRA ES ADECUADA.



**FIGURA III.15 “DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE APORTACIÓN
DEL KM. 0+000 AL 4+920”**



III.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.

En un estudio de impacto ambiental se deben tomar en cuenta las modificaciones que se efectúan al medio ambiente por la ejecución y operación de un camino en toda la vida útil de éste, ya que se provoca tanto cambios benéficos como adversos al equilibrio natural del lugar. La mayoría de los proyectos de caminos causan efectos al entorno físico que abarcan: hidrología, edafología y microclima; al entorno biológico que abarca: vegetación y fauna; y al socioeconómico que afecta principalmente a las poblaciones aledañas al lugar tanto en aspecto cultural como laborales.

III.3.1 DESCRIPCIÓN, DELIMITACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL.

El territorio donde se desenvuelve el anteproyecto de la Autopista Toluca-Naucalpan está constituido por una variedad de terrenos, se inicia en la orilla oriental de la planicie, valle ubicado dentro del Eje Neovolcánico, resultante del relleno que ha hecho el Río Lerma, superficie entre el origen, km 2+300 a km 4+000, donde predomina la agricultura de riego y numerosos poblados.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

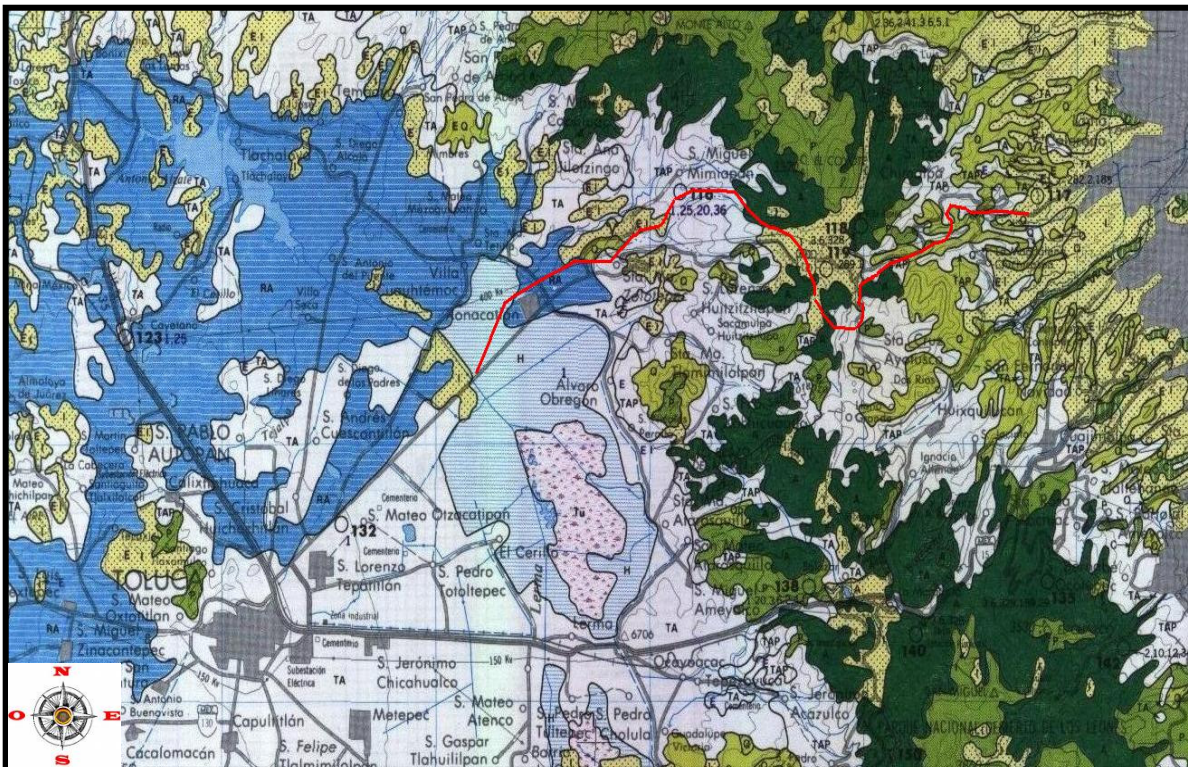
En dirección oriente, del km 4+000 al 10+000, empieza a remontar la sierra que divide el Valle del Lerma del Valle de la Ciudad de México, zona donde predomina la agricultura de temporal, esta última es una zona donde se tienen caseríos rústicos dispersos.

Más adelante, ya en plena sierra se tienen terrenos con mucha pendiente y cubierta forestal hasta el km 15+000, de ahí hasta el final la vegetación natural es interrumpida por caseríos y bancos de material en explotación.

Lo anterior es reflejado por la siguiente Figura III.16 “Uso del Suelo y Cobertura Vegetal”, en el se nota el desarrollo que ha ocasionado la influencia de la Ciudad de Toluca, por un lado, que se esta conurbando con diferentes poblados y ocasionado el crecimiento de zonas industriales.

Por otra parte el Área Metropolitana del Valle de México, y en particular el Municipio de Naucalpan, se ha extendido sobre la vertiente oriental de la misma sierra, en ocasiones como fraccionamiento de alta calidad y en otras a partir de asentamientos irregulares, estas zonas causan un fraccionamiento de las áreas naturales que en partes ya amenaza con su extinción.

FIGURA III.16 “USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL”



En dichas condiciones no existen factores climáticos, geológicos o edafológicos que determinen, ni influye en ellos el proyecto. En dichas condiciones con base en las áreas pobladas, zonas agrícolas y los remanentes de cobertura vegetal se puede definir un Sistema Ambiental Regional (SAR), delimitado por las poblaciones que envuelven la zona de interés y, atendiendo criterios de homogeneidad, dicha zona deberá dividirse en tres subsistemas; una parte baja donde predominan las superficies agrícolas, limitada al poniente por los fraccionamientos residenciales e industriales próximos a Toluca; una parte alta donde los fraccionamientos campestres y asentamientos irregulares se mezclan con vegetación arbórea y; conforme se desciende hacia Naucalpan se encuentran bancos de préstamo de arena y grava, vestigios de vegetación natural y una mayor densidad de fraccionamientos urbanos. Todo ello limita con el área totalmente urbanizada del Municipio de Naucalpan.

El Sistema Ambiental Regional (SAR) se distribuye como se muestra en la Figura III.16 “Uso de Suelo y Cobertura Vegetal”, al este sobre el canal Santa Catarina afluente del Río Lerma y se extiende hacia el este, incluyendo las poblaciones más significativas con una extensión de 20,857 ha. Una segunda zona donde se tiene el menor índice de habitantes y las principales masas remanentes de vegetación arbórea cuya superficie es de 10,506 ha. El segmento más oriental incluye los fraccionamientos más recientes y termina en la parte densamente urbana del Municipio de Naucalpan, su extensión es de 3,179 ha. La superficie total es de 34,543 ha.

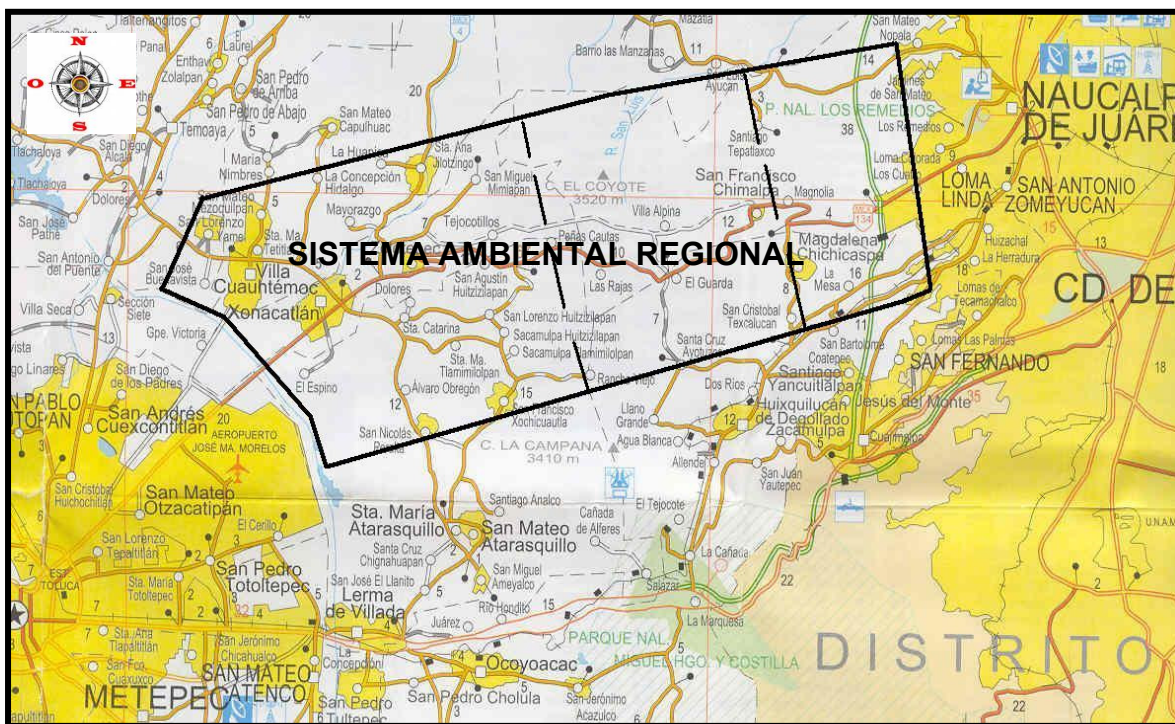
Los principales problemas incluyen la degradación del hábitat natural por causa de la urbanización, fragmentación por la construcción de vías de comunicación, cambio de uso de suelo a agricultura y pastoreo, así como deposición de desechos de tipo urbano e industrial.

La zona está ubicada entre varios núcleos de población e influenciada por los desechos de estas y de numerosas industrias que se ubican tanto dentro del Sistema Ambiental definido, como a lo ancho y largo del Valle del Lerma, al igual que la vertiente hacia la cuenca del Valle de México.

III.3.2.1 MEDIO FÍSICO.

El Sistema Ambiental Regional pertenece a la Provincia del Eje Neovolcánico, Subprovincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac.

FIGURA III.17 “SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL”



III.3.2.1.1 CLIMA.

En la parte oriente y poniente del Sistema Ambiental, se tiene un clima templado de naturaleza continental; clima tipo templado del grupo de los subhúmedos con lluvias de verano y precipitación del mes más seco inferior a 40 mm, es menos húmedo de los subhúmedos y con precipitación invernal menor al 5 % de la anual. El climograma del observatorio de Toluca, el más próximo a la zona, es representativo de esta zona.

La parte media, de mayor elevación, tiene un clima frío, del grupo de los subhúmedos, con precipitación fuerte en verano, la estación de Villa del Carbón, al norte del Sistema, es representativa de esta condición.

Tal como se muestra en la Tabla III.15 “Temperatura promedio anual de la Región”.

III.3.2.1.2 GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA.

La zona forma parte del Eje Neovolcánico y las formaciones volcánicas y volcanoclásticas fueron producidas simultáneamente con el volcanismo del Cenozóico, representan la mayor parte de la entidad. La actividad volcánica en este Eje ha dado lugar a un gran número de cuencas, muchas de tipo endorreico (superficie terrestre provista de una circulación superficial y regular de agua, pero cuya red hidrográfica no descarga en el mar), no así la del Río Lerma aún cuando presenta algunas de estas características, como son planicies a gran altura que formaron muchos lagos.

Gran parte de la actividad volcánica se cree es debida a la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la placa continental mexicana, en cualquier forma una u otra hace que la zona esté sujeta a la actividad sísmica.

En el subsistema ambiental correspondiente a la zona poniente, la roca ha sido cubierta con material de arrastre, presentando actualmente un relleno aluvial y sedimento lacustre originado en el Cuaternario, presuntamente por bloqueos de drenaje por actividad volcánica plio-cuaternaria.

En la porción central se han reconocido siete fases de volcanismo, ocurridas a partir del Oligoceno; la más importante fue la quinta, ocurrida a fines del Mioceno y que dio origen a la Sierra de las Cruces cuyas estribaciones se extienden hasta la porción este del Sistema Ambiental Regional.

III.3.2.1.3 EDAFOLOGÍA.

En la zona plana occidental se presenta como suelo primario el Vertisol Pélico y como suelo secundario el Feozem Háptico, la textura es media y sobre fase dúrica profunda.

TABLA III.15 “TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL DE LA REGIÓN”

ESTACIÓN TOLUCA													
MES AÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMP.	12.6	9.9	11.1	13.1	14.5	14.7	14.3	13.3	13.3	13.3	12.6	11.0	10.1
PREC.	785.5	9.4	5.4	11.9	31.1	63.6	138.8	157.2	148.4	126.0	54.0	26.5	8.3
ESTACIÓN VILLA DEL CARBÓN													
MES AÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMP.	9.5	4.7	7.8	10.1	10.9	11.0	11.1	9.8	9.8	9.7	8.4	6.2	7.3
PREC.	1173.9	15.2	4.7	13.9	42.5	87.6	192.0	248.7	217.4	211.9	89.0	37.4	13.6

El Feozem Háplico tiene un primer horizonte mólico suave y rico en materia orgánica (más del 1 %) y saturación de bases mayor de 50 % por lo que el contenido de nutrientes es alto. Este subtipo de suelo es fértil al uso agrícola. Ello también fue causa de su cambio de uso.

En la parte media y oriente predominan suelos tipo Andosol, suelos fáciles de erosionar cuando se encuentran descubiertos.

III.3.2.1.4 ESCURRIMIENTOS EN EL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR).

Hidrología superficial.

El anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan se ubica, parte en la Región Hidrológica Río Lerma-Santiago, y parte de la Región Hidrológica Río Pánuco.

La Cuenca del Río Lerma–Toluca, tiene su origen en los arroyos y manantiales que descienden hacia el norte para encausar sus aguas hacia el Río Lerma. Estas

tres lagunas constituyen las “ciénagas” zona lacustre en avanzado proceso de senectud natural. Aguas abajo el cauce del Río Lerma se interrumpe por la Presa José Antonio Alzate a unos 6 km al noroeste del Sistema Ambiental Regional (SAR) marcando el límite entre el curso alto y medio del Río Lerma.

En la Cuenca del Río Lerma se tienen dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) los Arroyos: La Vega, Mayorazgo y San Lorenzo, la identificación de la condición existente en cada subcuenca no es fácil, estas han sido modificadas para abasto de agua potable, canalizadas para uso agrícola y utilizada en la red en su conjunto para acarreo de aguas residuales. Es poco lo que reconoce de lo que fue la red natural.

Los numerosos arroyos que descienden de la Sierra de las Cruces (Arroyo Tlalnepantla, Arroyo Córdoba, y el Río Hondo) originaron los lagos de Texcoco y Zumpango, de los cuales subsiste, del primero de ellos en condiciones artificiales, el Nabor Carrillo, todos los arroyos son interceptados por pequeños almacenamientos que, en mayor parte reciben aguas residuales. La totalidad de estos arroyos se incorporan al drenaje de la Ciudad de México.

Hidrología subterránea

El Sistema Ambiental Regional (SAR) está incluida dentro la zona Valle de Toluca, esta es una región donde los suelos muestran una permeabilidad media en material no consolidado, se han censado 1,678 captaciones, 865 son pozos, 601 norias y los remanentes manantiales. El volumen de extracción se estima en 621 Mm³ por año estimándose, asimismo, un déficit de 57 Mm³ anuales por lo que la zona se considera sobreexplotada.

III.3.2.2 MEDIO BIÓTICO.

Dentro de un ecosistema los factores bióticos representan a los seres vivos que ahí se encuentran, mismos que se dividen en flora y fauna, es decir, comprende vegetación, animales, hongos y bacteria. A éste medio se unirá el factor abiótico, que describe a seres inertes como el relieve, los minerales, la temperatura, la precipitación, la luz solar, el agua, el suelo, el viento o los gases. Ambos factores conviven en un mismo ecosistema.

Dentro del Sistema Regional Ambiental (SAR) del anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan se encuentran una gran variedad de especies tanto de flora como de fauna, que son representativas de la región, tal como se muestra en la Tabla III.16 “Medio Biótico del Sistema Regional Ambiental (SAR)”.

De las especies vegetales existentes en la zona ninguna se encuentra en status de protección.

La zona comprendida por el Sistema Ambiental Regional se considera como parte de una extensión hacia el Norte del corredor biológico Ajusco-Chichinautzin, las característica que ha venido perdiendo por la expansión de los diferentes núcleos urbanos y la fragmentación que han ocasionado carreteras y líneas de transmisión que se han construido.

TABLA III.16 (1/3) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR)” PRINCIPALES ESPECIES DE FLORA

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
FLORA		
Betulaceae	Agnus jorullensis	Aile
	Alpus sp.	
	Bacharis conferta	
	Agnus arguta	
Cactaceae	Opuntia sp.	Nopal
	Echinocereus cinerascens	Cocua
Capripholiaceae	Symphorocpus microphyllus	Perilla
Conpositae	Stevia serrata	-----
	Bacharis conferta	Escobilla
	Bacharis sp.	
	Eupatorium plabratum	Hierba del golpe
	Cirsium sp.	Cardo
	Senesio angolifolius	Jara

Esta tabla continúa en la página siguiente

Continúa de la página anterior

TABLA III.16 (2/3) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR)” PRINCIPALES ESPECIES DE FLORA

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
FLORA		
Rubiaceae	Bouvardia ternifolia	Contrahierba
Salicaceae	Salix	Sauce
	Salix bompladiana	
	Salix humboldtiana	
	Salix babilonica	Sauce llorón
Selaginellaceae	Selaginella rupestris	Contrahierba
Vacciniaceae	Vaccinium leucanthum	Cahuichi
Convolvulaceae	Evolvulus alsinoides	Ojo de víbora
Ericaceae	Arbutus glandulosa	Madroño
	Arctostaphylos sp.	Manzanilla
Escrophulariaceae	Penstemon campanulatus	Juarrito
Fagaceae	Quercus laurina	Encino
	Quercus crassifolia	
Graminae	Hilaria cenchroides	Grama
	Boutelova radicata	Navajita morada
	Boutelova curtipendula	Navajita banderolla
	Boutelova gracilis	Zacate navajita
	Asistida divaricata	Zacate
	Sporolobus pyramidatus	
	Eragrostis mexicana	
	Eragrostis diffusa	
	Boutelova hirsuta	Zacate banderita

Continúa de la página anterior

TABLA III.16 (3/3) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR)” PRINCIPALES ESPECIES DE FLORA

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
FLORA		
Graminae	Andropogon brabinoda	Cola de coyote
	Muhlenbergia dubia	Liendrilla
	Setaria geniculata	Gusanillo
Juglandaceae	Juglans sp.	Nogal
Labiales	Salvia sp.	Salvia
	Salvia elegans	
Leguminosae	Lupinus sp.	Garbancillo
	Lupinus sp.	-----
	Acacia schaffneri	Huizache
Loganiaceae	Buddleia sp.	Tepozán
	Buddleia parviflora	
Malvaceae	Sida procumbens	Malva
Oleaceae	Fraxinus sp.	Fresno
Oxalidaceae	Oxalis decaphylla	Agritos
Pinaceae	Juniperus sp.	Cedro
	Taxodium mucronatum	Ahuehuate
	Pinus otezumae	Ocote
	Pinus teocote	
	Pinus rudis	
	Pinus patula	Ocote colorado
	Abies religiosa	Oyamel
	Pinus hartwegii	Pino
Rosaceae	Fragaria indica	Fresa

La información documental existente señala una abundancia de especies de fauna cuyo listado aparece a continuación.

TABLA III.17 (1/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
MAMÍFEROS		
Emballonuridae	Balantiopteryx plicata	Murciélago
Felidae	Lunx rufus	Lince
Geomydae	Thomomys umbrinus	Tuza
Heteromydae	Liomys irroratus	Ratón espinoso
Leporidae	Lepus callotis	Liebre torda
Leporidae	Sylvilagus floridanus	Conejo
	Sylvilagus cunicularis	
Muridaea	Microtis mexicana	Meteorito
	Neotomodon alstoni	Ratón
	Peromyscus maniculatus	
	Reithrodontomys megalis	
Procyonidae	Bassariscus astutus	Cacomixte
	Nasua nasua	Tejón
	Porción lotor	Mapache
Sciuridae	Sciururs oculata toluca	Ardilla
	Spermophilus variegatus	
Vespertilionidae	Corynorhinus towrsendii	Murciélago
	luyosus	
	Myotis yumanensis lotosus	
AVES		
Accipiteridae	Accipiter striatus	Gavilán pajarero
	Buteo jamaicensis	Aguililla cola roja
	Cathartes aura	Zopilote cabeza roja

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (2/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
AVES		
Caprimulgidae	Chordeiles acutipennis	Chotacabras menor
Aegithalidae	Psaltiripars minimus	Sastrecillo
Apodidae	Streptoprocne semicollaris	Vencejo nuca blanca (endémica)
Ardeidae	Ixobrychus exilis	Garza
Bombycillidae	Bombycilla cedrorum	Chinito
Caprimulgidae	Caprimulgus vociferus	Pichagua
Columbidae	Columba livia	Paloma doméstica
Corvidae	Cyanocitta stelleri	Urraca copetona
	Cyanocorax yncas	Checla verde
	Aphelocoma californica	Charra pecho rayado
Cuculidae	Coccyzus erythrophthalmus	Platero piquinegro
	Geococcyx velox	Correcaminos
Emberizidae	Dendroica coronata	Verdín de toca
	Dendroica nigrescens	Verdín de garganta negra
	Dendroica townsendi	Verdín negriamarillo
	Dendroica occidentalis	Verdín coronado
	Dendroica virns	Verdín pecho negro
	Mniotilta varia	Mezclilla
	Wilsonia pusilla	Pelusilla
	Cardellina rubrifrons	Coloradito
	Myioborus pictus	Pavito ocotero

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (3/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
AVES		
Emberizidae	Peucedramus taeniatus	Verdín olivaceo
	Myioborus miniatus	Pavito
	Basileuterus belli	Larverito
	Euphonia elegantissima	Monjita elegante
	Piranga flava	Piranga
	Baurremon virenticeps	Atlapetes rayas verdes
	Melones kieneri	Rascador nuca rufa
	Oriturus superciliosus	Zacatonero rayado
	Atlapetes virenticeps	Atlapetes (endémico)
	Atlapetes pileatus	Saltón (endémico)
	Piranga rubra	Piranga avispara
	Piranga ludoviciana	Piranga cabecirroja
	Pheucticus melanocephalus	Tigrillo
	Atlapetes brunneinucha	Saltón collarejo
	Tiaras olivacea	Zapatero olivaceo
	Diglossa baritula	Pico chueco
	Junco phaeonotus	Ojos de lumbre
	Lomothrus aeneus	Tordo de ojos rojos
	Molothrus ater	Tordo negro (endémico)
	Xenospiza baileyi	Gorrión zapatero (endémico)
	Pipilo erythrophthalmus	Chouis
Falconidae	Falco sparverius	Gavilancillo

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (4/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
AVES		
Fringillidae	Carduelis pinus	Dominiquito pinero
	Loxia curvirostra	Piquituerto
	Carduelis notata	Dominiquito acalandriado
	Coccothraustes abeillei	Pepitero encapuchado
Hirundinidae	Tachycineta thalassina	Golondrina tijereta
Icteridae	Icteris wagleri	Calandria (endémica)
Lannidae	Lanius ludovicianus	Alcaudon verdugo
Mimidae	Toxostoma ocellatum	Cuitlacoche manchado
	Toxostoma curvirostre	Cuitlacoche pico curvo
	Melanosis caerulescens	Mulato (endemico)
Muscicapidae	Sialia sialis	Azulejo
	Sialia mexicana	Ventrua azul
	Myadestes occidentalis	Jilguero
	Catharus occidentalis	Zanca de plata
	Turdus assimilis	Primavera merulín
Odontophoridae	Dendrortyx macroura	Perdiz (endémico)
	Cyrtonyx montezumae	Codorniz de moctezuma
Paridae	Poecile sclateri	Carbonero mexicano
Parulidae	Geothlypis spciosa	Mascarita transvolcánica (endémica en peligro de extinción)
	Ergaticus ruber	Chipe (endémico)
	Geothlypis nelsoni	Mascarita (endémico)

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (5/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
AVES		
Peucedramidae	Peucedramus taeniatus	Ocoterero enmascarado
Picidae	Sphyrapicus varius	Chupasavia
	Colaptes auratus	Carpintero rojo
	Picoides scalaris	Carpintero mexicano
	Picoides villosus	Carpintero vellosos mayor
Ptulogonatidae	Ptilogonys cinereus	Capulinerio gris
Rallidae	Rallus elegans tenvirostris	Gallareta o rascón real (endémica en peligro de extinción)
Regulidae	Regulus calendula	Reyezuelo rojo
Silvidae	Poliophtila caerulea	Perlita azul gris
Sittidae	Sitta carolinensis	Sita pecho blanco
Strigidae	Asio stygius	Buho
	Asio flammeus	
	Otus trichopsis	Tecolotito manchado
	Otus asio	Tecolote
	Buho virginianus	Buho carnudo
	Glaucidium brasilianum	Tecolotito (endémica)
Trochilidae	Lampornis ciemenciae	Chupaflor garganta azul
	Eugenes fulgenses	Colibrí mango
	Calothorax lucifer	Colibrí lucifer
	Cynanthus latirostris	Colibrí pico ancho
	Hylocharis leucotis	Zafiro oreja blanca

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (6/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
AVES		
Troglodytidae	Campylorhynchus gularis	Matraca manchada
	Thrymanes bewickii	Chivirín cola oscura
	Troglodytidae aedon	Matraquita
	Campylorhynchus megalopterus	Matacabras
	Catherpes mexicanus	Chivirín barranqueño
Trogodinae	Trogo mexicanus	Coa
Turdidae	Catharus guttaus	Zorzal cola rufa
Tudidae	Ridgwayia pinicola	Zancas mirlo pinto
	Sialia mexicana	Azulejo garganta azul
	Myadestes occidentalis	Clarín jilguero
	Catharus occidentalis	Zancas de zorzal
Tyrannidae	Mitrephanes phaeocercus	Copetoncito canela
	Contopus pertinax	Tengofrío grande
	Empidonax hammondii	Mosquitero pasajero
	Sayornis phoebe	Papamoscas fibi
	Myiarchus tuberculifer	Copetón común
	Tyrannus vociferans	Madrugador chilero
	Pachyramphus major	Pico grueso mexicano
	Hirundo rustica	Golondrina común
	Empidonax fulvifrons	Mosquero pecho leonado
Tytonidae	Tyto alba	Lechuza de campanario

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (7/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
AVES		
Vireonidae	Vireo solitarius	Vireo solitario
	Virreo huttoni	Vireo de hutton
	Vireolanius melitophrys	Follajero olivaceo
REPTILES		
Colubridae	Enulius flavitorques unicolor	Culebra
	Geophis bicolor	
	Geophis siebeldi	
	Pituaphis deppei deppei	
	Salvadora bairdi	
	Toluca lineada lineata	
	Tantilla depei	
	Trimorphodon biscutatus	Culebra nocturna
	Senticolis triaspis intermedia	Llamacoa
Elapidae	Micrurus fulvius	Coralillo
Phrynosomatidae	Phrynosoma orbiculare boucardi	Camaleón
	Phrynosoma orbiculare orbiculare	
	Sceloporus anahuacus	Lagartija
	Sceloporus grammicus microlepidotus	
	Scalaris	

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.17 (8/8) “MEDIO BIÓTICO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR), PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA”

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
REPTILES		
Phrynosomatidae	Sceloporus teoquatus torquatus	Lagartija
Viperidae	Crotalus polystietus	Víbora
	Crotalus triseriatus triseriatus	
	Sistrurus ravus ravus	

No existe aprovechamiento comercial de ninguna de las especies de fauna.

III.3.2.3 MEDIO SOCIOECONÓMICO.

Para el Sistema Ambiental Regional (SAR), se han tomado datos correspondientes a los Municipios de Otzolotepec (Villa Cuauhtémoc), Xonacatlán de Vicencio, Huixquilucan y Naucalpan de Juárez, que tienen mayor influencia en el medio que se estudia o para los fines del anteproyecto.

III.3.2.3.1 PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO.

Dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) comprendido entre la Ciudad de Toluca y el municipio de Naucalpan, las principales poblaciones de occidente a oriente son:

Xonacatlán
Villa Cuauhtémoc
Santa Catarina
Santa María Tetitla
Santa María Zolotepec
San Pedro Huitzizilapan
San Agustín Huitzizilapan
Santiago Tejocotillo

Las Mesas
Peñas Cuatas
Las Rajas
Villa Alpina
Unidad Huitzizilapan
San Francisco Chimalpa
La Magdalena Chichicarpa

Después de estas últimas se tiene multitud de fraccionamientos que a lo largo de las vías de comunicación se están conurbando con Naucalpan de Juárez la cual, dentro del conjunto, destaca tanto por su población como por la concentración industrial.

Algunas de las características socioeconómicas se indican a continuación agrupadas por municipio.

III.3.2.3.2 DEMOGRAFÍA.

TABLA III.18 “FACTOR HUMANO DISPONIBLE DE LOS MUNICIPIOS ESTUDIADOS”

MUNICIPIO	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	HABLA INDÍGENA
Huixquilucan	193,156	91,335	101,821	2,704
Naucalpan	857,511	414,029	443,482	19,978
Otzolotepec	57,534	27,999	29,535	5,385
Xonacatlán	41,255	20,315	20,940	1,387

Según el censo señalado el anteproyecto se desarrolla dentro de una zona donde existe mano de obra disponible.

III.3.2.3.3 EVOLUCIÓN DEMOGRÁFICA.

La tasa media de crecimiento en los municipios ha sido elevada en Huixquilucan se tuvo 4.39 %, en Naucalpan, 0.76 % en Otzolotepec es de 3.57 % y Xonacatlán 2.83 %. Naucalpan, la de menor crecimiento, tiene prácticamente saturada la superficie municipal y su expansión se realiza en los municipios colindantes hacia el norte y sur mientras que el Área Metropolitana de Toluca incide en el crecimiento de los poblados de los municipios de Otzolotepec y Xonacatlán.

III.3.2.3.4 INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y DE COMUNICACIONES.

A) EDUCACIÓN.

En los municipios que incluyen el Sistema Regional Ambiental, existen centros educativos de todos los niveles, tal como se muestra en la Tabla III.19 “Centros Educativos dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR)”.

Frecuentemente los estudiantes de los Municipios de Otzolotepec y Xonacatlán acuden para la instrucción media y superior a centros de enseñanza establecidos en la ciudad de Toluca.

TABLA III.19 “CENTROS EDUCATIVOS DENTRO DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR)”

MUNICIPIO	PRE - ESCOLAR	PRIMARIA	SECUNDARIA	MEDIA	SUPERIOR
Huixquilucan	38	74	34	6	2
Naucalpan	37	306	152	50	4
Otzolotepec	6	34	15	3	--
Xonacatlán	20	8	1	--	--

B) SALUD.

En las cabeceras municipales existen servicios de salud en todos los niveles; Huixquilucan cuenta con 19 unidades médicas que cubren todo el espectro; en Naucalpan se tienen 49 unidades médicas, 3 de hospitalización general y 1

especializada; Otzolotepec cuenta con 8 unidades médicas y 2 centros de salud; Xonacatlán cuenta con 6 unidades médicas.

C) SERVICIOS PÚBLICOS.

En el censo del año 2000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se registró para el Municipio de Huixquilucan 35,483 viviendas de las cuales 33,602 cuentan con drenaje, 93 % con agua potable, y 98 % energía eléctrica. En Naucalpan los servicios señalados anteriormente alcanzan el 98.47, 98.99 y 99.14 %, respectivamente. El municipio de Otzolotepec alcanza cubiertas de 93 % en agua potable, 78 % en drenaje y 98 % en el suministro de energía eléctrica. En Xonacatlán se tienen 6,574 viviendas de las cuales 95 % cuentan con agua potable, 72 % drenaje y 99% están electrificadas.

III.3.2.3.5 ACTIVIDAD ECONÓMICA.

A) Agricultura.

El Municipio de Huixquilucan tiene una extensión territorial de 143.52 km², de los cuales 23.82 km² son de uso agrícola, 4.55 km² de uso pecuario, 49.81 km² es de uso forestal y 13.39 km² tienen uso urbano. En el municipio de Naucalpan con una superficie de 149.86 km², se tienen 20.25 ha de uso agrícola, en el resto predomina el uso urbano e industrial.

Otzolotepec, de 127.95 km², tiene 63.00 km² dedicados a la agricultura, 4.8 ha uso pecuario y el resto se considera de uso forestal. Xonacatlán de tan solo 32.87 km² de los cuales 3.64 km² son de uso pecuario, 21.70 km² forestales y 7.53 km² para vivienda.

La superficie total de los municipios es de 454.20 ha, de los cuales 48 % corresponden al Sistema Ambiental Regional (SAR), sin embargo, como puede observarse la predominancia de Naucalpan de Juárez es lo más significativo en ambas superficies.

B) Industria.

Naucalpan de Juárez es uno de los municipios que concentra más industria, cuenta con 112 industrias, la mayoría de transformación, que en conjunto con Tlalnepantla y Cuautitlán forman una envolvente industrial a la Ciudad de México.

III.3.2.4 PAISAJE.

A) Visibilidad.

La visibilidad es limitada y solo se dominan áreas agrícolas. En el Municipio de Naucalpan, la visibilidad es mala, predomina sobre la zona aire del Valle de México el cual adiciona su contaminación al de la propia zona industrial de Naucalpan. Únicamente en la parte alta intermedia puede considerarse de buena visibilidad.

B) Calidad paisajística.

El sitio en sí ofrece un atractivo variable, relacionado a la visibilidad señalada anteriormente, la calidad paisajística que pudiera constituir un atractivo, se encuentra limitada a la parte alta, donde se conserva parte del bosque templado, particularmente sobre la vertiente del Río Lerma.

En la parte oriental, además de la contaminación atmosférica existente debe señalarse que han proliferado numerosos bancos de material (arena principalmente) que han sido explotados sin tomar en cuenta ningún criterio de tipo ecológico o paisajístico por lo que, con sus enormes cavidades excavadas, dejan huellas permanentes que destruyen el paisaje, por lo que esta zona está lejos de considerarse un atractivo visual.

C) Fragilidad.

La zona perdió su fragilidad cuando se inició la ocupación del entorno por el hombre, actualmente con superficies agrícolas, industrias, bancos de material y áreas urbanas absorbiendo el paisaje, es difícil considerar el factor fragilidad, el ambiente cambió hace tiempo y actualmente la fragilidad es secundaria.

III.3.2.5 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.

El anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan se desenvuelve mayoritariamente en la Sierra La Bufa-Las Cruces, atravesando el parte aguas entre el valle del Río Lerma y la Cuenca del Valle de México, ocupando parcialmente terrenos que pertenecen al Área Natural Protegida (ANP) “Zona Protectora Forestal, de los terrenos comprendidos en la Cuenca Hidrográfica que alimenta los manantiales que dan origen al Río Lerma, México”.

El Área Nacional Protegida (ANP) no cuenta con un programa de acciones, sin embargo refleja la preocupación que existió en aquellas fechas por defender el recurso acuífero que alimentaba por un lado al Valle de México y por otros numerosos escurrimientos y manantiales de la cuenca del Lerma.

La ocupación que ha dado el hombre en ambas cuencas ha agotado el recurso acuífero, superficial y subterráneo, por lo que este elemento ya no es trascendente en el anteproyecto de carretera, sin embargo, dentro de la zona, sigue la explotación de bancos de préstamo, principalmente grava y arena utilizados en la construcción, no solo del Municipio de Naucalpan donde se ubican ellos, sino de todo el Área Metropolitana de la Ciudad de México.

También es en esta zona donde se ubica la mayor parte de la expansión urbana, los terrenos agrícolas y remanentes de vegetación natural, son convertidos a fraccionamientos de lujo o bien asentamientos humanos irregulares.

En lo que corresponde al anteproyecto del km 4+000 al 33+670, estuvo cubierto de bosque templado, formando parte de un corredor biológico que se extendía desde el Cerro del Ajusco hasta el Cerro de la Bufa, actualmente la reducción en las superficies forestales y su fragmentación, tanto por caminos y líneas de transmisión y conducción han terminado con su función como corredor.

Este corredor era donde los ambientes naturales así como la diversidad genética de las especies silvestres, conformaban un patrimonio natural cuyo aprovechamiento sustentable y su conservación debieran haber sido prioritarias. Sin embargo el desarrollo industrial y urbano, principalmente, se ha realizado de manera desordenada y ha ocasionado graves daños al patrimonio natural, provocando que el ecosistema sufra perturbaciones y que numerosas especies hayan o estén en peligro de desaparecer, situación que amenaza la posibilidad de continuar obteniendo los beneficios y recursos que la naturaleza proporciona.

En todas estas afectaciones al medio natural se tiene como causal directo la explosión demográfica, principalmente en la zona del Valle de México y, en menor cuantía la del Valle de Lerma.

Concretamente:

- A) Seguirá afectándose el régimen de escurrimientos hacia las ciénegas del Lerma o hacia el Valle de México, por la modificación del patrón de escurrimientos debido al incremento en el uso del agua para consumo humano y la generación de aguas residuales que son vertidas sin tratamiento a una y otra cuenca después de ser utilizadas por el hombre.
- B) El aprovechamiento de los depósitos geológicos de arena y grava seguirá explotándose en la medida que exista demanda por materiales de construcción, principalmente en la Ciudad de México.
- C) Los fraccionamientos para asentamientos humanos son mayoritariamente en contra de las superficies forestales, fraccionamientos que en algunos casos ya representan porcentajes importantes de la extensión municipal.
- D) Resulta evidente que en el contexto socioeconómico el peso ejercen en el Municipio de Naucalpan con el resto del Valle de México y el Área Metropolitana de Toluca junto con la Zona Industrial de Lerma, seguirán siendo un atractivo para el cambio de uso del suelo en la zona del Sistema Ambiental Regional.

En dichas condiciones se considera que de no limitarse el crecimiento socioeconómico, el Sistema Ambiental Regional seguirá degradándose y los remanentes de vegetación natural tenderán a desaparecer.

III.3.3 IDENTIFICACIÓN, JUSTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES, DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL.

Dentro del sistema ambiental se toman en consideración los componentes del medio: abiótico, biótico y social, con sus diversos desgloses como se muestra en la Tabla III.20 “Componentes del medio abiótico, biótico y social”.

Los impactos ambientales se caracterizarán y evaluarán con base a los siguientes parámetros:

1) Intensidad:

Baja	3
Mediana	6
Alta	10

Este factor se correlaciona con el universo en estudio, por ejemplo, si la longitud del proyecto con relación a la superficie afectada por el derecho de vía es menor del 40 % (3), del 41 al 60 % (6) y más del 61 % (10).

2) Tiempo de duración:

Momentáneo	1
Temporal	5
Persistente	10

Esta clasificación hace referencia a la acción y efecto de los procesos que inciden en el medio ambiente. Al referirse un impacto temporal, éste se puede presentar durante la etapa de construcción y la duración persistente se puede ejemplificar con el riesgo de accidentes entre automovilistas, derrame de accidental de alguna pipa. Son impactos impredecibles, persistentes, pero mitigables.

3) Tiempo de aparición:

Corto plazo	10
Mediano plazo	6
Largo plazo	3

Se puede aplicar a las fases del proyecto, sea durante la etapa de preparación del sitio (10), durante la construcción (6) o durante la operación (3)

4) Recuperabilidad

Inmediata	0
Mediano plazo	2
Largo plazo	4
Irrecuperable	5

Cuando el impacto ambiental puede desaparecer o ser mitigado sin la intervención humana: (0) si puede ser restaurado de inmediato, 2 a corto plazo (cinco o menos años), (4) si en el mediano plazo (más de cinco pero menos de 10 años) o (5) si es irrecuperable.

5) Acumulación:

No acumulativo	0
Acumulativo	10

En este caso se considera acumulativo cuando se suma a otros impactos ambientales existentes dentro de la región de estudio, como el desmonte de terrenos aledaños al derecho de vía con fines agrícolas o de asentamientos humanos. En las conclusiones debe señalarse el carácter acumulativo del impacto.

6) Periodicidad

Irregular	1
Periódico	2
Continúo	4

Califica la regularidad con que se produce o presenta el impacto dentro del período durante el cual se produce.

7) Reversible:

Reversible	0
Irreversible	5

Se refiere a la posibilidad de restaurar el terreno a las condiciones originales mediante la intervención humana. En caso de que la reversibilidad sea viable se le asigna un valor de 0. Caso contrario 5.

Para la identificación de los impactos ambientales, se analizaron los componentes del medio ambiente sobre los cuales tendría incidencia las obras o actividades ejecutadas durante las distintas fases del proyecto preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento.

- PREPARACIÓN:
- 1) Compra o expropiación del derecho de vía
 - 2) Caminos de acceso para el desmonte
 - 3) Desmonte
 - 4) Despalme

- CONSTRUCCIÓN:
- 5) Caminos de acceso para terracerías.
 - 6) Cortes, excavación con maquinaria.
 - 7) Cortes, excavación con explosivos.
 - 8) Caminos de acceso a obras de drenaje menor.

- 9) Obras de drenaje menor.
- 10) Acarreo de cortes.
- 11) Acarreo de bancos de préstamo
- 12) Formación y compactación de terraplenes.
- 13) Acarreo de material pétreo de desperdicio.
- 14) Tendido de base y carpeta.
- 15) Construcción de plaza de cobro.
- 16) Puentes de columnas cortas.
- 17) Caminos de acceso para puentes altos.
- 18) Puentes de columnas largas y viaductos
- 19) Construcción de túneles.
- 20) Paso Inferior Vehicular (PIV),
Paso Superior Vehicular (PSV),
entronques a desnivel.
- 21) Construcción de viaductos.
- 22) Campamentos.
- 23) Oficinas y almacenes.
- 24) Empleados de la construcción.
- 25) Operación de maquinaria y equipo.
- 26) Bancos de préstamo.
- 27) Sitios de tiro
- 28) Plantas de asfalto y trituradoras.
- 29) Plantas de concreto.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

- 30) Circulación de vehículos.
- 31) Operación de la plaza de cobro.
- 32) Mantenimiento rutinario.
- 33) Mantenimiento correctivo.
- 34) Monitoreo de la operación vial.

TABLA III.20 “COMPONENTES DEL MEDIO ABIÓTICO, BIÓTICO Y SOCIAL”

MEDIO ABIÓTICO	ATMÓSFERA	1) Calidad del aire 2) Microclima 3) Ruido
	GEOMORFOLÓGICO	4) Relieve 5) Estabilidad de taludes
	SUELO	6) Calidad del suelo 7) Infiltración 8) Erosión
	HIDROLOGÍA	9) Calidad de agua 10) Cantidad de agua 11) Afectación de cauces
MEDIO BIÓTICO	VEGETACIÓN	12) Bosque o selva 13) Matorral 14) Hierba 15) Diversidad de flora
	FAUNA	16) Especies en peligro 17) Diversidad de fauna
	FAUNA	18) Hábitat, distribución y corredores. 19) Especies en peligro
SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN	20) Inmuebles afectados 21) Derrama económica 22) Calidad de vida
	PAISAJE	23) Modificación del paisaje
	USO DEL SUELO	24) Uso agrícola 25) Uso pecuario
	SERVICIOS	26) Áreas urbanas 27) Sector secundario y terciario 28) Modificación del patrón de tránsito 29) Seguridad vial 30) Servicios públicos 31) Demanda de servicios médicos

III.3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

Se describen los impactos que se generan, de acuerdo al peor escenario, sin tomar en cuenta las medidas de mitigación.

- 1) Calidad el aire. Existe emisión de gases, producto de la combustión de los motores de la maquinaria, equipos y vehículos, que se utilizarán en la construcción. A lo anterior se adicionará la emisión de polvo, por las actividades de desmonte, despalme, ataque y transporte de los materiales que se cortan en las partes altas y se colocan en las bajas para formar la terracerías.
- 2) Microclima. No aplica.
- 3) Ruido. El empleo de explosivos en parte de las excavaciones que genera ruido, asimismo la operación de maquinaria, ruido que procede de una fuente móvil, como lo es también el que producen los vehículos usuarios de la vialidad proyectada. También producen ruido, de fuente fija, las plantas trituradoras y productoras de concreto si se hiciese uso de ellas.
- 4) Relieve, desmonte, despalme, cortes y terraplenes, modifican el relieve, toda vez que este es uno de los objetivos de la construcción – formar una superficie de rodamiento – este se considera un impacto residual.
- 5) Estabilidad de taludes. Durante el proceso de formación de la terracería y obras auxiliares, se modifica la estratigrafía y se descubren materiales que en estado natural pudieran fallar en sus ángulos de reposo.
- 6) Calidad del suelo. La formación de la terracería modifica la estratigrafía del suelo en toda la longitud de la vialidad, lo cual cambia sus características naturales.
- 7) Infiltración. En la estratigrafía del suelo inicia un cambio en la capacidad de infiltración que culmina con el tendido de la base y carpeta asfáltica, que vuelve impermeable la corona.
- 8) Calidad del agua. Desde el desmonte hasta el tendido de la superficie de rodamiento, el suelo permanece descubierto y es susceptible de ser arrastrado por la precipitación pluvial.

- 9) Cantidad de agua. Existe el consumo de agua, por parte de los empleados de la construcción, para conseguir una humedad adecuada en los materiales utilizados en la compactación de los terraplenes.
- 10) Afectación de cauces. Durante la construcción de las obras de drenaje menor, puentes y viaductos, puede darse el desmoronamiento de materiales excavados o arrastrados por las mismas corrientes, afectando la red de drenaje. El proyecto, en cuanto a las obras de drenaje menor solo contempla que sean con base a losa, solución que no es recomendable en la totalidad del proyecto.
- 11) Erosión. El descubrimiento de las diferentes capas de suelo, los nuevos taludes y la precipitación pluvial, pueden ocasionar procesos de erosión.
- 12) Deposición. Acarreo de material de desperdicio y sitios de tiro. Se deberán ubicar sitios de tiro suficientes para acomodar dicho material sobrante.
- 13) Bosque o selva. Durante el desmonte, a lo largo de cortes y terraplenes, se derriba toda la vegetación arbórea existente.
- 14) Matorrales. Acontece lo mismo con la vegetación de matorral.
- 15) Hierba. La vegetación herbácea excepto en terrenos de uso agropecuario, que es retirada la vegetación durante el despalme.
- 16) Diversidad de flora. Lo que disminuyen la diversidad de flora, ya que los empleados de la construcción es tentado a la colecta de ejemplares de flora.
- 17) Especies de flora en peligro. No aplica.
- 18) Diversidad de fauna. Los empleados de la construcción también se pueden sentir tentados a la cacería de algunos ejemplares de fauna que les llamen la atención.
- 19) Hábitat, distribución y corredores. La construcción de la vialidad se constituye en un elemento lineal que disminuye la función de corredor que pudiera tener la parte media del Sistema Ambiental Regional (SAR).
- 20) Especies de fauna en peligro. No aplica.
- 21) Derrama económica. La obra en sí constituye una derrama económica, las actividades que ocupan la mayor cantidad de mano de obra local.

- 22) Calidad de vida. En general todas las actividades que implican el uso de maquinaria o el empleo de vehículos de carga implican un aumento en la probabilidad de accidentes por lo que, con la generación de ruido, son en detrimento de la calidad de vida.
- 23) Modificación del entorno. El entorno, al igual que el relieve, es modificado por la inclusión de un elemento artificial, más notorio donde se conserva el ambiente natural que en la parte agrícola inicial o en la parte urbana del final.
- 24) Uso agrícola. Al constituirse el derecho de vía se pierde terreno que había estado dedicado a la agricultura.
- 25) Uso pecuario. Lo mismo pasa con superficies que se empleaban en el pastoreo libre.
- 26) Áreas urbanas. No se afectan.
- 27) Sector secundario y terciario. La derrama económica por la construcción que se dirige principalmente a los empleados de la construcción trasciende a los sectores señalados así como determinadas acciones de mantenimiento de maquinaria y acarreos con subcontratistas locales.
- 28) Modificación del patrón de tránsito. La nueva vialidad absorberá tránsito de las carreteras federal 134 y estatal 952, disminuyendo el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y mejorando la circulación en ellas.
- 29) Seguridad vial. Durante la época de construcción se incrementará el tránsito en las carreteras federal 134 y estatal 952, incrementando el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y aumentando la probabilidad de accidentes en ellas.
- 30) Servicios municipales. La demanda de servicios municipales, agua, drenaje, energía eléctrica, etc., aumentando la demanda sobre las fuentes de abasto.
- 31) Servicios médicos. Tanto los empleados de la construcción, en forma temporal, como los usuarios de la vialidad demandará servicios médicos.

III.3.3.2 DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

Se describen a continuación los impactos ambientales en los Medios Abiótico, Biótico y Socioeconómico más significativos que pueden presentarse en la zona.

TABLA III.21 (1/4) “DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES”

MEDIO	COMPONENTE	OBRA O ACTIVIDAD	CARACTERIZACIÓN
ABIÓTICO	Calidad del aire	Durante el proceso de desmonte, se emite a la atmósfera polvo, procedente del suelo por el desentrañe de la vegetación arbórea, en 49 ha. Igual acontecer se tendrá durante el despalme de las 124.04 ha que constituyen la superficie. Asimismo, durante el proceso constructivo se tendrá el movimiento de tierra, esto es el acarreo de los bancos de préstamo a los terraplenes, acarreo que se estima durará 15 meses y que se llevará a cabo entre la maquinaria de construcción y camiones de carga, la emisión es accidental dependiendo del estado de humedad del suelo. La maquinaria y vehículos de carga, con motores a base de diesel, emitirán a la atmósfera un máximo de 55 g por hr, principalmente de NO. Finalmente, durante la operación de la vialidad se tendrá un TDPA, durante la inauguración de 6,000, vehículos, que emitirán a la atmósfera gases en una cantidad igual a 400 g / km, dicha emisión dejará de producirse en las carreteras. Federal N° 134 y Estatal N° 952.	Este es un impacto cuya intensidad depende de las condiciones de humedad existentes, por lo que no puede valuarse en términos cualitativos, es de duración temporal que aparece durante la ejecución de la actividad y que se dispersa fácilmente y que se manifiesta en forma continua durante los 2 meses que dura esta actividad. Es un impacto de duración temporal que se dispersa fácilmente y que se manifiesta en forma irregular 15 meses. Este es de carácter permanente, se produce de inmediato y se dispersa fácilmente, se manifiesta en forma continua. Estos dos últimos impactos tienen como referencia las NOM 041 y 045.
ABIÓTICO	Ruido o confort sonoro	La mayoría de la maquinaria, opera con el escape de gases en forma directa lo cual produce emisión de ruido en el orden de los 68 dB que resulta molesto en las inmediaciones del frente de construcción. También el uso de explosivos ocasiona ruido, su intensidad puede llegar hasta los 75 dB en los sitios de corte y a 70 dB en el exterior de los túneles	El impacto es de carácter temporal, se manifiesta de inmediato, es de carácter continuo, reversible y no afecta poblado alguno. El impacto es de carácter temporal, se manifiesta de inmediato, es de carácter continuo, reversible y no afecta poblado alguno. Deberá ajustarse a lo dispuesto en la Ley de Armas de Fuego y su Reglamento.
ABIÓTICO	Relieve	Los terraplenes, túneles y estructuras a desnivel, modifican el relieve. La consecución de una superficie uniforme que sirva de base al rodamiento de los vehículos es uno de los propósitos de la construcción de la carretera por lo que es inevitable. Este mismo cambio del relieve se produce en los sitios de tiro donde se dispondrá de aproximadamente 600,000 m³.	Estas actividades constituyen impactos de alta intensidad por lo accidentado de la zona.
ABIÓTICO	Estabilidad de taludes	Durante la formación de la terracería y construcción de las obras de drenaje queda expuesto suelo en los cortes y terraplenes susceptible de fallar, esto se da principalmente donde existe cortes de gran altura los cuales se ubican entre los km 16+800 a 18+200 y 27+000 a 33+200. Concluida la construcción dichas fallas pueden ser ocasionadas por agentes naturales de gran intensidad.	Intensidad baja por ser accidental, momentáneo, de aparición y recuperación de periodicidad irregular y reversible.

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.21 (2/4) “DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES”

ABIÓTICO	Calidad del suelo	El proceso de desmonte empieza a afectar el suelo, aflojando la parte donde están enraizados y aglomerados los árboles 41 ha, continúa con el despalme de 124.04 ha, ello modifica la estratigrafía del suelo y la compactación de la capa subyacente, la construcción del módulo de pago también requiere del despalme, al igual que en las rampas de pasos a desnivel. Los desechos humanos, particularmente las excretas (80 lt diarios) y los residuos de comida (16 kg diarios), durante la etapa de construcción, pueden ser motivo de contaminación del suelo. Accidentalmente se pueden derramar hidrocarburos durante el mantenimiento preventivo de la maquinaria o por combustibles y lubricantes mal almacenados. En la plaza de cobro se dan desperdicios sanitarios y sólidos de tipo doméstico.	El suelo, es sujeto a un cambio estratigráfico de intensidad media, persistente, de aparición en el corto plazo, irrecuperable e irreversible. Este es un impacto de intensidad baja, de duración temporal. Que se manifiesta en el corto plazo, de recuperabilidad inmediata y de pe-riodicidad continua. El impacto puede ser de intensidad media, temporal en su duración, aparecerá en el corto plazo, es reversible el impacto. Estas afectaciones al suelo son continuas, de baja intensidad, recuperables y se acumulan a la propia del Sistema Ambiental Regional.
ABIÓTICO	Infiltración	La superficie de rodamiento, sea flexible o rígida, constituye una capa impermeable que a lo largo de la vialidad impedirá la infiltración del agua, estimada en 85,610 m³.	El impacto es de baja intensidad, el drenaje de la carretera devuelve el agua a las acequias o directamente a la ciénega, el cambio se manifiesta en el corto plazo, será persistente y no reversible.
ABIÓTICO	Calidad del agua	Durante el tiempo que permanece descubierto el suelo es susceptible de ser arrastrado por el agua de lluvia degradando la calidad del agua. La cantidad de suelo erosionada es accidental como el fenómeno que lo origina. La plaza de cobro genera residuos líquidos cuya falta de tratamiento contaminará los escurrimientos naturales, el volumen de estos se estima en máximos de 1,500 lt diarios.	EL impacto es de baja intensidad, temporal, de aparición en el corto plazo, periodicidad irregular y reversible. El impacto es de intensidad media, duración permanente de aparición a corto plazo periodicidad continua y reversible.
ABIÓTICO	Cantidad del agua	Para la formación y compactación de los terraplenes debe tenerse una cierta humedad en el suelo que de no conseguirse en estado natural se le añadirá agua, en el presente caso se estimó una cantidad máxima de 30,000 m³. También será necesario suministrar agua a los empleados, durante las fases de máxima intensidad de la construcción, se estima se tendrán cerca de 280 empleados para los que se requerirá un mínimo de 400 lt diarios de agua potable. La plaza de cobro demanda agua potable para sus empleados y vigilantes. Se estima al menos una dotación diaria de 3 m³.	El impacto es de intensidad media, duración temporal, que se manifiesta en el corto plazo, irrecuperable e irreversible, además se considera acumulativo a otros procesos propios del Sistema Ambiental Regional. Idem. Algo similar acontece con el agua que requiere la plaza de cobro, salvo que en este caso el impacto es persistente
ABIÓTICO	Calidad del agua	Durante la construcción de las obras de drenaje y de los puentes y viaductos puede tenerse desprendimiento de material y que éste sea arrastrado por el agua.	El impacto causado es de intensidad baja, de duración temporal que, de suceder, aparece en el corto plazo, es recuperable y de periodicidad irregular.

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.21 (3/4) “DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES”

ABIÓTICO	Erosión	Durante el tiempo que el suelo permanece descubierto es posible la erosión hídrica.	El impacto causado es de intensidad baja, de duración temporal que, de suceder, aparece en el corto plazo, es recuperable y de periodicidad irregular.
ABIÓTICO	Deposición	El material producto del despalme, 384 Mm³, en el esquema constructivo es un material sobrante. El material sobrante en la compensación de cortes y terraplenes se constituye en una deposición que requiere un sitio específico de tiro. Existe deposición de material sólido de tipo doméstico en los sobrantes de la alimentación de los empleados. Igual acontece proveniente de alimentos en la plaza de cobro.	El impacto es de baja intensidad, de aparición inmediata, duración persistente y reversible. El impacto es de alta intensidad, de aparición inmediata, de duración permanente, irrecuperable y reversible. El impacto es de intensidad baja, de duración temporal, se manifiesta en el corto plazo y es reversible.
BIÓTICO	Bosque o selva	Durante el desmonte se derribarán un estimado de 13,600 árboles.	Existe una disminución del bosque, de intensidad alta, persistente, que se produce en el corto plazo, no es recuperable y se considera acumulable a otros del SAR.
BIÓTICO	Matorrales	Durante el proceso de desmonte, donde la vegetación arbórea se muestra compacta, se derriban también los matorrales, esto es 41 ha.	El impacto es de intensidad baja.
BIÓTICO	Herbáceos	Los remanentes de herbáceos, en terrenos agrícolas se eliminan durante el despalme.	Intensidad baja, persistente, de aparición en el corto plazo, irrecuperable e irreversible
BIÓTICO	Diversidad de flora	El desmonte y despalme señalado reducen la diversidad de flora. Lo anterior puede acumularse a la recolecta por parte de trabajadores.	Es un impacto de alta intensidad, de duración persistente, aparece en el corto plazo, irrecuperable, irregular e irreversible. El impacto es similar al anterior pero de carácter reversible.
BIÓTICO	Diversidad de fauna	El desmonte también disminuye la cantidad de fauna al ahuyentarse o eliminarse de la franja afectada	Es un impacto de alta intensidad, de duración persistente, aparece en el corto plazo, irrecuperable, irregular e irreversible.
BIÓTICO	Hábitat, distrib. y corredores, fauna.	La constitución de la vialidad deja una franja de terreno desprovista de vegetación donde circulan vehículos a alta velocidad, lo que se constituye en una barrera lineal.	Es un impacto de alta intensidad, de duración persistente, aparece en el corto plazo, irrecuperable, irregular y reversible

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.21 (4/4) “DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES”

SOCIOECONÓMICO	Calidad de vida	La circulación de los camiones materialistas y la emisión de polvo y gases que emiten para llevar a cabo el acarreo de los cortes y bancos de préstamo a los terraplenes significan un deterioro en la calidad de vida. Asimismo, las actividades de la maquinaria, que ocasionan la emisión de gases y polvo. También la presencia y uso de explosivos se constituye en aumento del riesgo de accidentes.	El impacto sobre las poblaciones señaladas es de intensidad baja, temporal, de aparición en el corto plazo, recuperable en el mediano plazo y reversible. El impacto sobre las poblaciones señaladas es de intensidad baja, temporal, de aparición en el corto plazo, recuperable en el mediano plazo y reversible. El impacto sobre las poblaciones señaladas es de intensidad baja, temporal, de aparición en el corto plazo, recuperable en el mediano plazo y reversible.
SOCIOECONÓMICO	Modificación del entorno	El desmonte es la primera actividad que modifica el paisaje, el despalde, la terracería y la construcción de obras adicionales, completan los cambios. Esta modificación, como la obra, es de tipo lineal en una extensión de 35,970 m.	Es un impacto de intensidad baja, persistente, de aparición en el corto plazo reversible y de periodicidad irregular.
SOCIOECONÓMICO	Uso agrícola	Se disminuye la producción agrícola correspondiente a 68.70 ha.	Este es un impacto de baja intensidad
SOCIOECONÓMICO	Uso pecuario	Se disminuye la producción pecuaria correspondiente a 6.34 ha	Este es un impacto de baja intensidad, de aparición inmediata, de duración permanente, irreparable e irreversible.
SOCIOECONÓMICO	Seguridad vial	Durante la construcción se incrementará el tránsito en las carreteras federal N° 134 y estatal N° 952, incrementando el riesgo de accidentes.	Impacto de baja intensidad, de duración temporal, que aparece en el corto plazo, irreparable y reversible
SOCIOECONÓMICO	Servicios municipales	La operación de la plaza de cobro demandará servicios públicos de comunicaciones, energía eléctrica, agua y drenaje.	Estos constituyen una serie de impactos de baja intensidad, persistentes que incidirán sobre la demanda de otros servicios dentro del Sistema Ambiental Regional.
SOCIOECONÓMICO	Servicios médicos	En forma temporal los empleados de la construcción incrementarán la demanda de servicios médicos. Lo mismo acontecerá, pero en forma permanente con los empleados de las plazas de cobro.	Este impacto incrementa en forma temporal e inmediata la demanda de servicios médicos, en forma temporal e irreversible. El impacto es igual al anterior pero de forma permanente.

III.3.3.3 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y SELECCIÓN DE INDICADORES.

Entre los impactos severos se tienen aquellos relacionados con los cambios en la cobertura vegetal, principalmente la pérdida de bosque y matorral, el consumo de agua, la deposición de material sobrante que conlleva el uso de sitios de tiro, la modificación del paisaje y deterioro de la calidad de vida durante la fase constructiva.

La pérdida de bosque puede considerarse que es acumulativa a lo que ha sucedido dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR), y a lo largo de la sierra se ha dado un lento proceso de pérdida de superficie forestal principalmente por el establecimiento de asentamientos humanos.

Algo similar acontece con el manejo del agua, si bien el volumen de agua que se requiere para la compactación y la pérdida de agua por infiltración son volúmenes pequeños, se suman a las demandas de agua potable de los asentamientos señalados, por ello se considera el impacto severo y acumulativo.

Como fue señalado los cortes y excavaciones en obras adicionales no están compensados con las terracerías, existe un sobrante de aproximadamente 600,000 m³, sobrante que se da en la parte de fuerte pendiente, material que no puede voltearse a las cañadas. Ello implica buscar sitios de tiro que no sean terrenos de bosque sino, preferentemente, bancos de material agotados. En cualquier forma se estiman necesarios al menos otras 10 ha de terreno, en diferentes fracciones, para ser utilizados como sitios de tiro.

La modificación del paisaje es un impacto de carácter residual que no tiene mitigación, va contra el objetivo mismo de la construcción, consistente en proporcionar una estructura reglada que sirva de superficie de tránsito a los vehículos, dicha modificación se constituye en un impacto que solo puede ser compensado parcialmente.

La adición del tránsito de vehículos al propio de las carreteras 134 y 952 ocasionará un incremento del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) que seguramente incrementará la posibilidad de accidentes viales, si a ello adicionamos el uso de explosivos en cortes y para la excavación de túneles, existe

un incremento en la posibilidad de accidentes expresado en esta Manifestación como un deterioro en la calidad de vida, temporal, para los habitantes que se ubican cerca de las carreteras y los sitios donde se utilizarán explosivos.

La calidad del agua, el polvo dispersado durante las actividades de construcción, los derrames accidentales de material particulado o hidrocarburos, la falla en algún talud y la posible erosión de alguna parte del subsuelo mientras permanece descubierto, son posibles impactos de carácter temporal y de origen accidental, se consideran casos extremos y por lo mismo imposible de valorar por su carácter accidental.

Las vías generales de comunicación no son procesos productivos ni de transformación por lo cual los indicadores ambientales tienen que referirse muchas veces a la cantidad de obra, consumos o actividades propias de la obra de infraestructura y permanecen constantes excepto los correspondientes a las etapas de operación y mantenimiento que se relacionan a las estadísticas de tránsito:

- 1) El primer impacto que se tiene, inicia con la constitución del derecho de vía, cambio del régimen jurídico de una franja de terreno. En el presente caso, el derecho de vía está constituido por diferentes fracciones, la mayoría de propiedad ejidal, que suman 220.12 ha, dicho cambio del régimen jurídico puede causar inconformidad social, su indicador sería la manifestación de dicha inconformidad social, estos normalmente se producen cuando los términos monetarios de la transferencia no satisfacen a los propietarios. Esta reducción o cambio de uso en la superficie se acumula al incremento en la superficie agrícola y crecimiento de las áreas urbanas que ocasiona la población dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR), principalmente la del Municipio de Naucalpan de Juárez. Dentro de dicho cambio anterior está la afectación de 49 ha de bosque, principalmente de pino-encino. El cambio de uso del suelo aún cuando teóricamente reversible, en la práctica no se da el caso, primero por el cambio de régimen jurídico señalado anteriormente y segundo porque las vías generales de comunicación con el

tiempo tienden a ser ampliadas no a desaparecer. Es decir que este impacto será residual sino puede mitigarse.

- 2) Finalmente dentro de los impactos que se acumulan a los propios del Sistema Ambiental Regional se tendrá el consumo de agua y la generación de residuos líquidos y sólidos, originados en la plaza de cobro.

La dotación de la plaza de cobro, será una demanda de baja intensidad pero permanente, dicho volumen puede obtenerse de los servicios municipales del Municipio de Xonacatlán o acarrear en pipa de otros sitios. En cuanto a las aguas residuales estas serán tratadas en la propia plaza de cobro y, como agua gris, drenadas a la red existente o, preferentemente, utilizadas en el riego de plantas de ornato de la autopista.

- 3) La nueva vialidad se constituirá en una barrera lineal de 35,970 m, adicional a las existentes, es decir debe considerarse como acumulativa a los impactos propios del Sistema Ambiental Regional (SAR). Esta barrera se constituye sobre todo para pequeños mamíferos y reptiles, tanto por la superficie artificial constituida como por la velocidad de operación de los vehículos en una autopista que no permite librar esta fauna aunque sea observada por el conductor. Este impacto será residual toda vez que no es viable la eliminación total del efecto de barrera. Se tienen obras de drenaje con capacidad para dicha función e induzcan a la fauna a su utilización, el indicador de su funcionamiento sería el número de animales atropellados en la vialidad, información que en forma por demás deficitaria podría proporcionar la brigada de mantenimiento.

En términos estrictos se considera un impacto acumulativo, sin embargo ello se atenúa teniendo en mente que siendo los terrenos aledaños mayoritariamente de uso agropecuario o de asentamientos humanos, los mamíferos naturales existentes se encuentran disminuidos con predominio de los propios de zonas agrícolas.

- 4) Los sitios de tiro que habrán de localizarse después de que la obra sea aprobada en su contexto ambiental, deberán ser sitios donde no se causen daños adicionales a la naturaleza, como fue señalado, preferentemente

bancos de material abandonados o sitios de uso pecuario o de agricultura de temporal, estos sitios deberán tener un programa específico de restauración, principalmente con base a su reforestación.

- 5) Modificación del paisaje, además de modificarse el relieve, existe un cambio en el paisaje por la inclusión de la carretera dentro del Sistema Ambiental, un elemento lineal artificial que se inserta dentro de terrenos de uso forestal, agropecuario y áreas urbanas, existentes.
- 6) Dentro de los impactos severos señalados está el aumento en el riesgo de accidentes, identificado como deterioro en la calidad de vida. Se tiene el aumento en el riesgo de accidentes tanto en los frentes de construcción como a lo largo de las carreteras utilizadas en los acarreos e importación de materiales y prefabricados utilizados en las estructuras. La instalación de depósitos de pólvora y el uso de la misma, etc. También se tendrá la afectación a la atmósfera, ya que al ser un tramo nuevo, los usuarios de la autopista impactarán con ruido y gases contaminantes provenientes de los vehículos, si bien, en cantidad menor a la que producen al utilizar otras vialidades dentro del mismo Sistema Ambiental Regional (SAR). El indicador lógico será el número de accidentes reportados, sea a través de las compañías aseguradoras o los correspondientes a la atención médica

III.3.3.4 ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES, DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL.

Se realiza en tres etapas que son de proyecto, de construcción y, de operación y mantenimiento, que sirven cada una para prevenir según el avance del proyecto del impacto ambiental de la región en la cual se trabaje, se hace a continuación una descripción detallada de cada una de las etapas.

I. ETAPA DE PROYECTO.

- 1) La constitución del derecho de vía mediante el cambio del régimen jurídico de diferentes parcelas es un proceso que implica; la comunicación de las afectaciones que produce la obra; los valores ofertados para las fracciones inmobiliarias que compondrán el derecho de vía; así como la ubicación

misma de la obra y ello, en ocasiones, produce inconformidad social e inclusive impiden llevarla a cabo.

Es necesario un esfuerzo conjunto del gobierno estatal y municipal de convencimiento, dirigido a los propietarios o tenedores de los inmuebles afectados, sobre las ventajas socioeconómicas de la ejecución del proyecto y, sobre todo, de la justa valoración de las afectaciones y la correspondiente remuneración de las mismas, previo al inicio de la construcción.

El responsable de dicha acción será el Promovente, la duración puede considerarse inmediata, previa a la construcción, y los recursos están considerados dentro del presupuesto de obra para las 206.32 ha que se incorporan al derecho de vía.

La correcta operación administrativa quedará identificada por la ausencia de manifestaciones sociales negativas por parte de los propietarios o municipios involucrados. Los costos están contemplados en el costo de la obra, el efecto tiene una duración temporal que no debe exceder de 6 meses.

- 2) No deberá iniciarse la obra sin la correspondiente autorización por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para los pasos sobre canales y puentes proyectados, la misma autorización por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) garantiza el cumplimiento de la medida.
- 3) Otro impacto de esta etapa es el desmonte, pérdida de 13,600 individuos arbóreos y el despalme de 124.04 ha. Las acciones para mitigar este impacto son la reforestación en los excedentes del derecho de vía susceptibles de esta acción.

Dichos excedentes, excepto puentes, túneles, viaductos (2,570 m a cada lado) y 8,300 m de bosque en colindancia, dejan un excedente de 25,100 m, de vialidad donde pueden sembrarse, a ambos lados, 20,000 plántulas.

La mitigación del impacto por este concepto quedará dividida en dos partes:

- a) Revisión del terreno por desmontar y eventual rescate de plántulas útiles para la reforestación, durante este trabajo también deberá

verificarse que no exista fauna que deba ahuyentarse o madrigueras que deban desplazarse. En cualquier caso la reubicación se deberá llevar a cabo lo más cerca posible del sitio donde haya ocurrido el rescate.

- b) La siembra de plántulas rescatadas y plantas nuevas dentro del derecho de vía deberá sumar al menos 20,000 plántulas, en dos hileras a cada lado de la vialidad con un espaciamiento promedio de 5 m.

El rescate de flora y ahuyentado de fauna deberá dar preferencia a aquellos sujetos señalados en la NOM-059 en algún estado de protección si los hubiese, el responsable será el Promovente quien la podrá delegar en un organismo especializado.

Estas actividades se estima deberán durar 3 años, iniciándose un mes antes del inicio de la construcción y terminando dos años después de determinada la siembra de plántulas.

La reforestación en el derecho de vía conlleva la adquisición de plántulas del tipo de vegetación propio de la zona, la apertura de cajetes para la siembra donde, para su relleno, se aprovechará parte del material de despalme.

La vigilancia, reposición de plántulas muertas y eventual riego deberán prolongarse hasta que se sostengan en forma natural al menos el 80 % de las plántulas utilizadas en la reforestación.

- 4) La pérdida de superficie agropecuaria en una superficie de 75.04 ha, es una pérdida en la capacidad productiva del sector primario, impacto socioeconómico que no tiene compensación, salvo la mitigación por la retribución económica de los terrenos adquiridos
- 5) El desmonte y despalme inician la modificación al relieve y termina con los terraplenes de terracerías y accesos a estructuras a desnivel. Este es un impacto que no tiene mitigación, ya que, la construcción de la vialidad tiene como objetivo modificar el relieve para constituir una superficie uniforme de

rodamiento. Evidentemente que las acciones emprendidas para modificar el relieve topográfico también modifican el paisaje

- 6) El desmonte, despalde y actividades subsecuentes de construcción, inician la formación de una barrera que afecta principalmente la propagación de la fauna.

El impacto es acumulativo al efecto de barrera que ocasionan las carreteras y líneas de transmisión existentes, sobre todo las números 952 y 134, estas alimentan numerosos caminos y brechas, también se tienen tres líneas de alta tensión cruzando la zona, todas ellas en el sentido Este-Oeste, la fragmentación del área boscosa correspondiente a la parte intermedia del Sistema Ambiental Regional, afecta sobre todo a pequeños mamíferos que en la actualidad corresponden mayoritariamente a especies que proliferan en áreas agrícolas y/o urbanas.

En el tramo comprendido entre los kilómetros 6 y el 33, el efecto de barrera se atenuará haciendo las obras de drenaje con claro de al menos 2.50 m de longitud a cada 500 m, evitando el uso de tubos.

Además, el paso de la fauna por las obras de drenaje deberá inducirse colocando malla de alambre, de al menos 1.50 metros de altura en ambos lados de las obras de drenaje en una longitud de 100 m, dicha medida no procederá donde se tienen puentes de columnas altas o viaductos.

II. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

- 7) Con el despalde de 383,910 m³, la formación y compactación de terraplenes, se modifica el paisaje. El material de despalde no tiene uso en el proceso constructivo, por ello se clasifica como material de desperdicio, sin embargo el material deberá utilizarse como recipiente de las plántulas a reforestar; para formar un estrato que soporte gramíneas en taludes de terraplenes y cortes.

- a) Para el relleno de los cajetes donde se sembrarán las 20,000 plántulas, se ocuparán 5,000 m³.

- b) En el arroyo de taludes se ocuparán 160,000 m³, para que las gramíneas inducidas puedan arraigar antes de la época de lluvias.
- c) Tendidos sobre el derecho de vía no ocupado 120,000 m³.
- d) El remanente, 100,000 m³, deberá esparcirse sobre los sitios de tiro para fomentar su reforestación.

El material de despalme contribuirá parcialmente a recobrar parte del paisaje perdido. El proceso se llevará a cabo durante los 36 meses que se estima que durará la obra, el costo del acarreo deberá quedar incluido en el costo de la obra.

- 8) Los materiales pétreos requeridos (carpeta asfáltica, arena, grava, piedra y tepetate) deberán provenir de bancos de préstamo o industrias autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México.
- 9) Toda la cimbra para losas y elementos estructurales de concreto que se requiera, deberá constituirse con madera de procedencia legal, para no propiciar en la zona la tala ilegal.

III. ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

- 10) Se prohíbe el uso de fuego o defoliantes para la limpieza del derecho de vía.
- 11) El sistema de agua y drenaje de la plaza de cobro genera desechos líquidos, la demanda media estimada del consumo es de 3 m³ diarios, de los cuales deberán procesarse en un sistema séptico un 50 %, el agua tratada será utilizada en el riego de plantas de ornato en la autopista.

Existen otra serie de medidas de mitigación o prevención propias de este tipo de construcciones que se encuentran reguladas por las condiciones de trabajo, programas de seguridad y planes de emergencias, varias de ellas se sintetizan en la siguiente Tabla (Tabla III.22 "Impacto y mitigación ambiental") donde se estima el impacto, las medidas adecuadas para la mitigación o prevención así como el responsable de dicho aspecto, marcando el tiempo y el recurso que se le destina.

TABLA III.22 (1/5) "IMPACTO Y MITIGACIÓN AMBIENTAL"

IMPACTO AL QUE VA DIRIGIDO LA ACCIÓN	MEDIDA DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN Y/O COMPENSACIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO EN EL QUE SE INSTRUMENTARÁ	RECURSOS NECESARIOS	SUPERVISIÓN Y GRADO DE CUMPLIMIENTO
Medida preventiva, dirigida a la preservación del Sistema Ambiental en su conjunto.	El Promovente deberá contratar una persona física o moral responsable de la supervisión ambiental de la ejecución de la obra, que será el responsable en todo tiempo del cumplimiento de los condicionantes a los cuales queda sujeto el proyecto. Dicha persona deberá estar capacitada y con autoridad suficiente para ordenar la modificación o incluso suspender los trabajos, si estuviere en riesgo el equilibrio ecológico del lugar.	Persona física o moral con experiencia en supervisión ambiental.	49 meses	\$ 2'000,000	Por medio de la bitácora de la obra, informes periódicos a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y/o a la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental para garantizar el cumplimiento de las medidas.
Medida preventiva dirigida a la protección del medio ambiente evitando la colecta de flora o captura de fauna.	El personal que labore en la obra deberá de recibir instrucción que lo induzca al cuidado de flora y fauna.	El Supervisor ambiental.	24 Meses	Ninguno (En los casilleros de esta columna donde se señala "ninguno" se refiere a costos incluidos dentro del monto de la licitación para construcción de la vialidad)	Ídem
Medida preventiva medio Socioeconómico, dirigida a evitar el incremento del riesgo de accidentes.	Se deberán tener bandereros para dirigir el tránsito originado por los acarreo y transporte de materiales, en las poblaciones que atraviesen estos vehículos y en la intersección o cruce de otras vialidades en operación.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Ídem

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.22 (2/5) “IMPACTO Y MITIGACIÓN AMBIENTAL”

IMPACTO AL QUE VA DIRIGIDO LA ACCIÓN	MEDIDA DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN Y/O COMPENSACIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO EN EL QUE SE INSTRUMENTARÁ	RECURSOS NECESARIOS	SUPERVISIÓN Y GRADO DE CUMPLIMIENTO
Remediación de las posibles condiciones de contaminación atmosférica.	El equipo, vehículos y maquinaria por utilizar durante las diferentes etapas del proyecto, deberán estar en óptimas condiciones de operación, de tal manera que cumplan con lo establecido en las NOM-041-SEMARNAT-93, NOM-045-SEMARNAT-1996 y NOM-080-SEMARNAT-1994, referentes a emisiones de ruido.	El Promovente o la persona que se designe (Usualmente el residente de construcción) y/o sus contratistas.	24 Meses	Ninguno	Ídem
Remediación, la posible emisión de polvo dentro de las poblaciones.	Para el acarreo de materiales a través de núcleos de población se deberán mantener húmedas las superficies de las calles.	El Promovente o la persona que se designe (Usualmente el residente de construcción) y/o sus contratistas.	24 Meses	Ninguno	Ídem
Prevención de posible contaminación del suelo por derrames de hidrocarburos.	La reparación de la maquinaria y equipo se realizarán en un área debidamente impemeabilizada y equipada para dicho fin. El servicio de engrasado y lubricación se hará en campo desde vehículos especialmente acondicionados para dicho fin. Los residuos que se generen se deberán almacenar en tambos los cuales se entregarán, para su manejo y disposición final, a empresas autorizadas para ello.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Supervisión ambiental y bitácora de la maquinaria o equipo y recibos de la empresa receptora de los residuos.

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.22 (3/5) “IMPACTO Y MITIGACIÓN AMBIENTAL”

IMPACTO AL QUE VA DIRIGIDO LA ACCIÓN	MEDIDA DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN Y/O COMPENSACIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO EN EL QUE SE INSTRUMENTARÁ	RECURSOS NECESARIOS	SUPERVISIÓN Y GRADO DE CUMPLIMIENTO
Posible contaminación del suelo en zonas de almacenamiento de combustibles.	Las áreas de almacenamiento de sustancias y/o combustibles, contarán con sistemas que eviten la contaminación del suelo, en caso de derrames accidentales, en ningún sitio deberán almacenarse cantidades superiores a 600 lt. de un mismo material.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Ídem
Posible contaminación del suelo en los sitios de servicio a la maquinaria de construcción.	El suministro de combustible a la maquinaria y equipo se realizará utilizando sifones, manteniendo las tapas de los recipientes cerradas, con el objeto de evitar la contaminación del suelo debido a derrame de hidrocarburos. En caso de derrames, el contratista procederá a la limpieza y restauración de suelos; para ello puede contratar alguna empresa autorizada, de acuerdo con la normatividad vigente. En caso de que fuesen hidrocarburos se cumplirá con la NOM-138.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Ídem
A la disminución de la biodiversidad.	Los trabajos de desmonte y despalme se realizarán en forma gradual, con el objeto de permitir la salida de la fauna silvestre que pudiera habitar en la zona, permitiendo su reacomodo.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	6 Meses	Ninguno	Ídem

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.22 (4/5) “IMPACTO Y MITIGACIÓN AMBIENTAL”

IMPACTO AL QUE VA DIRIGIDO LA ACCIÓN	MEDIDA DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN Y/O COMPENSACIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO EN EL QUE SE INSTRUMENTARÁ	RECURSOS NECESARIOS	SUPERVISIÓN Y GRADO DE CUMPLIMIENTO
Disposición de materiales de desperdicio.	Las ramas y las hojas sobrantes de desmonte se triturarán e incorporará al material de despalme de tal manera que se evite la acumulación de material inflamable y a su vez se promueva la formación de un sustrato apropiado para el establecimiento de nueva vegetación.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Ídem
Mitigación por el uso temporal del suelo en otras actividades.	Queda prohibido instalar campamentos, patios de maquinaria y demás infraestructura de apoyo, dentro del derecho de vía y el personal que labore en la obra será contratado preferentemente de las localidades del Sistema Ambiental Regional para evitar la mitigación en la zona.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Ídem
Contaminación del suelo, medida preventiva.	Para cubrir las necesidades del personal que laborará en las obras, se deberán instalar sanitarios portátiles a razón de 1 por cada 20 trabajadores, con un mínimo de 2 por cada frente de trabajo. El contrato de los mismos deberá incluir el reciclado de residuos.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	24 Meses	Ninguno	Ídem

Esta tabla continúa en la página siguiente.

Continúa de la página anterior

TABLA III.22 (5/5) “IMPACTO Y MITIGACIÓN AMBIENTAL”

IMPACTO AL QUE VA DIRIGIDO LA ACCIÓN	MEDIDA DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN Y/O COMPENSACIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO EN EL QUE SE INSTRUMENTARÁ	RECURSOS NECESARIOS	SUPERVISIÓN Y GRADO DE CUMPLIMIENTO
Contaminación del paisaje.	Queda prohibido colocar anuncios de gran tamaño en el derecho de vía, pues afectan el paisaje y obstruyen la visibilidad. Sólo deberán instalarse aquellos referetnes a la conducción de los vehículos y aquellos referentes a la conducción de los vehículos y aquellos otros advirtiendo sobre el tránsito dentro del Área Nacional Protegida y las principales limitaciones.	El Promovente o la persona que sea designada (Usualmente el residente de construcción)	Permanente	Ninguno	El Promovente o la persona que se designe (Generalmente de mantenimiento)

A lo largo de este capítulo se han observado los elementos que permiten reconocer las condiciones propicias de la zona de estudio, como el informe geológico, geotécnico e hidrológico, así como los mecanismos para el estudio de cada uno de ellos, determinando así, si la zona de estudio es la apta para llevar a cabo la construcción del Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan.

Por la magnitud que se presenta en el anteproyecto se considera realizar un estudio de impacto ambiental al Sistema Ambiental Regional que comprende la Ciudad de Toluca y el municipio de Naucalpan, este debe hacerse a fondo, pues de ahí obtendremos datos precisos sobre la presencia de especies de flora y fauna propia de la zona en estudio, que como en toda construcción puede verse afectada, pero teniendo este antecedente se puede prever el menor daño posible.

Así mismo se hace un estudio del beneficio económico que podrá darse al llevar a cabo este Anteproyecto, ya que el impacto no sólo comprende estas dos zonas,

sino lugares por donde pasará la futura Autopista, esto tanto en la etapa de construcción y después en el beneficio proporcionado al termino de esta en diversos ámbitos como el de salud, educación, comercio, etc.

Estos datos serán analizados en el Capítulo IV “ANTEPROYECTO”, mismo en el que se observan las particularidades sobre las Terracerías, Pavimentos, Drenajes Estructuras, Entronques y Señalamientos, del lugar en cuestión.

En el Capítulo V se desarrolla el “EL ESTUDIO ECONÓMICO” de la autopista Toluca – Naucalpan y finalmente en el capítulo VI “CONCLUSIONES” se presentan las conclusiones generales sobre la realización de este Anteproyecto.

CAPÍTULO IV

ANTEPROYECTO

CAPITULO IV

ANTEPROYECTO.

El Anteproyecto desarrollado en este trabajo cubre los temas más significativos para el diseño de la Autopista Toluca–Naucalpan. Los temas presentados son Terracerías, Pavimentos, Drenajes, Estructuras (incluyendo Puentes, Entronques y Túneles), finalmente Anteproyecto de Señalamiento. Estos temas incluyen la información básica para la construcción del camino y constituyen la parte más importante del presupuesto.

La finalidad de este ejercicio es proponer mejores condiciones geométricas al camino actual ofreciendo para beneficio de los usuarios rapidez, seguridad y comodidad. La ruta elegida parte de la autopista Aeropuerto–Xonacatlán hacia la autopista Chamapa–La Venta, a la altura de la Avenida 1º de Mayo.

Esta autopista conduce al Aeropuerto de Toluca y a la Ciudad de Toluca, como una ruta alterna a la actual autopista; la longitud aproximada es de 33,600 m y se localiza al Norponiente del Distrito Federal con una longitud Este de 99º y 33' y una latitud Norte de 19º 18'.

El Anteproyecto plantea la construcción de una autopista Tipo A4 con ancho de corona de 21 m dos carriles de circulación de 3.50 m en cada sentido y acotamientos laterales de 2.50 m. Este anteproyecto se desarrolla en su mayor parte siguiendo la trayectoria del camino existente, mejorando el alineamiento horizontal y vertical con la finalidad de cumplir con las Normas y Especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para el tipo de camino mencionado.

Una vez que se cuenta con la ruta de la autopista indicada en el Capítulo II “Elección de Ruta” además de haber realizado estudios de gabinete para recabar información necesaria de las características geológicas, topográficas e hidrológicas, se continúa con los temas de Anteproyecto.

El alcance de este Capítulo IV “Anteproyecto” incluye los temas de Diseño de Terracerías de acuerdo con el estudio de alineamientos vertical y horizontal. En

esta primera sección se incluye el cálculo de terracerías y se presenta la metodología de cálculo. La segunda sección es sobre el tema de Diseño de Pavimentos el cual es un tema relacionado con el estudio de la relación costo–volumen tránsito. Al identificar las características hidrológicas ubicadas sobre la ruta, se diseñan las obras de drenaje. Para esto es necesario revisar las variables de topografía, alineamiento vertical del camino y área hidráulica para cada uno de los puntos donde se presentan cruces de escurrimientos a lo largo del tramo del km 0+000 al km 5+000, de acuerdo al Capítulo III “Estudios Preliminares”. La solución al diseño de obras para drenaje se realiza empleando diseños tipo de acuerdo a la norma de alcantarillas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Una vez que se han resuelto las obras de drenaje menor se procede a identificar la ubicación de sitios donde se requiere de estructuras de drenaje mayor así como la definición de necesidades resolver cruces del nuevo camino con caminos existentes así como algún otro tipo de obstáculo. De esta manera se estudia la necesidad de construir puentes o Pasos Inferiores o Superiores de Vialidad así como viaductos en cruces a desnivel. Para el caso de este tipo de estructuras también se revisa la necesidad de diseñar estructuras de puentes especiales o bien se estudia la posibilidad de resolver el tema con diseños Tipo. En una revisión preliminar fueron localizados dos entronques a desnivel y dos a nivel en los cuales es necesario revisar las necesidades de señalamiento. Finalmente se presenta una sección propuesta de túnel en las dos ubicaciones. La revisión del alineamiento vertical y horizontal revela esta necesidad de construir dos estructuras de este tipo; las dos cercanas al cadenamiento 30+200 km en el extremo ubicado en el Municipio de Naucalpan. La propuesta tiene la intención de proporcionar un parámetro de costo, considerando que el diseño queda fuera de las posibilidades de este Anteproyecto.

IV.1 ANTEPROYECTO DE TERRACERÍAS.

Para llegar al anteproyecto de la autopista A4 Toluca–Naucalpan. Se llevaron a cabo siguientes fases:

Selección y evaluación de las rutas.

- 1) Estudio de trazos alternos.
- 2) Evaluación de trazos.
- 3) Elaboración del Anteproyecto de la vía.

**TABLA IV.1 “CARACTERÍSTICAS DEL ANTEPROYECTO
DE LA AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

Autopista tipo	A4 (cuatro carriles)
Longitud	33.6 km
Tipo de terreno	Montañoso
Curvatura Máxima	5° 30”
Velocidad de Proyecto	80–110 km/h
Pendiente Gobernadora	4 %
Pendiente Máxima	6 %
ESTRUCTURAS:	
Paso Inferior de Vialidad (PIV)	8 estructuras
Paso Superior de Vialidad (PSV)	6 estructuras
Puente	11 estructuras
Viaducto	1 Viaducto
Túnel	2 estructuras
Entronque	2

La selección de la ruta engloba todo el proceso preliminar de recogida de datos, estudio de planos, reconocimiento y localización de las poligonales de estudio. Del análisis y evaluación de los diferentes rutas posibles para un trazado surge uno que reúne las mejores cualidades y sobre la cual se realizarán los estudios detallados que conducen al Anteproyecto.

El Anteproyecto de la vía corresponde a la localización del eje definitivo, a la selección de las curvas de enlace, a la determinación de los volúmenes de tierra a mover, al establecimiento de los sistemas de drenaje, a la estimación de las

cantidades de obra a ejecutar al replanteo del trazado en el terreno, etc. Se realiza en dos etapas de alcance diferentes: la de anteproyecto y la de proyecto ejecutivo. La localización de la autopista y por ende su diseño, está altamente influenciada por la topografía, las características geológicas y de los suelos, el drenaje, la necesidad de preservar la integridad física, social y ambiental de la zona perturbada por el paso de la vía, y el uso de las tierras atravesadas. Esta información, junto con los datos de tráfico y vehículos, constituyeron los aspectos determinantes en los estudios de la ruta para el trazado de la autopista, tomando en cuenta las especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para la autopista. Tiene las siguientes características:

IV.1.1 DEFINICIÓN DE TERRACERÍAS Y PARTES QUE LAS CONFORMAN.

Las terracerías pueden definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre. La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de obra y si este volumen de material se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, las terracerías son compensadas y 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 rellenos, se necesita extraer el material fuera de ella, o sea, en zonas de préstamos. Si estas zonas se ubican se encuentran a más de 100 m, son préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en 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. A su vez, cuando el tránsito que hay de operar sobre el camino es mayor que 5,000 vehículos diarios, se construyen en el cuerpo del terraplén los últimos 50 cm con material compactable y esta capa se denomina subyacente.

IV.1.2 FINALIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE TERRACERÍAS.

Las características y funciones de los materiales utilizados en estas capas de las terracerías son las que se mencionan a continuación:

- **Cuerpo del terraplén**

Las finalidades de esta parte de la estructura de una vía terrestre son alcanzar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas (sobre todo la pendiente longitudinal), resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor de forma adecuada al terreno natural, de acuerdo con su resistencia.

- **Estructuración de vías terrestres.**

Los materiales empleados para construir el cuerpo del terraplén deben tener un Valor Relativo de Soporte (VRS) mayor a 5 % y su tamaño máximo puede ser hasta de 75 mm. Los materiales para suelos se aceptaban hasta hace poco tiempo con un Límite Líquido (LL) menor al 100 % pero en la actualidad los proyectistas exigen que este valor sea inferior a 70 %, aunque algunos autores, sin base alguna de control de calidad y de forma conservadora indican que debe ser de 40 % y es preciso utilizar materiales con más de 30 % de partículas al pasar por las mallas de 200 mm. Sin embargo de manera contradictoria admiten valores relativos de soporte de 5 % como mínimo en especímenes compactados al 95 % del Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) típicos de suelos de mala calidad y bastante alejados de los materiales con granulometría y plasticidad solicitados.

Los materiales utilizados en la construcción del cuerpo de terraplén se dividen en compactables y no compactables aunque esa denominación no es correcta pues todos los materiales son susceptibles de compactación.

Sin embargo se clasifican con base en la facilidad para compactarse con métodos usuales y para medir el grado alcanzado. Se dice que un material es compactable cuando después de disgregarse se retiene menos del 20 % en la malla de 7.5 cm (3 pulgadas) y menos del 5 % en la malla de 15 cm (6 pulgadas). Los materiales no compactables carecen de estas características.

IV.1.3. CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO DEL TERRAPLÉN.

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

- 1) Cuando los materiales son compactables, se le 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 es del 90 % y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.
- 2) Si los materiales no son compactables, se forma una capa con un espesor casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca, no menor que 15 cm. Un tractor de oruga se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos en zig-zag. Para mejorar el acomodo es conveniente proporcionar agua en una cantidad de 100 lt por cada m³ de material.
- 3) Si es necesario efectuar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no es fácil el acceso del equipo de acomodo compactación, se permite colocar el material a volteo hasta una altura en que ya pueda operar el equipo.

Cuando el tránsito soportado por un camino es mayor que 5,000 vehículos por día, los últimos 50 cm superiores del cuerpo del terraplén se construyen con material compactable y se les da este tratamiento hasta alcanzar un grado del 95 % de Peso Seco Volumétrico Máximo (PSVM). Si el material de la parte inferior también es compactable, la diferencia solo es el grado de compactación de cada capa.

IV.1.4 CAPA SUBRASANTE.

La capa subrasante se presentó oficialmente en las especificaciones mexicanas de 1957. Las características de la capa subrasante deberán ser un espesor de la capa: 30 cm mínimo, tamaño máximo de sus partículas 7.5 cm (3 pulgadas), debe tener un grado de compactación del 95 % del Peso Seco Volumétrico Máximo (PSVM), contar con un Valor Relativo de Soporte (VRS) del 15 % mínimo y una expansión máxima del 5 %.

Estos dos últimos valores se obtienen por medio de la prueba Proctor estándar. Hasta la fecha, las especificaciones para las dos últimas características marcan

valores de 5 % mínimo y 5 % máximo, respectivamente, pero los proyectistas exigen las especificaciones antes citadas.

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- 1) Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
- 2) Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.

- 3) Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deben estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.
- 4) Evitar que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de rocas (pedraplenes), absorban el pavimento. En este caso, la granulometría debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base o sub-base).
- 5) Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- 6) Uniformar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de las terracerías a lo largo del camino.
- 7) Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

IV.1.5 ANTEPROYECTO GEOMÉTRICO DE CAPA SUBRASANTE.

La parte superior de la capa subrasante coincide con la línea subrasante del proyecto geométrico la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra. Esta línea marca la altura de las terracerías y por tanto su espesor, que la mayoría de las veces es mayor que el necesario en la estructura.

Durante el desarrollo de un proyecto geométrico de subrasante es preciso tomar en cuenta:

- a) Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- b) La subrasante tenga la altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje.
- c) La altura conveniente para la subrasante, a fin de que el agua capilar no afecte el pavimento.
- d) Que la subrasante provoque los acarrees más económicos posibles.

Por tanto los elementos que la definen son topográficos, geométricos y de costos.

IV.1.5.1 CONDICIONES TOPOGRÁFICAS.

De acuerdo con su configuración se consideran los siguientes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso.

- a) Se considera terreno plano, aquel cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes y de corta magnitud, con pendientes transversal escasa o nula. Como lomerío, se considera al terreno cuyo perfil longitudinal presenta en sucesión, cimas y depresiones de cierta magnitud, con pendiente transversal no mayor de 25°. Como montañoso se considera al terreno que ofrece pendientes transversales mayor de 25°, caracterizado por accidentes topográficos notables y cuyo perfil obliga a fuertes movimientos de tierra.

En terreno plano el proyecto de la subrasante será generalmente en terraplén, sensiblemente paralelo al terreno, con la altura suficiente para quedar a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimientos laminares de él, así como para dar cabida a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel. En este tipo de configuración, la compensación longitudinal o transversal de las tercerías se presenta excepcionalmente; como consecuencia, los terraplenes estarán formados con material producto de préstamo, ya sea lateral o de banco. El proyecto de tramo con visibilidad de rebase generalmente no presenta ninguna dificultad, tanto por lo que respecta al alineamiento horizontal como vertical.

- b) En un terreno considerado lomerío, el proyectista estudiará la subrasante combinando las pendientes especificadas, obteniendo un alineamiento vertical ondulado, que en general permitirá aprovechar el material producto de los cortes, para formar los terraplenes contiguos. El proyecto de la subrasante a base de contrapendientes, la compensación longitudinal considerable, el hecho de no representar problema dejar el espacio vertical necesario para alojar las alcantarillas, los pasos a desnivel y puentes, son características de este tipo de terreno. Asimismo, cuando se requiere considerar la distancia de visibilidad de rebase en el proyecto de alineamiento vertical, se ocasiona un incremento en el volumen de tierras a mover.
- c) El terreno montañoso, como consecuencia de la configuración topográfica, la formación de las terracerías se obtiene mediante la excavación de grandes volúmenes; el proyecto de la subrasante queda generalmente condicionado a la pendiente transversal del terreno y el análisis de las secciones transversales en zonas críticas o en balcón. Cuando a causa de la excesiva pendiente transversal del terreno haya necesidad de alojar en firme la corona del camino, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de contención o de viaductos con el objeto de obtener el menor costo de tramo. En ocasiones, el proyecto de un túnel puede ser la solución conveniente

Son características del terreno montañoso el empleo frecuente de las especificaciones máximas, tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical, la facilidad de disponer del espacio libre para dar cabida a alcantarillas y puentes, la presencia en el diagrama de masa de una serie de desperdicios interrumpidos por pequeños tramos compensados, la frecuencia de zonas críticas, los grandes volúmenes de tierras a mover la necesidad de proyectar alcantarillas de alivio y el alto costo de construcción resultante, si se requiere considerar en el proyecto la distancia de visibilidad de rebase.

Dada la íntima liga que existe entre los alineamientos horizontal y vertical todos los casos antes descritos, especialmente en el último, es necesario que al proyectar el alineamiento horizontal se tomen en cuenta los problemas que afectan el estudio económico de la subrasante.

IV.1.5.2 CONDICIONES GEOTÉCNICAS.

La calidad de los materiales que se encuentran en la zona en donde se localiza el camino es factor muy importante para lograr el proyecto de la subrasante económica, ya que además del empleo que tendrán en la formación de las terracerías, servirán de apoyo al camino. La elevación de la subrasante esta limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base al camino.

Por la dificultad que ofrecen a su ataque, las especificaciones generales de construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), clasifican a los materiales de terracerías como A, B y C; por el tratamiento que van a tener en la formación de los terraplenes, los clasifican en materiales compactables y no compactables.

Un suelo se clasifica como material A, cuando puede ser atacado con facilidad mediante pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad; además se considera como material A, poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 centímetros; como material B las piedras sueltas mayores de 7.5 y menores de 75.0 centímetros. Finalmente, el material C, es el que solamente puede ser atacado mediante explosivos requiriendo para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

El material se considera compactable cuando es posible controlar su compactación por algunas de las pruebas de laboratorio usuales en la técnica SCT en caso contrario se considera no compactable, generalmente producto de los cortes y excepcionalmente obtenido de los préstamos, se le aplica el tratamiento de bandeo al emplearse en la formación de los terraplenes, tratamiento que tiene por objeto lograr un mejor acomodo de los fragmentos reduciendo los vacíos u oquedades mediante el empleo de equipos de construcción adecuado. Dentro

de este grupo quedan incluidos los materiales clasificados como C, y aquellos cuya clasificación es B debida a la presencia de fragmentos medianos y grandes. Para el proyecto de la subrasante se deben conocer principalmente las propiedades de los materiales que intervendrá en la formación de las terracerías, los datos relativos a su clasificación para fines de presupuesto y el tratamiento a darles.

IV.1.6 TALUDES EN TERRAPLENES Y CORTES DE CAMINOS.

Para cualquier tipo de vía terrestre, los taludes de terraplén y el corte se deben proyectar de acuerdo con los materiales del terreno natural y los de relleno.

En cortes los taludes usuales son de 0 para roca firme. Para pizarras, lititas y calizas (material estratificado y consolidado) de 1/4:1 cuando presentan echados horizontales o bien que no pongan en peligro la estabilidad (geológicamente son echados en contra del camino). En tepetate, arcilla o rocas fisuradas de 1/2:1, incluso en arcilla 1:1

Los taludes de terraplenes se utilizan en general de 1.5:1, sin embargo cuando se forman con arena de médano o de playa, son convenientes los valores de 3:1 a 5:1, pues el agua de lluvia los erosiona con fuerza. En todos los casos, principalmente con materiales inertes, es necesario provocar el crecimiento de hierba para una mejor protección.

Los ingenieros especialistas en geotecnia presentan las recomendaciones de los taludes en cortes y terraplenes, casi siempre con base en su experiencia, sin embargo, si es preciso hacen estudios de mecánica de suelos con los resultados de pruebas triaxiales para conocer la resistencia al esfuerzo cortante y recomendar los taludes convenientes.

IV.1.7 USO DE LA APLICACIÓN DE CÓMPUTO (SOFTWARE) SISTEMA CARRETERO (SISCAR) PARA CÁLCULO DE TERRACERÍAS.

Para la elaboración del anteproyecto se contó con la aplicación de cómputo Sistema Carretero (SISCAR), desarrollado dentro de las instalaciones de la Dirección General de Carreteras Federales de la Secretaría de Comunicaciones y

Transportes (SCT). El programa de cómputo fue diseñado para el sistema operativo MS-DOS. Esta aplicación se puede acceder a través de la red de cómputo establecida en las instalaciones Dirección General de Carreteras Federales (DGCF) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). También se puede tener acceso a él en dos discos flexibles de 1.44 Mb para utilizar el programa en las instalaciones de las empresas que lo requieran.

Este procedimiento se inicia con la captura de las secciones transversales. En el caso del presente Anteproyecto las secciones se deducirán de la restitución fotogramétrica.

Posterior a la captura de los datos de geotecnia y del primer “tirado” de la rasante se codifican (también en formatos establecidos por la Dependencia) los datos que darán la posibilidad de procesarlo de manera primaria. En este primer proceso se puede observar en pantalla las secciones transversales del terreno contra el proyecto posibilitando el ajuste de la rasante. De manera conjunta con la graficación de la Ordenada de Curva Masa (OCM) se busca como primer objetivo la compensación económica de los materiales producto de los cortes con los de los terraplenes.

Es necesario modificar cuantas veces sea necesaria la información guardada en la base de datos del programa y de esta forma obtener las cantidades de obra del proyecto.

IV.1.7.1 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL CÁLCULO DE TERRACERÍAS.

Toda codificación debe estar sustentada para realizar los procesos y asegurar el resultado definitivo. Los datos requeridos por el programa, se agrupan de la siguiente manera:

- 1) Datos generales. Especifica la información descriptiva del tramo. Es necesario indicar el nombre del camino, el tramo a que pertenece, la alternativa (generalmente se indica allí si es una ampliación o camino nuevo, o bien, alguna característica), el nombre del proyectista o la empresa, el cadenamiento inicial y el final, el tipo de camino (A2, A4S, B, C,

D ó E), así como también el tipo de cuneta, que en la mayoría de los casos es definitiva.

- 2) Secciones transversales. Del reporte topográfico, correspondiente a secciones transversales se efectúa la captura. Sección por sección, siendo estas la base del estudio correspondiente para la realización del proyecto. Las secciones transversales se manejan a cada 20 m y se integran distancias variables de acuerdo a los detalles que sean importantes considerar, así como el de la planimetría que indica los aspectos que se tienen que cuidar dentro del proyecto.

Estas secciones se podrán visualizar en la pantalla, para así poder cotejar el proyecto con la sección transversal y poder delimitar los taludes que requiera, tanto de corte como de terraplén.

Aunque este seccionamiento transversal por lo general se levanta a 30 metros en ambos lados del eje de trazo, y que se suponen contenidas en un plano vertical normal al eje y definidas por puntos del seccionamiento con una variación lineal entre ellas.

- 3) Alineamiento vertical. De acuerdo con el tirado de la rasante en el perfil, se pueden deducir los puntos que conforman al alineamiento vertical. Estos puntos no son más que ubicaciones de PIV'S (Punto de Inflexión Vertical), que conjuntamente a la elevación que tengan respecto al terreno, la determinan. Así como el tener cuidado de no traslapar las longitudes de curva vertical.

Las longitudes de curva vertical, son las longitudes que describe la parábola en el eje vertical entre dos pendientes y que se determinan a través del cálculo " $L_c = K A$ ", en donde: L_c es la longitud de curva mínima, K un parámetro de la curva. " A " es la diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales, dadas en ciento por ciento.

Los datos de las sobre elevaciones y ampliaciones dependen de las condiciones que establece el alineamiento horizontal; puesto que de acuerdo al grado de curvatura, al tipo de curva (espiral o circular) y al tipo de camino al que pertenecen se efectúan los cálculos para obtenerlas.

Estos cálculos se obtienen del empleo de las fórmulas y de las tablas (para cada tipo de camino), que se encuentran dentro del libro 2 de las “Normas de Servicios Técnicos”, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Una vez calculados los elementos de la curva se llena el formato, que se captura y con ello se puede procesar la información. Información que es vital dentro de la observación del comportamiento de la sección en el camino y que sirve también para los cálculos que se requieren para el establecimiento de las obras de drenaje menor. Haciendo énfasis en la importancia de su adecuado estudio, ya que son parte fundamental dentro de las características físicas del camino.

- 4) Geometría se capturan los datos de la geometría de la sección; de tal manera que puedan definirse los anchos de las semi-coronas, que dependiendo de la ubicación del eje de proyecto y de la sección tipo a emplear designaran su conformación, siempre de manera simétrica.

En los caminos del tipo A4, el ancho de la corona es de 21 metros, por lo que serán de 10.5 metros por lado en la codificación del semi-ancho de corona. Para la cuneta por lo general es de 1 y su talud de 3, todo con una aproximación al centímetro en todos los espacios a usar en el formato.

- 5) Datos de terraplenes. Este formato contiene los datos que relacionan al proyecto con los taludes de terraplenes que requiere y con los datos iniciales para los diagramas de masas. Los cadenamientos serán designados por los cambios que se presentan en los taludes del terraplén, que se encuentran condicionados en base a la altura que presente la subrasante, siempre tomada respecto al eje del proyecto. En la mayoría de los casos se utilizan los taludes que se presentan en la tabla siguiente:

Las transiciones se dan entre las estaciones, por la relación de 0.5 en cada 20 m; siendo de tal manera que para un cambio de un talud de 3 a 2.5 en 20 m, de 3 a 1.7 en 60 m y de 2.5 a 1.7 en 40 m.

Para el otro concepto de la captura, los valores de las Ordenadas de la Curva Masa (OCM) se dan como inicio valores grandes, mayores a los

500,000, o bien para llevar una continuidad con el tramo anterior la última de las ordenadas producto del proceso empleado. Aunque también se pueden efectuar igualdades de ordenadas y estas se definen por las estaciones en donde se presenten los cambios que las motiven. Por lo regular, la primer ordenada es para los diagramas del terraplén y las otras dos son para los de las capas subyacente y subrasante, ya sea de manera unificada o por separado; aunque depende del tipo de ordenada que se requiera en el proceso y está basada en los tratamientos que recomiende el estudio geotécnico.

En este apartado, se indican los espesores de las capas de los materiales finos. A través del empleo de las observaciones dadas por el estudio de la geotecnia, de manera que en general, la capa de la subrasante tiene un espesor de 0.30 m, mientras que la de la subyacente varía, por los efectos de las condiciones de los terrenos, entre los 0.20 y los 0.50 m.

- 6) Espesores y tratamiento Se determinan por claves, siendo:
- a) CAJA. Dado que el material en el lugar no sirve en el empleo de ninguna de las capas se recurre al empleo de material procedente de un banco de préstamo.
 - b) EXACTECO. El material sirve, y este se excava, acamellona, tiende y se compacta, generalmente en materiales buenos para todas las capas.
 - c) CCC El material sirve, y se Compacta la Cama de los Cortes; esto es, el material que queda como la base después de un corte se compacta para sobre este dar el alojamiento a la(s) capas que le preceden.
 - d) SIN TRATAMIENTO. El material sirve y no tiene la necesidad de recibir ningún tipo de tratamiento; ya que por sus características puede dar el alojamiento a la(s) capas subsecuentes o bien directamente al pavimento.
 - e) Es importante señalar que hay que delimitar precisamente las claves de tratamiento, puesto que estas arrojan valores acordes a los requerimientos del camino y del tipo de terreno, y sus consecuencias se verán reflejadas en las cantidades de obra respectivas, siendo estas las

empleadas dentro de la construcción. Por lo que si presentan variaciones existirán incongruencias muy notorias.

- 7) Especificaciones para cortes. Este formato es el más importante de todos, pues es aquí donde se plantean las características del terreno, y es también, donde el proyecto encuentra el máximo sustento. En primer lugar, se determinan los cadenamientos donde se alojan los cambios de la geotecnia que están definidos dentro del estudio, sin embargo, es bastante recomendable cotejar los contactos en el perfil.

Como primer consideración de los espesores se enmarcan los de los despalmes, subsecuentemente el segundo estrato (ver Figura IV.2 “Sección de construcción de un corte en tangente”), que bien puede ser definitiva (por ser de carácter indefinido, pero que se pone como espesor de 99.99), o bien con un espesor plenamente definido y finalmente el tercer estrato, que es considerado como indefinido.

Después de los espesores, se marca la clasificación que contiene el material existente, esto en base al porcentaje que tiene en cuanto a su facilidad de ataque en la excavación, denotada por tipo A, B o C. Por ejemplo: A = 80 %, B = 20 % y C = 0 %.

El talud de corte, es el concepto siguiente, que define la inclinación con la que se sustenta el material por sí mismo después de una excavación. Es una inclinación que le permite al material comportarse sin variaciones o deslaves; posteriormente se captura el Coeficiente de Variación Volumétrica (CVV), que es el coeficiente de abundamiento que tiene el material y que representa la capacidad de expansión que un material posee al ser extraído de su confinamiento natural. Para finalizar se tienen dos apartados más, el uso del escombro y las claves de la Ordenada de Curva Masa (OCM), que son cuatro y determinan la conformación de la Ordenada de Curva Masa (OCM) resultante, siendo de la forma siguiente:

- a) La clave 1, proporciona 1 solo diagrama de masas que contiene de manera compensada la suma de las tres capas confortantes de las terracerías con el volumen del corte.

- b) La clave 2 provee dos diagramas, el primero compensa de manera longitudinal los volúmenes sumados del cuerpo de terraplén y la capa subyacente, la segunda pertenece a la capa de la subrasante, para compensarse de material proveniente de un préstamo de banco.
 - c) La clave 3 también maneja dos diagramas, el primero contiene la compensación longitudinal del cuerpo de terraplén y el segundo es para la suma de los volúmenes de las capas subyacente y subrasante, para su compensación con material procedente de un banco de préstamo.
 - d) La clave 4 genera tres diagramas, uno para cada porción de las capas integrantes del terraplén, siendo la primera compensando el cuerpo de terraplén con los volúmenes emanantes de los cortes y los otros dos diagramas para su conformación por préstamos de banco.
- 8) Muros. Existen casos en que los taludes de los terraplenes no pueden considerarse como lo genera el proyecto, debido a que su prolongación por una ladera se puede volver indefinida o porque su pateo afecta algunas construcciones o quizás interrumpa el libre fluir de un cauce; cualquiera de las causas que generen un problema por el pateo del terraplén, hace que se requiera de un confinamiento que permita la conformación de las terracerías de manera adecuada y para ello se considera el uso de muros de contención.
- Así el programa posee un apartado que considera este medio. Su codificación radica en la ubicación de la distancia (de manera transversal, y sea a la derecha o a la izquierda), en la estación en que se vaya a alojar el muro, debido a que la altura la designa la rasante que predomine en esa estación. Como regla general, se sustenta el muro 0.50 m fuera del hombro.
- 9) Supresión de volúmenes. La supresión es una característica fundamental de la correcta codificación del programa, esto es debido a que en muchos casos, se necesita no considerar en algunos tramos los volúmenes, por la existencia de estructuras o entronques.

La supresión de los volúmenes da la posibilidad de ignorar los volúmenes producidos por los cortes o por los terraplenes y es muy empleada. Su uso se da en la ubicación de estructuras (puentes, viaductos o pasos superiores) o entronques.

Se consideran en la ubicación del cadenamiento inicial y final. Para los entronques a nivel se define automáticamente una distancia de 300 metros en forma simétrica de la estación donde se ubique mientras que para los entronques a desnivel es de 500 metros en forma simétrica a la estación donde se ubique. Es decir que un entronque a nivel posee una distancia de supresión de 600 metros y uno a desnivel de 1,000 metros.

En el caso de puentes se establecen preferentemente las estaciones de los caballetes considerando 40 metros más para los accesos al puente para ambos límites. En el caso de no tener aún los datos definitivos del puente se considera la longitud de la estructura más 80 metros por los accesos. Esta consideración es simétrica desde la estación donde se vaya a alojar la estructura.

- 10) Bermas. Dependiendo de las recomendaciones proporcionadas por la exploración geotécnica en relación a los cortes se pueden encontrar casos en los que se tengan que utilizar bermas. Las bermas son “descansos” en el tendido de un corte, es decir, como en algunos casos el terreno natural no permite taludes de corte largo se delinean cambios transversales a determinada altura que se parecen a escalones para después continuar con el talud de corte.

En la codificación se marca el cadenamiento donde se va a proyectar la berma el ancho de escalón para cada lado así como la altura de la misma. Finalmente se designa la pendiente, para capturar de manera fiel la forma de la berma se tienen tres columnas que permiten su establecimiento, pero debe de recordar que este caso solo es por recomendación del estudio geotécnico.

- 11) Documentación. Este es el último de concepto en la captura de un proyecto de terracería. Aquí se puede explicar las características así como

observaciones. Generalmente se designan como “Comentarios al proyecto” y anota algunas consideraciones, como por ejemplo los desplazamientos que contenga o supresiones o situaciones semejantes.

- 12) Zonas de precios del tabulador. La captura de información a través de los formatos debe hacerse tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:
- a) Respetar los espacios asignados para cada uno de los campos.
 - b) En todas las formas el primer cadenamiento a codificar debe corresponder al cadenamiento de la primera sección transversal a procesar.
 - c) El último cadenamiento especificado en todas las hojas de codificación debe de ser mayor a la última sección transversal a procesar (generalmente se le adicionan 20 metros), no pudiendo en ningún caso terminar con cadenamiento menor o igual.
 - d) Respetar siempre la posición del número decimal.
 - e) Es importante tener bien definida la sección transversal del terreno donde se presenten cambios correspondientes a los formatos antes mencionados excepto los datos generales, alineamiento vertical y las secciones transversales.

Como nota adicional, todos los cadenamientos se manejan en metros, con aproximación al centímetro e inclusive para los Puntos de Inflexión Vertical (PIV), a excepción de las secciones transversales que permiten alojar la clave en el apartado correspondiente al milésimo.

IV.1.7.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO.

El programa de cómputo proporciona los resultados finales en la forma de listados los cuales deben interpretarse correctamente debido a que estos especifican la forma que debe de construirse el camino a nivel de subrasante.

A continuación se presentan los listados generados como resultado del cálculo de programa de cómputo. De estos listados los más importantes de acuerdo al criterio constructivo son el Alineamiento vertical, Volúmenes de construcción y Ordenada

de la Curva Masa debido a que esta información define el proyecto de construcción.

- 1) Alineamiento vertical. En él se describen los datos generales del camino. Contiene la identificación del mismo integrada por el nombre y tramo al que pertenece.

Usualmente un camino se divide en tramos debido a que en su recorrido pasa por lugares predestinados y dan lugar a sub-enlaces que lo conforman. En los apartados del sub-tramo y alternativa generalmente se manifiesta el tipo del proyecto conjuntamente con el origen del mismo. En ella se puede observar, para cada estación la elevación del terreno natural (EL-TN) y la de la subrasante (EL-SB), la altura que hay entre ambas elevaciones (H) y los puntos que configuran a la sección (A, B, C, D y E) y la forma de la sección (FRM SEC).

- 2) Volúmenes de construcción. Es un listado que contiene información por estación (a cada 20 metros regularmente) de los volúmenes proporcionados por el despalme (para el corte como y el terraplén) los de los cortes en sus dos estratos y los de los producidos por las cajas. Subsecuentemente se reportan la Compactación del Terreno Natural (CTN) y las Compactaciones de las Camas de los Cortes (CCC). Continúa con la conformación del cuerpo de terraplén y las capas subyacente y subrasante. Finalmente el relleno de las cajas y los que se encuentran involucrados en la excavación, acomodo, tendido y compactado, ambos para sus compactaciones al 95 y 100 por ciento. Hay que mencionar adicionalmente, que se dan totales parciales para cada kilómetro y al final del listado el total general.
- 3) Ordenada de Curva Masa (OCM). Se encuentra dividida por estaciones, posteriormente se dan los volúmenes geométricos (VLM-G/CR-E2), primero del estrato No. 2 que se ve afectado por la multiplicación del coeficiente de abundamiento (COEF/ABND) que da la tercer columna, la del volumen abundado del estrato 2 (VLM-A/CR-E2). Lo mismo para el estrato número 3, las columnas siguientes están conformadas por los cortes compensados

y los volúmenes de los terraplenes para las compactaciones al 90, 95 y 100 por ciento; finalmente la compensación de los terraplenes.

Las últimas cuatro columnas, son los valores de la ordenada de curva masa, en cuatro listados, que dependerán de la codificación. Por lo regular se emplean las dos primeras, para el cuerpo de terraplén la primera y la segunda para los finos (esto es cuando se utiliza la clave de la Ordenada de la Curva Masa número 3, en la codificación, la última solo da valores de los generados por los desperdicios de los cortes; debidos a terrenos que no pueden emplearse, de acuerdo con el reporte de la geotecnia.

- 4) Datos geométricos para el proceso.
- 5) Secciones transversales del terreno.
- 6) Geometría del afinamiento de los hombros.
- 7) Traslado de los ejes.
- 8) Cálculo de Alineamiento Horizontal.

IV.1.7.3 CÁLCULO DE CASOS ESPECIALES.

En el caso del pedraplén, para dar una explicación de cómo se desarrolla este caso conviene definir el término. Según el Diccionario de Ingeniería de Caminos, del autor Ignacio Murilla Abad, un pedraplén se define como:

Un relleno formado por extensión y compactación de materiales pétreos procedentes de excavaciones en roca, en zonas de extensión tal que permitan la utilización de maquinaria de elevado rendimiento. Comprende cuatro zonas fundamentales: transición, núcleo, cimienta y zonas especiales.

El pedraplén es un conjunto de rocas resistente a los aparatos de compactación con escaso contenido de finos y una gran cantidad de huecos apreciables a simple vista. Los tamaños más bajos empleados son los 30 ó 40 centímetros.

Para los fines de este trabajo se puede definir como un cuerpo formado por material pétreo que debe de cumplir con las especificaciones necesarias del tamaño de la roca para su conformación, especificaciones que serán enmarcadas por las recomendaciones del estudio geotécnico.

Generalmente su empleo es en esteros buscando proteger las terracerías de la erosión que podría ocasionar el contacto con el agua y dar un sustento rígido. El pedraplén tiene la desventaja de conformarse con piedra y en muchas ocasiones implica largos acarreos por no existir bancos de préstamos cercanos además de ser un procedimiento caro.

Dentro del uso del programa de cómputo para el proyecto del pedraplén suelen efectuarse dos listados o dos procesos distintos debido a que es necesario obtenerse por separado los volúmenes de las terracerías a las del pedraplén. Los procedimientos para llevarlo a cabo son empleados con diferentes criterios. Algunos obtienen mediante el dibujo de las secciones y correspondiente cálculo del área, el volumen del pedraplén, para así después efectuar una resta de los volúmenes del listado y lograr su separación.

IV.1.8 ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL.

El anteproyecto de terracerías para la autopista Toluca–Naucalpan se presenta en los siete planos mostrados en el Anexo “A”, “Planos de trazo vertical y horizontal”. En ellos se encuentra el Anteproyecto de alineamiento vertical y horizontal de acuerdo con la metodología indicada en los puntos anteriores. Cada plano representa un tramo de cinco kilómetros cada uno. En estos mismos planos se presentan las secciones de toda la ruta elegida para el Anteproyecto de la autopista Toluca–Naucalpan.

En estos planos se encuentra representada la localización de las estructuras requeridas en el anteproyecto de la Autopista, como puentes, pasos vehiculares inferior y superior, túneles así como obras de drenaje menor.

El Anexo A, “Planos de trazo vertical y horizontal” presenta el Alineamiento Horizontal y Vertical de las secciones: del km 0+325–5+000; km 5+000–10+000; km 10+000–15+000; km 15+000–20+000; km 20+000–25+000; km 25+000–30+000; km 30+000–33+370, mostrando las cantidades de obra que se calcularon con el programa de cómputo “SISTEMA CARRETERO” (SISCAR). Estos resultados también se presentan en las Tablas IV.3 “Cantidades de obra en el tramo 5+000–10+000” a IV.8 “Cantidades de obra en el tramo 30+000–

33+370.364". Para su cálculo se tomó en cuenta la curva masa que a continuación se describe.

IV.1.9 DIAGRAMA DE CURVA MASA.

La curva masa busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

Las ordenadas de la curva resultan de sumar algebraicamente a una cota arbitraria inicial el valor del volumen de un corte con signo positivo y el valor del terraplén con signo negativo; como ábsides se toma el mismo cadenamiento utilizado en el perfil.

Los volúmenes se corrigen aplicando un coeficiente de abundamiento a los cortes o aplicando un coeficiente de reducción para el terraplén.

El procedimiento para el proyecto de la curva masa es como sigue:

- 1) Proyectar la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
- 2) Determinar en cada estación o en los puntos que lo ameriten los espesores de corte o terraplén.
- 3) Dibujar las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).
- 4) Dibujar la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material sobre la sección topográfica correspondiente quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
- 5) Calcular las áreas de las secciones transversales del camino.
- 6) Calcular los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes según el tipo de material.
- 7) Dibujar la curva con los valores anteriores.

IV.1.9.1 CURVA MASA.

Se dibuja la curva masa con las ordenadas en el sentido vertical y las ábsides en el sentido horizontal utilizando el mismo dibujo del perfil.

Cuando esta dibujada la curva se traza la compensadora que es una línea

horizontal que corta la curva en varios puntos.

Podrán dibujarse diferentes alternativas de línea compensadora para mejorar los movimientos, teniendo en cuenta que se compensan más los volúmenes cuando la misma línea compensadora corta más veces la curva pero algunas veces el compensar demasiado los volúmenes provoca acarreos muy largos que resultan más costosos que otras alternativas.

1) DETERMINACIÓN DEL DESPERDICIO:

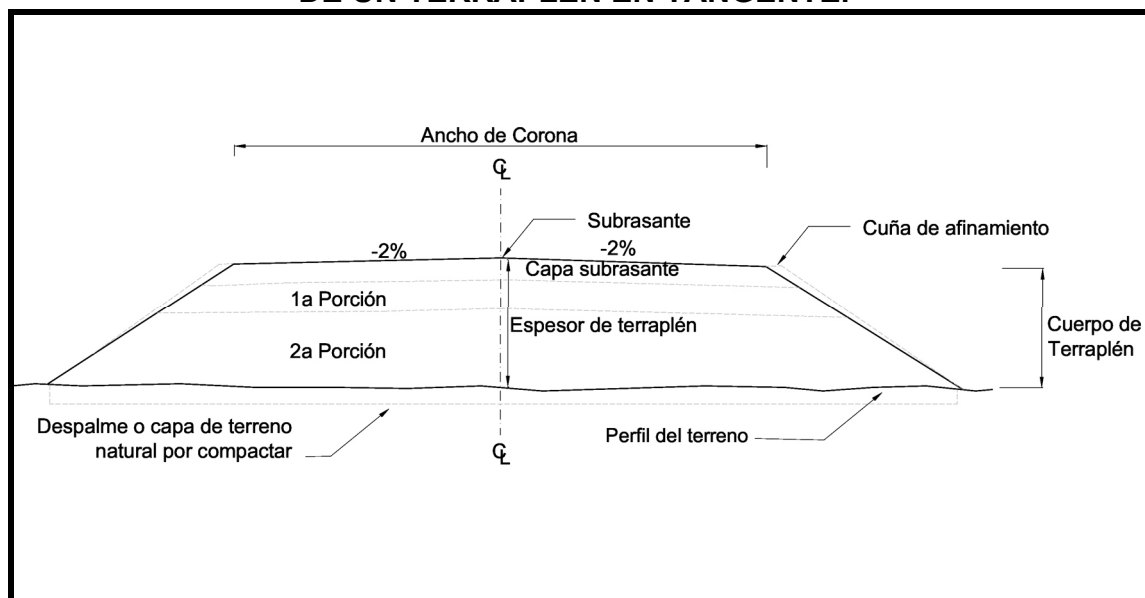
Cuando la línea compensadora no se puede continuar y existe la necesidad de iniciar otra hay una diferencia de ordenadas.

Si la curva masa se presenta en el sentido del cadenamiento en forma ascendente la diferencia indicara el volumen de material que tiene que desperdiciarse lateralmente al momento de la construcción.

Cuando la línea compensadora no se puede continuar y existe la necesidad de iniciar otra hay una diferencia de ordenadas.

Si la curva masa se presenta en el sentido del cadenamiento en forma ascendente la diferencia indicara el volumen de material que tiene que desperdiciarse lateralmente al momento de la construcción.

**FIGURA IV.1 “SECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN
DE UN TERRAPLÉN EN TANGENTE.”**



Las cantidades de obra que se presentan en las Tablas IV.3 “Cantidades de obra en el tramo 0+325–5+000” a la Tabla IV.10 “Resumen de cantidades de obra” son el resultado el cálculo de los movimientos de terracerías del Proyecto de la Subrasante de la Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan, cuyos conceptos que integran Tablas IV.3 a IV.9 se describen a continuación.

2) DESPALME.

Es la remoción de la capa superficial del terreno natural que, por sus características no es adecuada para la construcción; ya sea que se trate de zonas de cortes, de áreas destinadas para el desplante de terraplenes o de zonas de préstamo. Ver Figuras IV.1 “Sección de construcción de un terraplén en tangente” y IV.2 “Sección de construcción de un corte en tangente”.

3) CORTES Y EXCAVACIONES.

Son los volúmenes de material que se extraen en los cortes hasta el nivel de la caja o capa del terreno natural por compactar que se proyecta abajo de la Subrasante. Ver Figura IV.2 “Sección de construcción de un corte en tangente”.

4) CAJA.

Es la remoción de terreno natural sobre el que se desplanta un terraplén o al que queda abajo de la sub-corona o de la capa subrasante en un corte. Ver Figura IV.2. “Sección de construcción de un corte en tangente”.

5) ESCARIFICACION.

Las escaras son cicatrices producidas por cortes superficiales o profundos en suelo.

6) TERRAPLÉN.

Las dimensiones de los escalones de liga se fijan de acuerdo con las características de los materiales y del equipo de construcción. Ver Figuras IV.3 “Escalón de liga 1” y IV.4 “Escalón de liga con terreno natural”.

7) MATERIAL "A".

Un suelo se clasifica como Material “A”, cuando puede ser atacado con facilidad mediante pico, pala de mano escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad; además se consideran como Material “A”, los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 centímetros.

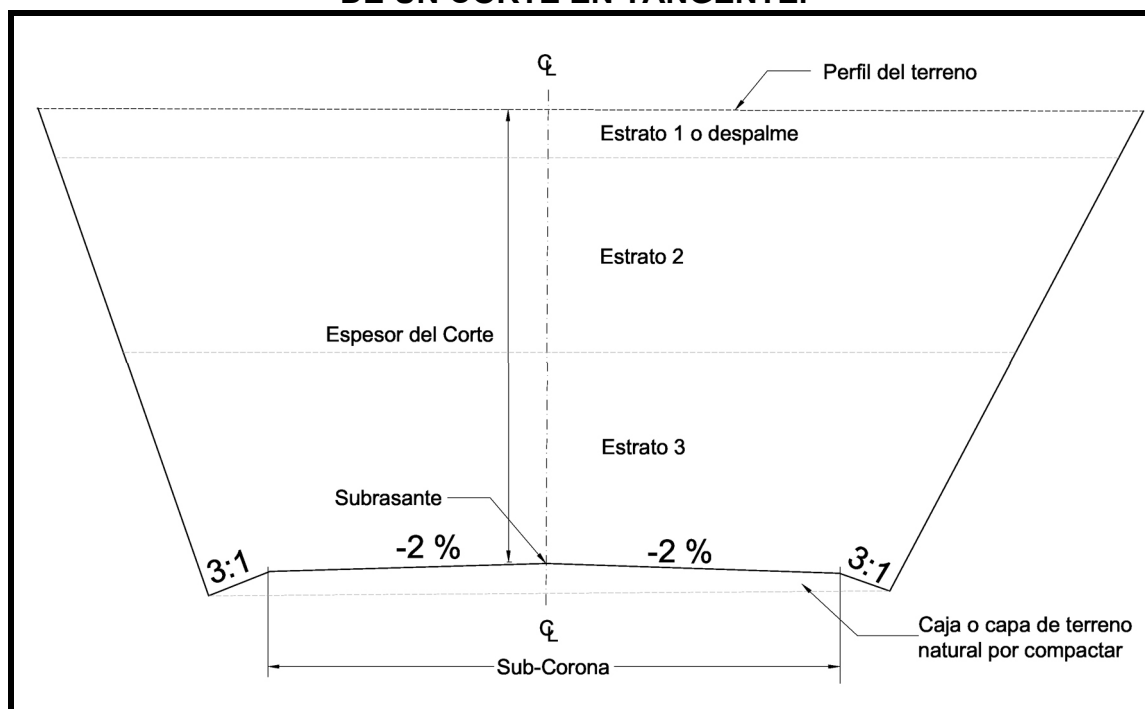
8) MATERIAL "B".

Un suelo se clasifica como Material “B” el que requiere ser atacado mediante arado o explosivos ligeros considerándose además como Material “B” las rocas sueltas mayores de 7.5 y menores de 75 centímetros.

9) MATERIAL "C".

Un suelo se clasifica como Material “C” el que solamente puede ser atacado mediante explosivos requiriendo para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

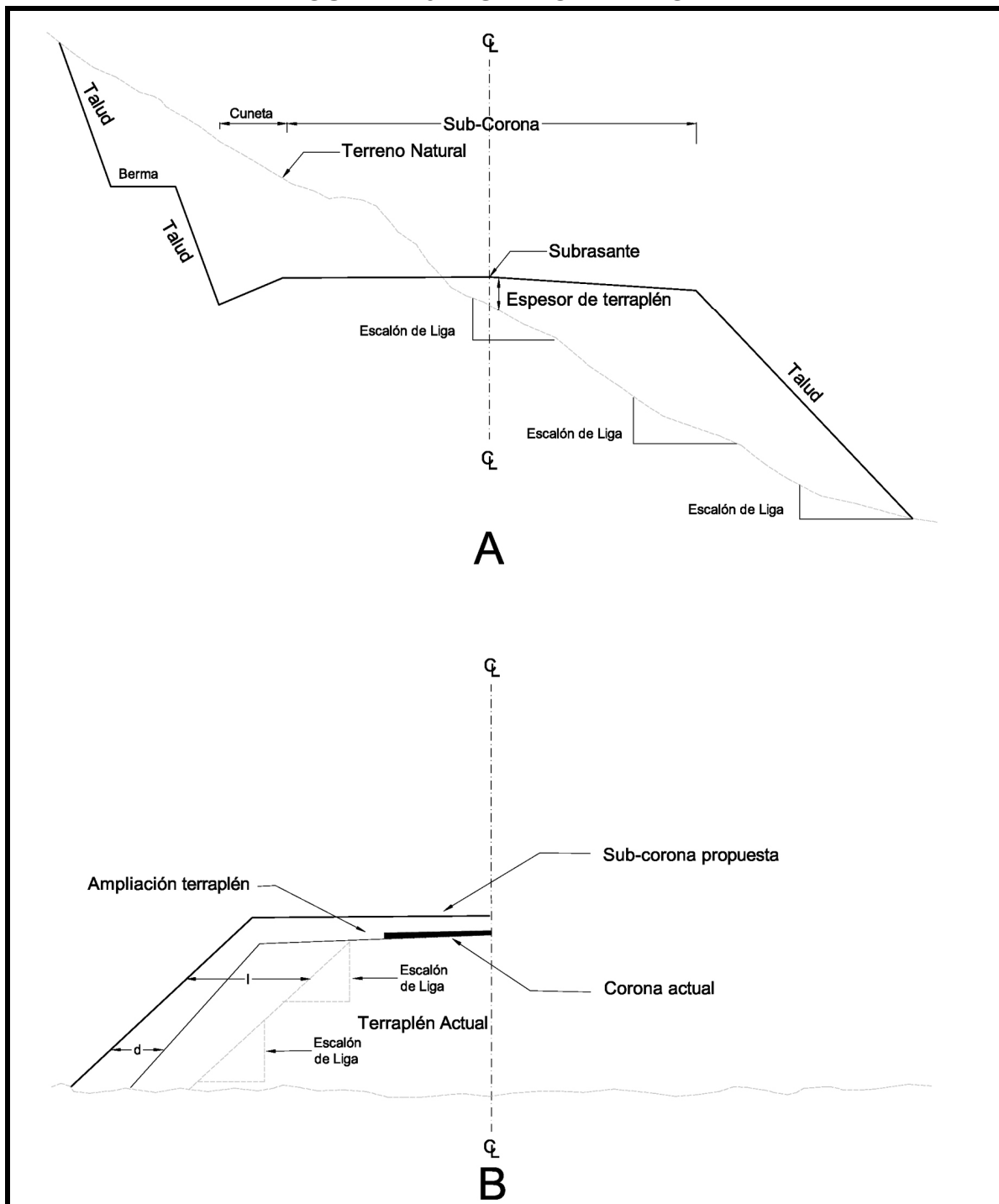
**FIGURA IV.2 “SECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN
DE UN CORTE EN TANGENTE.”**



10) ESCALÓN DE LIGA.

Es la forma en el área de desplante de un terraplén, cuando la pendiente transversal del terreno es poco menor que la inclinación del talud 1.5:1, a fin de obtener una liga adecuada entre ellos y evitar un deslizamiento del

FIGURA IV.3 “ESCALÓN DE LIGA”

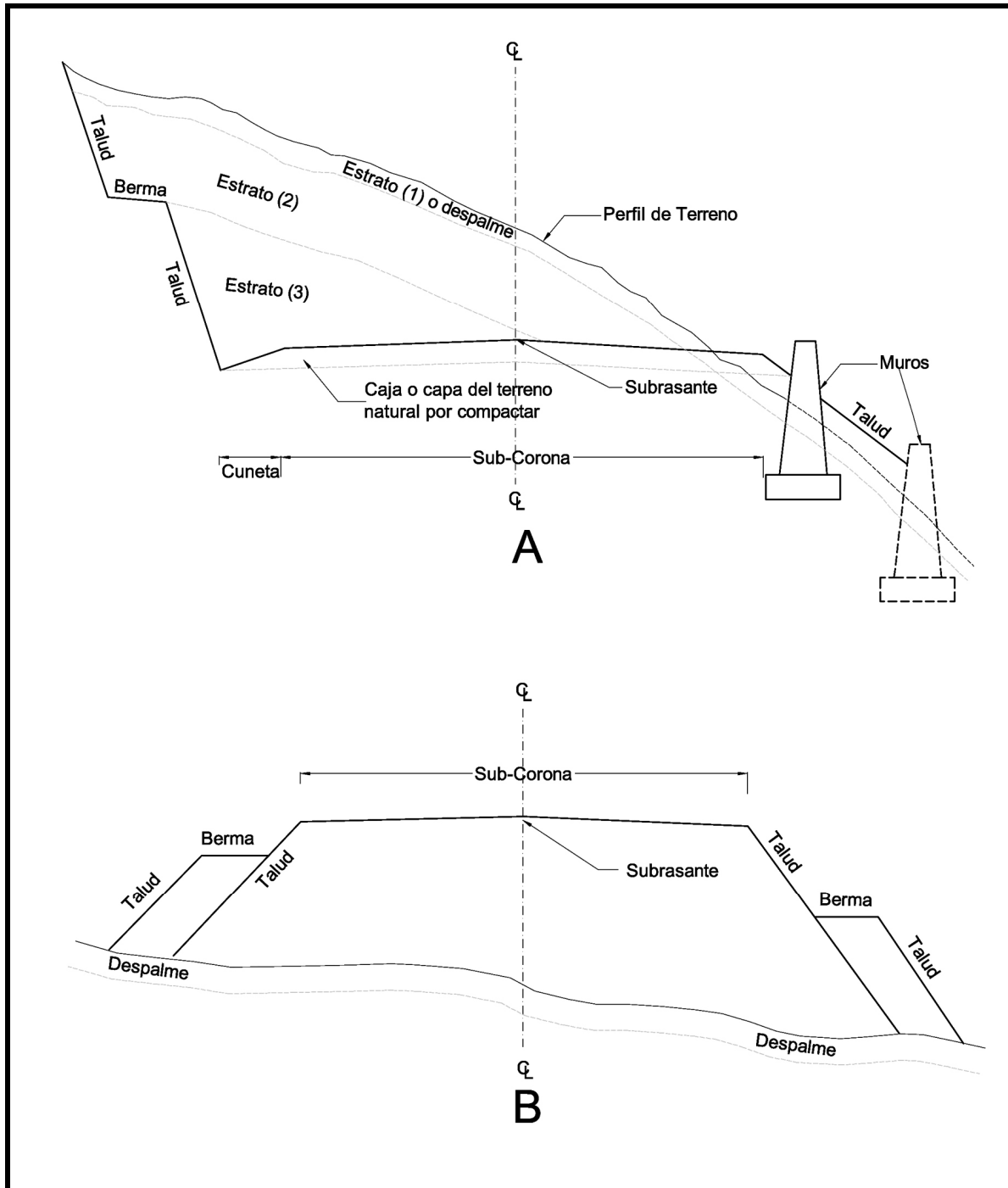


11) COMPACTACIÓN DEL TERRENO NATURAL.

Es la que se da al material del terreno sobre el que se desplanta un terraplén o al que queda abajo de la sub-corona o de la capa subrasante en

un corte, para proporcionarle a ese material el peso volumétrico requerido.

FIGURA IV.4 “ESCALÓN DE LIGA CON TERRENO NATURAL”



Ver Figuras IV.1 “Sección de construcción de un terraplén en tangente” y IV.2 “Sección de construcción de un corte en tangente”.

12)CAMA DE LOS CORTES.

Es la compactación de terreno natural sobre el que se desplanta un terraplén o al que queda abajo de la sub-corona o de la capa subrasante en un corte. Ver Figura IV.2 “Sección de construcción de un corte en tangente”.

13)CUERPO DEL TERRAPLÉN.

Se llama así a la parte del terraplén que queda debajo de la sub-corona. Está formado por una o más porciones según sea la elevación del terraplén, las características de los materiales y su tratamiento. Ver Figura IV.1 “Sección de construcción de un terraplén en tangente”.

14)CAPA SUBRASANTE.

Es la porción subyacente a la sub-corona, tanto en corte como en terraplén. Su espesor es comúnmente de 30 cm y está formada por suelos seleccionados para soportar las cargas que le transmite el pavimento. Ver Figura IV.1 “Sección de construcción de un terraplén en tangente”.

15)CUÑA DE AFINAMIENTO.

Es el aumento lateral que se le da a un talud de terraplén, para lograr la compactación debida en las partes contiguas a él. Es de forma triangular, comúnmente de 20 cm de ancho en su parte superior al nivel del hombro de la sub-corona, y termina en la línea de ceros del talud o en el lecho superior de la porción inferior, si ésta es de material no compactable. Esta cuña debe recortarse en el afinamiento final. Ver Figura IV.1 “Sección de construcción de un terraplén en tangente”.

16)CAJA EN CORTE.

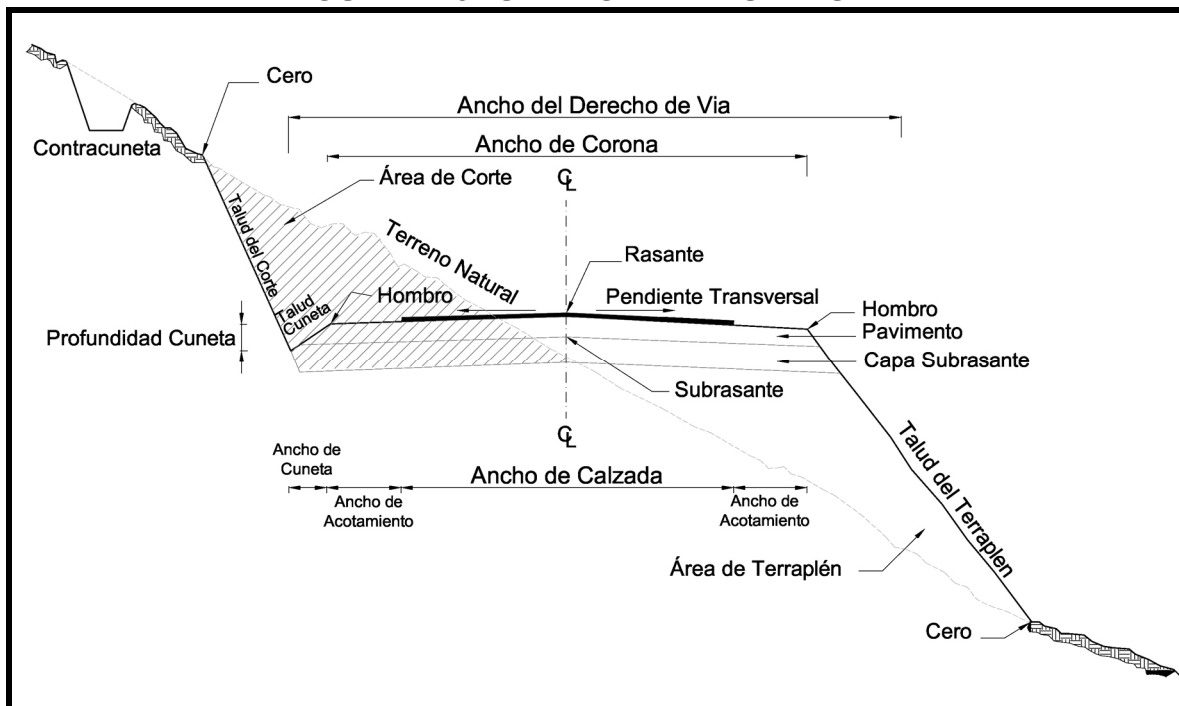
Es la excavación del material subyacente a la sub-corona, inadecuado para formar la capa subrasante. Este material debe ser substituido por otro de características apropiadas. Ver Figura IV.2 “Sección de construcción de un corte en tangente”.

IV.1.10 SECCIONES CONSTRUCTIVAS.

La sección transversal se define por la corona, las cunetas, los taludes, las contracunetas, las partes complementarias y el terreno comprendido dentro del derecho de vía, como se muestra en la Figura IV.5 “Sección transversal”.

A continuación se anexa el plano, "Secciones constructivas del km 3+800 al km 4+220 del Anteproyecto de la Autopista A4 Toluca–Naucalpan". Por uso común, las secciones constructivas se proyectan y se dibujan a cada 20 metros y los planos se dibujan en formatos mayores a 1.50 metros de largo con el objetivo de presentar toda la información requerida en un tamaño legible. Sin embargo este formato es poco manejable en un formato de encuadernación de tesis, por lo que esta impresión se reproduce como ejemplo ilustrativo. En la Figura IV.6 “Sección transversal en terraplén”, se observa un ejemplo de sección transversal de un terraplén.

FIGURA IV.5 “SECCIÓN TRANSVERSAL”



Los elementos que definen el ancho del camino son los siguientes:

- 1) **Corona.** La corona está definida por la calzada y los acotamientos con su pendiente transversal, y en su caso, la faja separadora central.

En tangentes del alineamiento horizontal el ancho de corona para la Autopista A4, que se especifica en la siguiente Tabla IV.2 "Anchos de corona de la autopista A4" que continuación se muestra.

TABLA IV.2 "ANCHO DE LA CORONA DE LA AUTOPISTA A4"

Tipo de carretera	ANCHOS DE				
	Corona (m)	Calzada (m)	Acotamientos (m)		Faja separadora central (m)
A 4	21 mínimo	2 x 7	Exterior 3	Interior 0.5	1 mínimo

Dados los datos anteriores, podemos deducir las siguientes medidas según el tipo de camino "A4".

Tipo de carretera "A4"

Acotamientos = 2.50 m

Corona = 21 m

Faja separadora central = 1 m

Calzada = 2 x 7 m

En curvas y transiciones de alineamiento horizontal el ancho de la corona deberá ser la suma de los anchos de la calzada, de los acotamientos y en su caso de la faja separadora central.

2) Calzada. El ancho de la calzada deberá ser:

En tangente del alineamiento horizontal, el especificado en la tabla anterior "Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central".

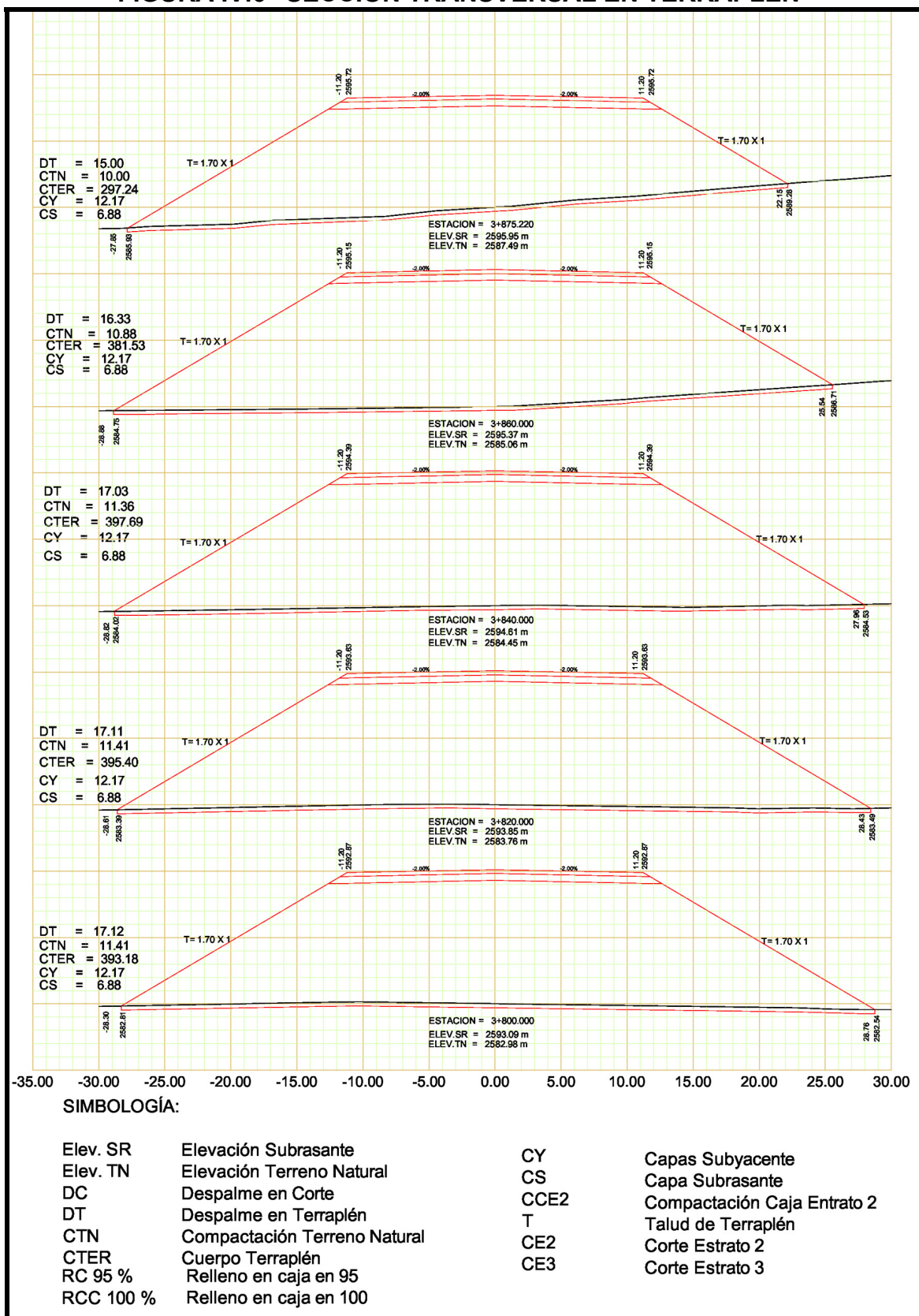
3) Acotamientos. El ancho de los acotamientos deberá ser para cada tipo de carretera y tipo de terreno, según se indica en la tabla "Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central".

4)

5) Pendiente transversal. En tangentes de alineamiento horizontal el bombeo de la corona deberá ser de menos dos por ciento en carreteras tipo A4.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

FIGURA IV.6 “SECCIÓN TRANSVERSAL EN TERRAPLÉN”



IV.1.11 CANTIDADES DE OBRA.

Las cantidades de obra de las terracerías del anteproyecto de la autopista Toluca–Naucalpan están determinadas por las secciones presentadas en los planos anexos indicados en la sección anterior (Alineamiento Horizontal y Vertical).

TABLA IV.3 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 0+325–5+000”

AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN					
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN					
DEL KM.: 0+325.00 AL 5+000.00					
ORIGEN: TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO					
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	6,477 m³
				EN TERRAPLEN	37,660 m³
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	1,41,762 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	1119 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			MATERIAL "A" 56,954 m³	TOTAL	142,881 m³
		MATERIAL "B" 85,395 m³			
		MATERIAL "C" 532 m³			
		PRÉSTAMO	DEL BANCO 0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DE LA FAJA DE DESPALME TOTAL m	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIÓN	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	23,184 m³
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	7,079 m³
				A 100 %	0 m³
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³
				A 100 %	m³
		DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³	
		FORMACION	DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³
				A 90 %	160,585 m³
				A 95 %	55,031 m³
				A 100 %	30,848 m³
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES	A 95 %	0 m³
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS	A 95 %	661 m³
			EN CORTES	A 100 %	393 m³
			ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³
		TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	4,077 m³	

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

TABLA IV.4 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 5+000–10+000”

CARRETERA: TOLUCA – NAUCALPAN					
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN					
DEL KM.: 5+000.00 AL 10+000.00					
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO					
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	32,525 m³
				EN TERRAPLEN	16,531 m³
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	813,817 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	644 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIADO	m³
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIADO	m³
		MATERIAL "A" 126,236 m³	TOTAL	814,461 m³	
		MATERIAL "B" 569,766 m³			
		MATERIAL "C" 118,459 m³			
		PRÉSTAMO	DEL BANCO 0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO m³		
			LATERALES DENTRO DE LA FAJA DE DESPALME TOTAL	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	11,491 m³
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	4,042 m³
				A 100 %	0 m³
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³
				A 100 %	m³
			DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³
			FORMACIÓN	DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO
		CUÑA DE AFINAMIENTO		A 90 %	366,349 m³
				A 95 %	14,154 m³
				A 100 %	8,119 m³
		DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO COMPACTADO.		A 95 %	0 m³
				A 100 %	m³
		DEL RELLENO DE LAS CAJAS		A 95 %	35,108 m³
		EN CORTES		A 100 %	21,402 m³
		ESCARIFICADO, ACAMELLONADO		A 95 %	0 m³
		TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	2,516 m³	

TABLA IV.5 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 10+000–15+000”

AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN					
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN					
DEL KM.: 10+000.00 AL 15+000.00					
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO					
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	24,844 m³
				EN TERRAPLEN	32,179 m³
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	834,241 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	1,481 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIADO	m³
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIADO	m³
			MATERIAL "A" 0 m³	TOTAL	835,722 m³
			MATERIAL "B" 313,544 m³		
			MATERIAL "C" 522,178 m³		
		PRÉSTAMO	DEL BANCO 0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO m³		
			LATERALES DENTRO m		m³
			DE LA FAJA DE m		m³
			DESPALME TOTAL m³	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	23,941 m³
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	m³
				A 100 %	0 m³
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³
				A 100 %	m³
		FORMACIÓN	DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³
			DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³
				A 90 %	625,227 m³
			CUÑA DE AFINAMIENTO	A 95 %	26,608 m³
				A 100 %	15,177 m³
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES	A 95 %	0 m³
			CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO COMPACTADO	A 100 %	m³
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS	A 95 %	29,682 m³
			EN CORTES	A 100 %	18,152 m³
		ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³	
		TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	0 m³	

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

TABLA IV.6 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 15+000–20+000”

AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN						
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN						
DEL KM.: 15+000.00 AL 20+000.00						
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO						
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	30,153 m³	
				EN TERRAPLEN	19,902 m³	
			CORTES Y EXCAVACIONES	VOL. APROVECHADO	1,181,975 m³	
			ADICIONALES	VOL. DESPERDICiado	0 m³	
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	1,265 m³	
				VOL. DESPERDICiado	0 m³	
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	m³	
				VOL. DESPERDICiado	m³	
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³	
				VOL. DESPERDICiado	m³	
		MATERIAL "A"	0 m³	TOTAL	1,183,240 m³	
		MATERIAL "B"	389,202 m³			
		MATERIAL "C"	794,038 m³			
		PRÉSTAMO	DEL BANCO	0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO	m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO	m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO	m³		
			LATERALES DENTRO	m		m³
			DE LA FAJA DE	m		m³
			DESPALME TOTAL	m³	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	13,510 m³	
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³	
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	m³	
				A 100 %	0 m³	
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³	
				A 100 %	m³	
		FORMACIÓN	DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³	
			DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³	
			CUÑA DE AFINAMIENTO	A 90 %	369,148 m³	
				A 95 %	18,767 m³	
				A 100 %	10,688 m³	
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES	A 95 %	0 m³	
			CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO	A 100 %	m³	
			COMPACTADO			
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS	A 95 %	35,670 m³	
			EN CORTES	A 100 %	21,808 m³	
		ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³		
		TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	0 m³		

TABLA IV.7 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 20+000–25+000”

AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN						
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN						
DEL KM.: 20+000.00 AL 25+000.00						
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO						
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	26,460 m³	
				EN TERRAPLEN	22,409 m³	
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	624,467 m³	
				VOL. DESPERDICIAO	0 m³	
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	2,100 m³	
				VOL. DESPERDICIAO	0 m³	
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	m³	
				VOL. DESPERDICIAO	m³	
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³	
				VOL. DESPERDICIAO	m³	
		PRÉSTAMO	MATERIAL "A"	0 m³	TOTAL	626,567 m³
			MATERIAL "B"	186,292 m³		
			MATERIAL "C"	440,275 m³		
			DEL BANCO	0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO	m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO	m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO	m³		
		LATERALES DENTRO	m		m³	
		DE LA FAJA DE	m		m³	
		DESPALME TOTAL	m³	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³	
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 90 %	15,709 m³	
				A 95 %	m³	
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	m³	
				A 100 %	0 m³	
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³	
				A 100 %	m³	
		FORMACIÓN	DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³	
			DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³	
			CUÑA DE AFINAMIENTO	A 90 %	492,454 m³	
				A 95 %	20,221 m³	
				A 100 %	11,437 m³	
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO COMPACTADO	A 95 %	0 m³	
				A 100 %	m³	
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS EN CORTES	A 95 %	35,843 m³	
				A 100 %	21,893 m³	
			ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³	
			TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	0 m³	

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

TABLA IV.8 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 25+000–30+000”

AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN						
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN						
DEL KM.: 25+000.00 AL 30+000.00						
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO						
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	19,572 m³	
				EN TERRAPLEN	40,038 m³	
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	713,507 m³	
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³	
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	1,331 m³	
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³	
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	m³	
				VOL. DESPERDICIADO	m³	
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³	
				VOL. DESPERDICIADO	m³	
		MATERIAL "A"	0 m³	TOTAL	714,838 m³	
		MATERIAL "B"	218,973 m³			
		MATERIAL "C"	495,865 m³			
		PRÉSTAMO	DEL BANCO	0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO	m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO	m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO	m³		
			LATERALES DENTRO	m		m³
			DE LA FAJA DE	m		m³
			DESPALME TOTAL	m³	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	30,639 m³	
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³	
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	0 m³	
				A 100 %	0 m³	
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³	
				A 100 %	m³	
		FORMACIÓN	DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³	
			DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³	
			CUÑA DE AFINAMIENTO	A 90 %	1,138,982 m³	
				A 95 %	28,507 m³	
				A 100 %	16,183 m³	
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO COMPACTADO	A 95 %	0 m³	
				A 100 %	m³	
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS	A 95 %	23,152 m³	
		EN CORTES	A 100 %	14,156 m³		
		ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³		
		TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	0 m³		

TABLA IV.9 “CANTIDADES DE OBRA EN EL TRAMO 30+000–33+370.364”

AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN					
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN					
DEL KM.: 30+000.00 AL 33+370.00					
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO					
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERIAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	22,083 m³
				EN TERRAPLEN	22,696 m³
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	1,508,353 m³
				VOL. DESPERDICIAO	0 m³
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	479 m³
				VOL. DESPERDICIAO	0 m³
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIAO	m³
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIAO	m³
			MATERIAL "A" 0 m³		
			MATERIAL "B" 575,003 m³		
			MATERIAL "C" 933,829 m³		
				TOTAL	1,508,832 m³
		PRÉSTAMO	DEL BANCO 0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO m³		
			LATERALES DENTRO m	m³	
			DE LA FAJA DE m	m³	
			DESPALME TOTAL m³	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	15,362 m³
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	0 m³
				A 100 %	0 m³
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³
				A 100 %	m³
		FORMACIÓN	DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³
			DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³
				A 90 %	801,059 m³
			CUÑA DE AFINAMIENTO	A 95 %	17,549 m³
				A 100 %	10,077 m³
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES	A 95 %	0 m³
			CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO COMPACTADO	A 100 %	m³
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS	A 95 %	24,506 m³
			EN CORTES	A 100 %	14,897 m³
			ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³
		TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	0 m³	

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

TABLA IV.10 “RESÚMEN DE CANTIDADES DE OBRA”

TABLA VII. RESUMEN DE CANTIDADES DE OBRA					
AUTOPISTA: TOLUCA – NAUCALPAN					
TRAMO: TOLUCA – NAUCALPAN					
DEL KM.: 00+325 AL 33+670					
ORIGEN: TOLUCA ESTADO DE MÉXICO					
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERÍAS	EXCAVACIONES	DESPALME	EN CORTE	162,114 m³
				EN TERRAPLEN	191,407 m³
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES	VOL. APROVECHADO	5,818,122 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			CAJAS	VOL. APROVECHADO	8,419 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			ESCARIFICACION	VOL. APROVECHADO	0 m³
				VOL. DESPERDICIADO	0 m³
			ESCALONES DE LIGA	VOL. APROVECHADO	m³
				VOL. DESPERDICIADO	m³
			MATERIAL "A" 183,190 m³		
			MATERIAL "B" 2,338,175 m³		
			MATERIAL "C" 3,305,176 m³		
				TOTAL	5,826,541 m³
		PRÉSTAMO	DEL BANCO 0 m³	MATERIAL "A"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "B"	0 m³
			DEL BANCO m³	MATERIAL "C"	0 m³
			DEL BANCO m³		
			LATERALES DENTRO m	m³	
			DE LA FAJA DE m	m³	
			DESPALME TOTAL m³	PRÉSTAMO TOTAL	0 m³
		COMPACTACIONES	DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA	A 90 %	133,836 m³
			DE DESPLANTE DE TERRAPLENES	A 95 %	m³
			DE LA CAMA DE LOS CORTES	A 95 %	11,121 m³
				A 100 %	0 m³
			DE TERRACERIAS EXISTENTES	A 95 %	m³
				A 100 %	m³
		FORMACIÓN	DE PAVIMENTOS EXISTENTES	A 95 %	m³
			DE TERRAPLENES C/S	BANDEADO	0 m³
			CUÑA DE AFINAMIENTO	A 90 %	3,953,804 m³
				A 95 %	180,837 m³
				A 100 %	101,529 m³
			DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES	A 95 %	0 m³
			CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO	A 100 %	0 m³
			COMPACTADO		
			DEL RELLENO DE LAS CAJAS	A 95 %	184,622 m³
			EN CORTES	A 100 %	112,701 m³
			ESCARIFICADO, ACAMELLONADO	A 95 %	0 m³
			TENDIDO Y COMPACTADO (EXACTECO)	A 100 %	6,593 m³

El cálculo de los volúmenes se realizó realizando la aplicación de computadora SISCAR (Sistema Carretero), explicado en las secciones anteriores. Este programa de cómputo desarrollado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) realiza el cálculo de volúmenes de terracerías de acuerdo al método de la Curva Masa. Los datos requeridos para este análisis se consiguieron tomando como base la restitución fotogramétrica (en el caso de un proyecto definitivo se toma como base el levantamientos de campo), así como el proyecto de Alineamiento Horizontal y Vertical corregido después de varias aproximaciones con el objeto de minimizar los volúmenes finales.

La información de las Tablas IV.3 a la Tabla IV.9 “Cantidades de Obra en el Tramo” se integra en la Tabla IV.10 “Resumen de Cantidades de Obra” misma que genera el catálogo de conceptos del presupuesto presentado en el Capítulo V “Estudio Económico”.

IV.2 ANTEPROYECTO DE PAVIMENTOS.

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Esta superficie de rodamiento se ve sometida a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tránsito vehicular y se ve afectada por el intemperismo y el efecto del agua.

En este subcapítulo se diseñara el pavimento necesario para el tramo del Anteproyecto propuesto, del km 0+000 al km 33+670, a fin de que el pavimento diseñado pueda soportar de manera adecuada, las cargas impuestas por el tránsito, para una vida útil de 20 años. Esta nueva ruta se desarrolla paralela a la ya existente, pero con características de una autopista A4, carriles con corona de 21 m y velocidad de 90 a 110 km/hr. El clima de la zona donde se aloja el Anteproyecto es de tipo semi-cálido con temperaturas mínimas del orden de menos 7° C y máxima de 39° C siendo predominante 28° C, la temporada de lluvias es durante los meses de mayo a septiembre y la precipitación media anual de la zona es de 2,500 a 1,700 mm, por lo que el drenaje se atiende mediante la construcción de alcantarillas a base de Bóvedas, Losas y Tubos, con estos

elementos se tiene atendido en forma adecuada y se obtiene un buen comportamiento de las terracerías y el pavimento.

El diseño y evaluación de pavimentos con propósitos de construcción requiere de una cuidadosa determinación de factores tales como: propiedades de los materiales, tipo de tránsito y volumen, condiciones ambientales, etc. Sin duda, las propiedades de los materiales constituyen uno de los factores más importantes en el diseño estructural del pavimento, así como en el comportamiento que presente durante su vida útil. En el pasado, el diseño de pavimentos flexibles ha involucrado correlaciones empíricas, las cuales fueron obtenidas con base en el comportamiento observado de los materiales en campo. Actualmente se reconoce que no existe en la actualidad un método de análisis y diseño de pavimentos flexibles que esté basado en teorías propias y coherentes, se mencionan algunas de las circunstancias del trabajo más influyentes en el comportamiento final. Cabe mencionar que de los diversos métodos de diseño existentes, son cuatro métodos de diseño más utilizados en México; a saber, el método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, el del Catálogo Técnico de uso en España, el propuesto por el Instituto Norteamericano del Asfalto (INA) y finalmente, el propuesto por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Los cuatro métodos señalados se aplican a algunas situaciones particulares, similares a las que se encuentran en la práctica usual, lo cual hace ver la relativa variedad de resultados que se pueden obtener. Para efectos del presente trabajo, se utilizara el procedimiento propuesto por el Instituto Norteamericano del Asfalto (INA) cuya metodología de diseño de los pavimentos flexibles, se refiere básicamente a carreteras, y consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento, de acuerdo con los siguientes datos:

- a) Volumen de tránsito a prevenir.
- b) Parámetro que representa la resistencia y deformabilidad del material de apoyo o terracería (VRS y/o valor portante K).
- c) Calidad general de los materiales disponibles.
- d) Procedimientos previstos para la construcción.

El volumen de tránsito a prever se refiere al denominado Número de Tránsito para Diseño (NTD), que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 ton, dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el periodo de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por el Instituto Norteamericano del Asfalto (INA).

Las propiedades mecánicas básicas del material de terracería, capa subrasante, sub-base y base, se establecen por medio de las pruebas usuales en la tecnología actual de los pavimentos.

El Instituto Norteamericano del Asfalto (INA) da el espesor necesario de recubrimiento sobre un material determinado en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual puede traducirse en diversas alternativas de estructuración a base de las capas usuales empleando los factores de equivalencia que más adelante se detallan en el presente trabajo.

Una vez que se ha determinado el valor índice de la resistencia del material y el Número de Tránsito para Diseño (NTD) aplicable al caso, el espesor necesario de cubrimiento se obtiene con el monograma de espesores de carpeta asfáltica, (cabe mencionar que los avances en programación permiten realizar dichos cálculos de una manera más rápida y con mayor precisión).

IV.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA CARPETAS ASFÁLTICAS.

Los materiales que se utilizan en la construcción de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados. Los que se denominan materiales gruesos (arenas, gravas, fragmentos de roca, etc.) constituyen un primer grupo y provienen de playones de ríos u arroyos, de depósitos naturales denominados comúnmente minas o de rocas, los cuales por lo general, requieren un proceso de cribado y triturado para poder utilizarse; el segundo grupo es el formado por los suelos finos, cuyo arquetipo son los materiales arcillosos.

Las características más importantes que deben tener a satisfacción dichos materiales son granulometría, dureza, forma de partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, dado que los materiales pétreos se cubren por completo con el

asfalto, si la granulometría cambia, también cambia la superficie a cubrir. Dado que la superficie por revestir resulta más afectada al aumentar o disminuir los finos comparado con un cambio en las partículas gruesas las especificaciones toleran más los cambios en éstas. Al estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, se mencionaran las granulometrías necesarias y las tolerancias correspondientes.

Para la obtención de los agregado pétreos o suelos con los que debe estructurarse el pavimento, existen en las cercanías de la obra y otros sitios más lejanos, bancos cuyo volumen y calidad cumplen en forma adecuada con los requerimientos para formar la capa del pavimento para la cual se recomiendan.

Los bancos localizados para este fin, ya se describieron dentro del presente trabajo.

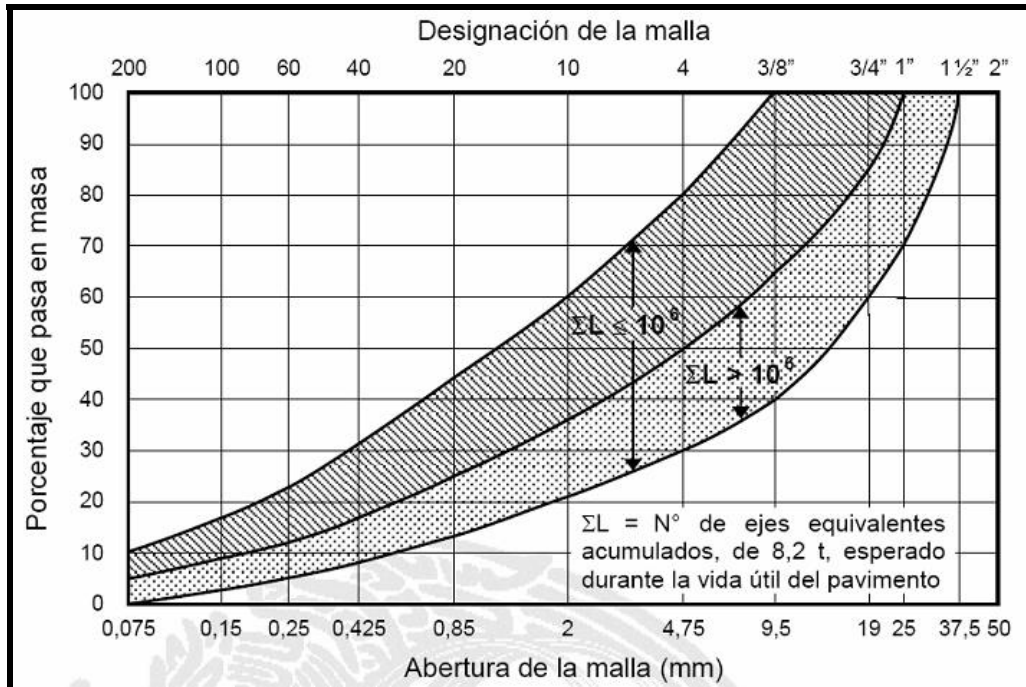
IV.2.2 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, del espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo y que así el asfalto no se oxide con rapidez, pero que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y no soporte la carga de los vehículos. Es conveniente que las partículas tengan la forma más cúbica posible, por lo que no deben utilizarse materiales que contengan una cantidad grande de partículas en forma de lajas o agujas, pues tienden a romperse con facilidad y así cambia la granulometría.

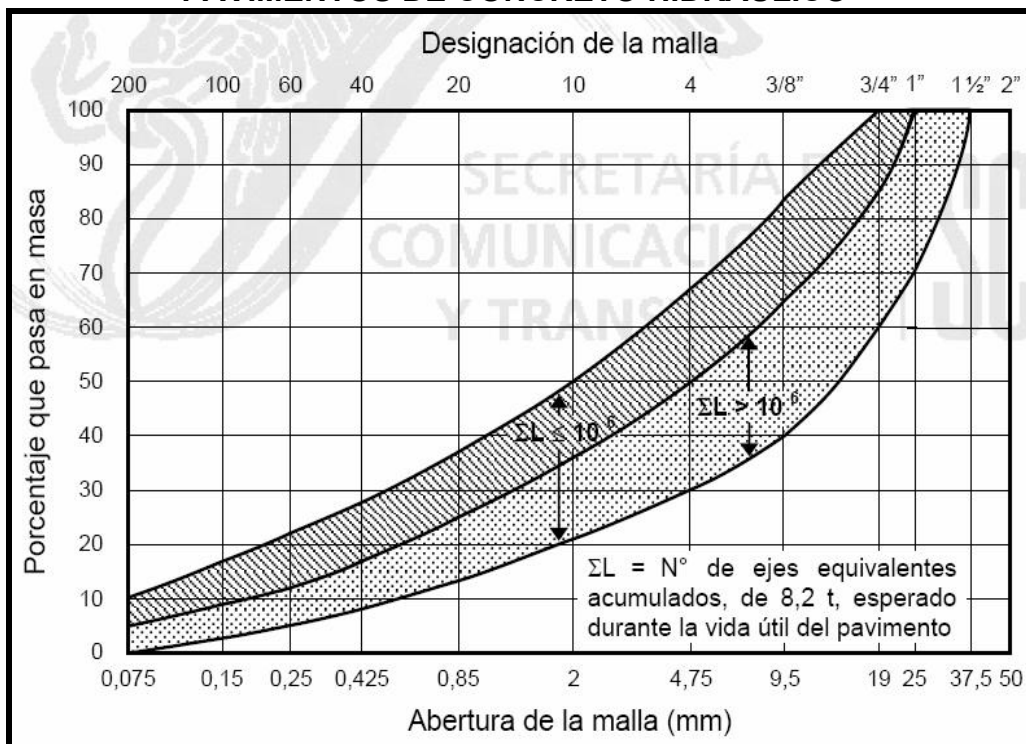
**TABLA IV.11 “CALIDAD PARA MATERIALES
PÉTREOS DE CARPETA ASFÁLTICA”**

GRANULOMETRÍA:		
Característica	Calidad	
	Deseable	Adecuada
Zona Granulométrica	Gráfica IV.1	Gráfica IV.2
Tamaño Máximo (mm)	38	38
Finos (%) (Material < 0.074 mm)	0-4 máximo	0-8 máximo
Humedad Natural W (%)	0	1 máximo
Índice Plástico IP (%)	0	5 máximo
Equivalente Arena (%)	60 mínimo	55 mínimo
Desgaste Los Ángeles (%)	30 máximo	40 máximo
Partículas Alargadas (%)	25 máximo	50 máximo

GRÁFICA IV.1 “ZONAS GRANULOMÉTRICAS RECOMENDABLES DE LOS MATERIALES PARA BASES DE PAVIMENTOS CON CARPETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA DE GRANULOMETRÍA DENSA”



GRÁFICA IV.2 “ZONAS GRANULOMÉTRICAS RECOMENDABLES DE LOS MATERIALES PARA BASES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO”



La dureza se puede conocer por medio de las pruebas de densidad y de desgaste; si el material tiene o no una buena adherencia se conoce al efectuar las pruebas de desprendimiento por fricción y de pérdida de estabilidad por inmersión en agua. Si esta característica de los pétreos no es aceptable, se puede utilizar un producto aditivo, para cambiar la tensión superficial de los pétreos.

En la Tabla IV.11 “Calidad para materiales pétreos de carpeta asfáltica” se indican los valores de calidad para materiales pétreos de carpeta asfáltica.

IV.2.3 CEMENTO ASFÁLTICO.

El cemento asfáltico, también llamado simplemente asfalto, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. Para mezclarse con los materiales pétreos, debe calentarse a 140 °C, por lo que es necesaria una planta.

Las carpetas de concreto asfáltico son mezclas de materiales pétreos y cemento asfáltico recubierto. Debido a las características del cemento asfáltico este tipo de carpetas tiene propiedades elásticas con ruptura de tipo frágil y de poca resistencia principalmente a temperaturas bajas. Además este tipo de carpetas no debe construirse sobre bases naturales con módulos de elasticidad bajos que puedan tener deformaciones por acción del tránsito, sino que es preciso construirlas sobre bases rigidizadas con cal hidratada o cemento Portland o sobre bases asfálticas.

En general el material pétreo utilizado es roca triturada de basalto, andesita o reolita, aunque también puede provenir de bancos de grava-arena, minas y playones de río o arroyo; de estos dos últimos conviene que tenga bastante desperdicio por triturar pues muchas veces son materiales redondeados y la mezcla no pasa las normas de resistencia, pero al triturarlos se producen superficies rugosas que mejoran su calidad.

IV.2.4 REBAJADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS.

Con la finalidad de poder trabajar con el cemento asfáltico a temperaturas menores, es necesario fluidificarlo; para ello se producen los rebajados y las emulsiones asfálticas.

Los rebajados asfálticos se fabrican diluyendo el concreto asfáltico en gasolina, tractolina (petróleo diáfano), diesel o aceites ligeros. En el primer caso se obtienen los rebajados de Fraguado Rápido (FR); en el segundo caso, los rebajados de Fraguado Medio (FM); y, por último, los de Fraguado Lento (FL). Todos estos se pueden producir con diferentes proporciones de cemento asfáltico (de 50 a 80 %) y los correspondientes solventes (de 50 a 20 %). De esta manera hay cinco tipos de cada rebajado, que se numeran del 0 al 4; los que tienen gran cantidad de cemento asfáltico son los de mayor denominación y esta disminuye a medida que aumenta el contenido de los solventes. Así, existe Fraguado Rápido del 0 al 4, Fraguado Medio del 0 al 4 y Fraguado Lento del 0 al 4, cada una de las cuales se rige por su especificación correspondiente. Cabe mencionar, que para realizar las mezclas con los agregados pétreos y los cementos o los rebajados asfálticos, es necesario que los primeros estén bien secos, pues de otra manera, no hay adherencia con el asfalto.

Para tener un producto asfáltico que se pueda aplicar o mezclar con pétreos húmedos, se fabrican las emulsiones asfálticas, en las que el cemento asfáltico se suspende en agua, por medio de un emulsificante y un estabilizador. De acuerdo con el emulsificante usado, se producen emulsiones aniónicas y catiónicas; estas últimas resisten mayores humedades en los pétreos. Las emulsiones también son de fraguado rápido, medio y lento conforme el porcentaje de cemento asfáltico y regidas bajo las especificaciones correspondientes.

IV.2.5 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL PAVIMENTO.

Dado que la acción de las cargas repetidas es la más notable causa de deterioro del pavimento flexible y en la actualidad estas cargas han aumentado mucho, tanto en magnitud como en número de repeticiones, lo que induce la posibilidad de fallas por fatiga y por el efecto de la deformación acumulativa, es necesario conocer el estimado de dichas cargas para obtener un diseño satisfactorio.

IV.2.5.1 ANÁLISIS GENERAL DEL TRÁNSITO.

Para conocer el volumen de tránsito que circula diariamente por el tramo en estudio, así como los tipos de vehículos que lo integran, se deben efectuar aforos

sobre las vialidades que convergen al tramo en estudio, obteniéndose un tránsito representativo para el diseño del pavimento. Este número se denomina Tránsito Diario Inicial (TDI) y su valor es el correspondiente al Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).

Para efectos del presente trabajo, se considera el valor crítico del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) que se obtuvo en el estudio real para un tramo en el Estado de México y que resultó ser de 6,629 vehículos/día y la composición vehicular (por tipo de vehículo) se llega a los valores que se exponen en la Tabla IV.12 “Datos de aforo obtenidos para el estudio de la autopista Toluca–Naucalpan”.

**TABLA IV.12 “DATOS DE AFORO OBTENIDOS PARA
EL ESTUDIO DE LA AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

Descripción	Tipo	Composición (%)	Cantidad Veh/día
Autos y Pick-up's.	A	88.5	5,867
Autobuses y camiones de dos ejes	B	0.7	44
Camiones de dos ejes.	C2	10.8	718
Total	—	100.0	6,629

Con base en los datos de aforo y a la clasificación vehicular, se determina el porcentaje de vehículos pesados que existe en el primer año, llegando incluso a definir cuanto de ese porcentaje corresponde al carril del diseño.

El Instituto Norteamericano del Asfalto (INA), indica cual es la distribución de vehículos pesados que conviene considerar en el carril de diseño, en los diferentes casos, con la expresión siguiente:

$$N = TDI \times A/100 \times B/100$$

En donde:

A = es el porcentaje de camiones pesados en dos direcciones. Se efectúa la suma del número de vehículos pesados (S VP), de acuerdo con la clasificación vehicular correspondiente y se calcula el porcentaje de vehículos pesados respecto al Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).

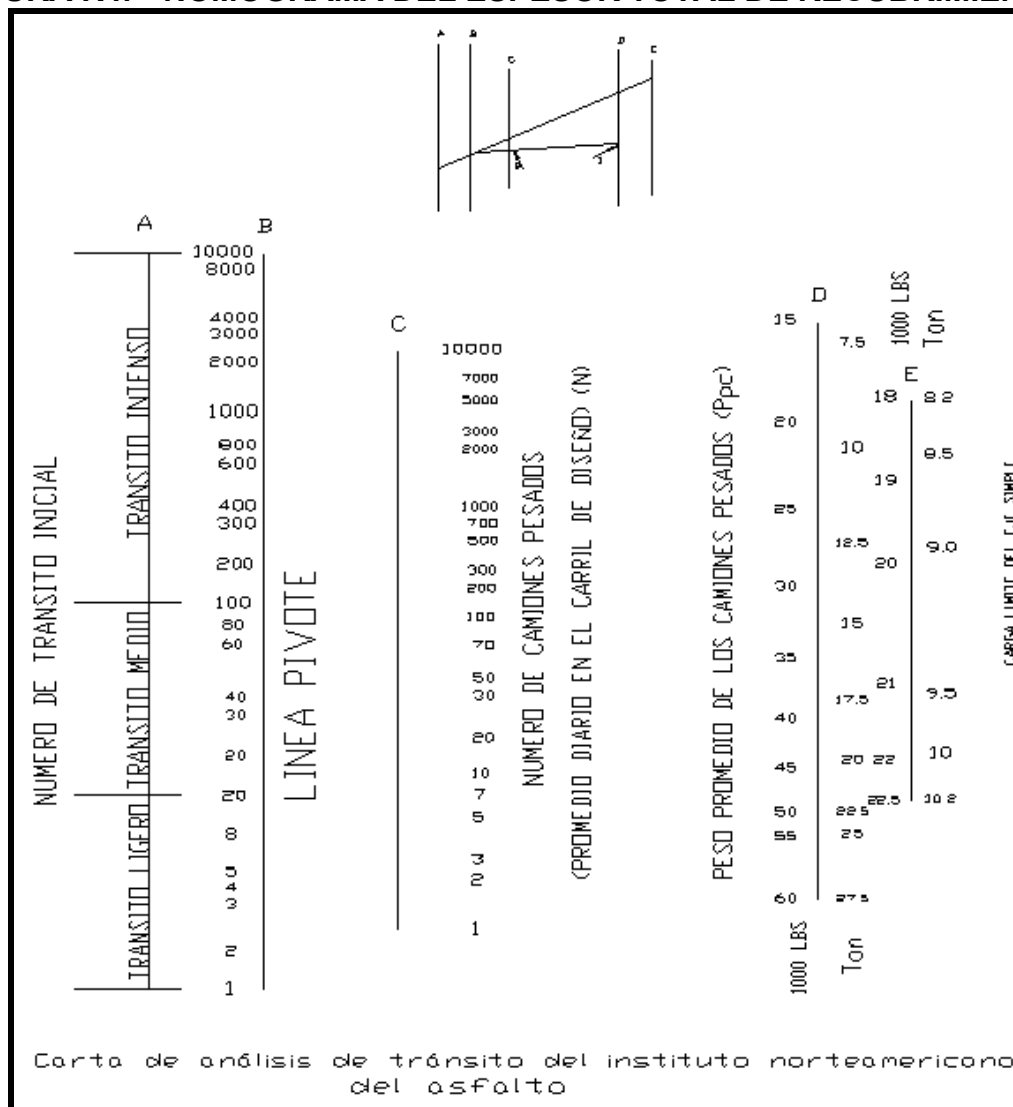
$$B = (S VP/TDPA) \times 100$$

B = es el porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño y se obtiene su valor de la Tabla IV.13 “Porcentaje del tránsito total de vehículo pesados en dos direcciones que debe considerarse en el carril de diseño”.

TABLA IV.13 “PORCENTAJE DE TRÁNSITO TOTAL VEHÍCULO PESADOS EN DOS DIRECCIONES A CONSIDERARSE EN EL CARRIL DE DISEÑO”

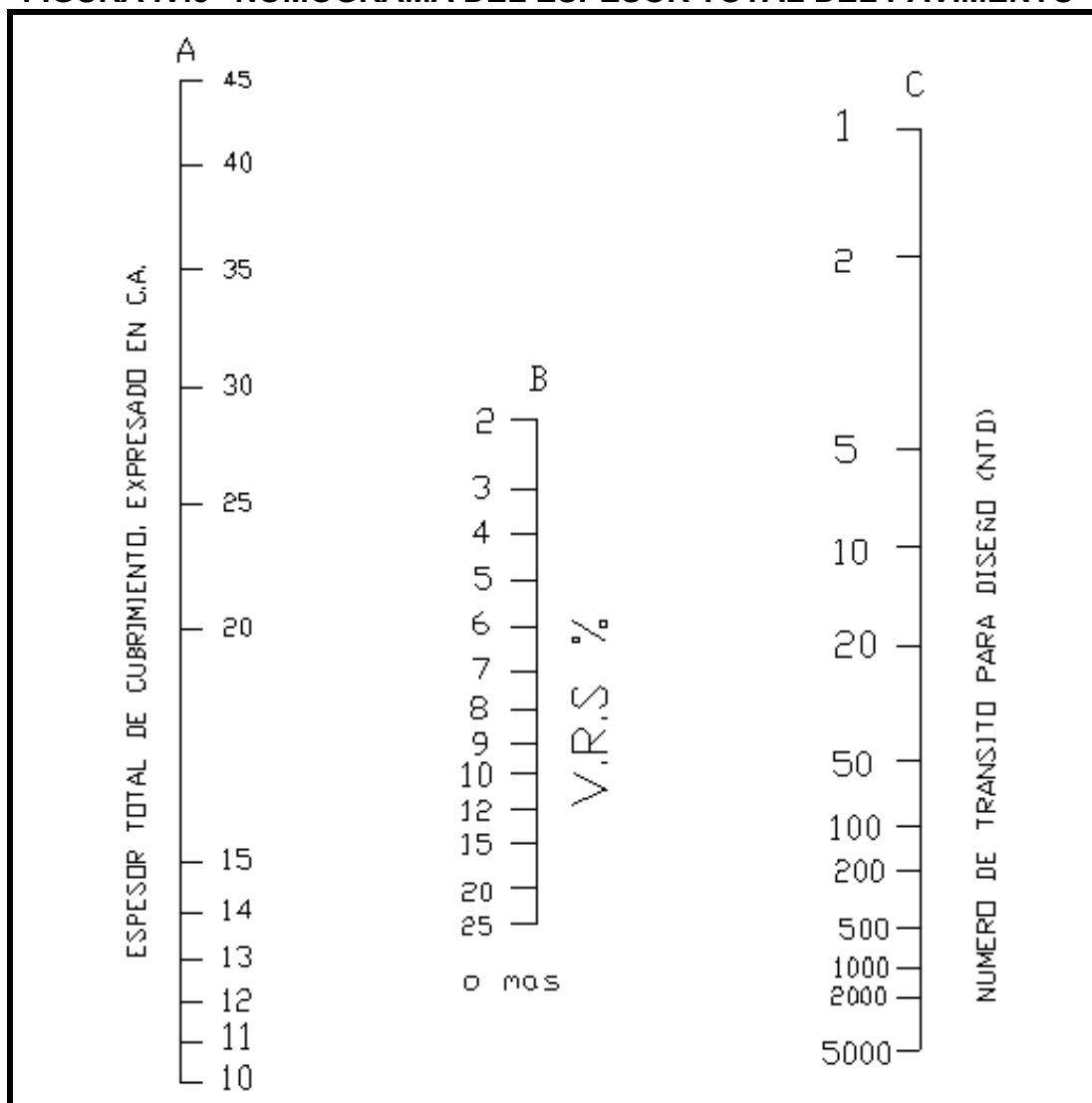
Número Total de carriles en la autopista	% de camiones a considerar en el carril de diseño
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 o más	40 (oscila entre 25 y 48)

FIGURA IV.7 “NOMOGRAMA DEL ESPESOR TOTAL DE RECUBRIMIENTO”



Ya que se obtuvo el número promedio diario de vehículos pesados en el carril de diseño, en una dirección, se debe calcular el Peso Promedio de los vehículos Pesados (PPC), el cual en la República Mexicana, las autoridades establecen que el límite de carga por eje sencillo es una carga total de 8.2 ton, es decir, 4.1 ton por rueda.

FIGURA IV.8 “NOMOGRAMA DEL ESPESOR TOTAL DEL PAVIMENTO”



Con la información anterior se puede establecer el Número de Tránsito Inicial (NTI), haciendo uso del monograma que se muestra en la Figura IV.7 “Nomograma del espesor total de recubrimiento”.

El procedimiento para utilizar el monograma es el siguiente:

Fijarse en la escala D el peso promedio de la carga de los camiones pesados (PPC). Después únase ese punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño (N), sobre el eje (C) la línea anterior debe prolongarse hasta cortar el eje (B). Fíjese ahora en el eje (E) el límite de carga legal para eje sencillo (8.2 ton); ese punto debe unirse con el anterior encontrando sobre el eje (B), y esa línea debe prolongarse hasta el eje (A), sobre el que puede leerse el (NTI).

TABLA IV.14 “FACTORES DE CORRECCIÓN DEL NÚMERO DE TRÁNSITO INICIAL, PARA OBTENER EL NÚMERO DE TRÁNSITO DE DISEÑO”

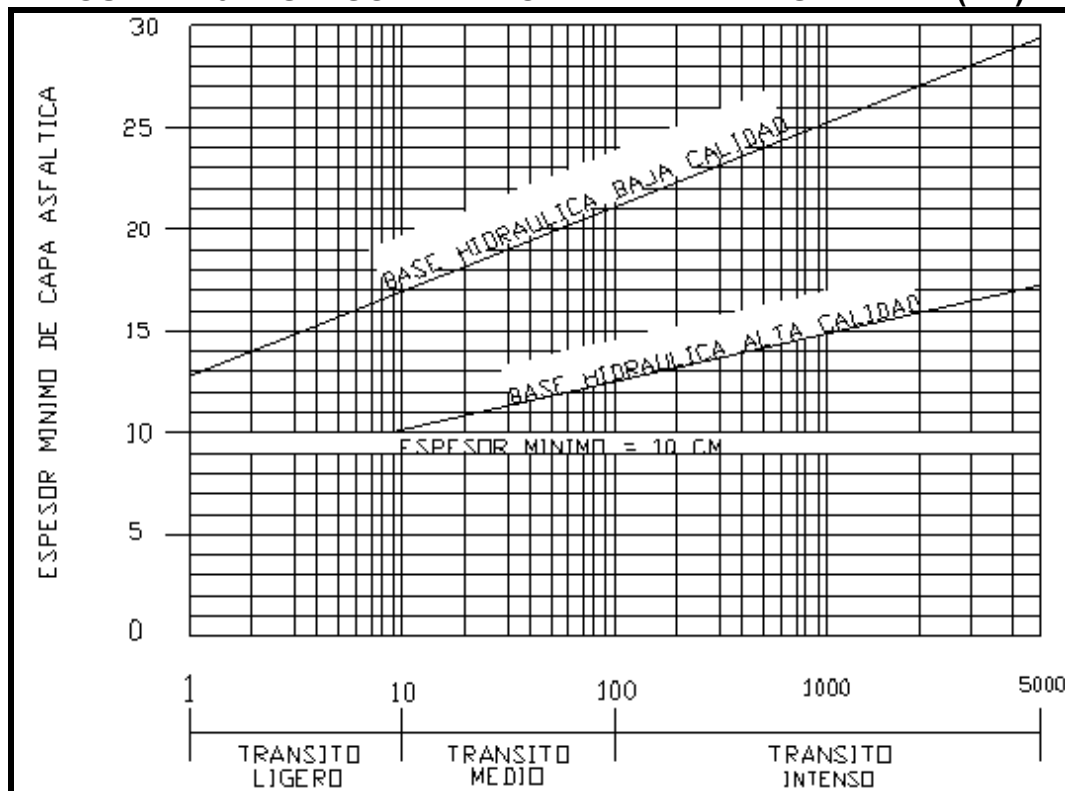
PERIODO DE DISEÑO	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRÁNSITO.					
AÑOS	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.2	0.2	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.3	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.4	0.43	0.46	0.5	0.53	0.57
10	0.5	0.55	0.6	0.66	0.72	0.8
12	0.6	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.7	0.8	0.92	1.05	1.21	1.4
16	0.8	0.93	1.09	1.28	1.52	1.8
18	0.9	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1	1.24	1.49	1.84	2.29	2.86
15	1.25	1.6	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.5	2.03	2.8	3.95	5.66	8.22
35	1.75	1.5	3.68	5.57	8.62	13.55

Con el período de diseño del pavimento considerado, que usualmente es de 20 años, y la tasa de crecimiento anual de tránsito, puede buscarse en la tabla de Factores de Corrección del Número de Tránsito Inicial (NTI), el factor de corrección que debe aplicarse al Número de Tránsito Inicial (NTI), de manera que el producto de las cantidades, es el Número de Tránsito de Diseño (NTD) que Figura IV.8 “Nomograma de espesor total del pavimento”.

El siguiente paso es realizar el cálculo del espesor necesario de cubrimiento de concreto asfáltico, para esto con los datos del Valor Relativo de Soporte (VRS) y el Número de Tránsito de Diseño (NTD), aplicable al caso, se entra en el monograma de la Figura IV.8 “Nomograma del espesor total del pavimento” para obtener el espesor total del pavimento, dado en concreto asfáltico.

De la misma forma, en la Figura IV.9 “Espesor Mínimo de carpeta asfáltica (EM)” se obtiene el espesor mínimo de carpeta asfáltica (EM), requerido por un determinado tipo de base hidráulica.

FIGURA IV.9 “ESPESOR MÍNIMO DE CARPETA ASFÁLTICA (EM)”



Una vez que se obtiene el aforo, se procede a realizar el pronóstico de tránsito para el horizonte del proyecto, que para efectos del presente estudio se determinó

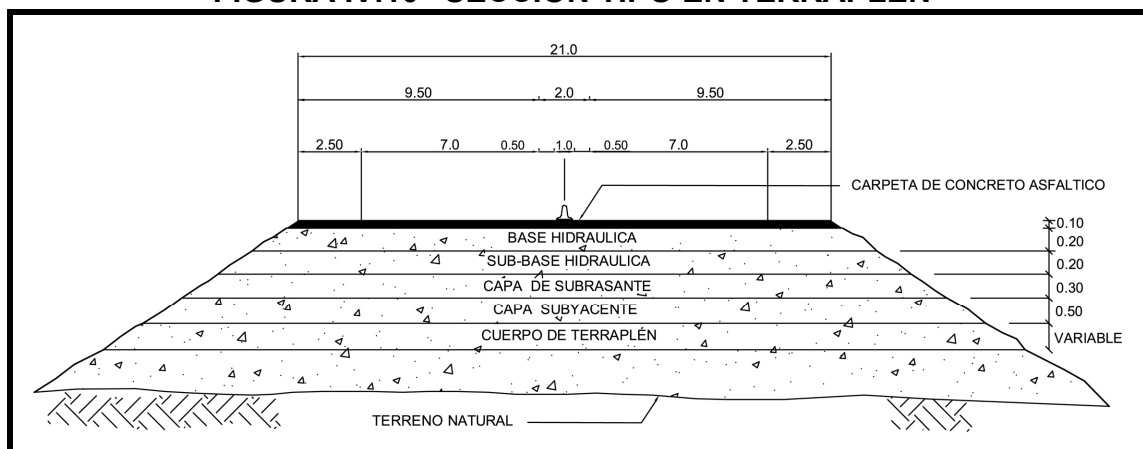
en 20 años, tal como se indica en la Tabla IV.15 “Pronóstico de Tendencia Autopista tramo de estudio (TDPA)”. El cálculo del pronóstico es el mismo que se presentó en el Capítulo II “Elección de ruta”.

De acuerdo a los datos de tránsito obtenidos en el pronóstico de tránsito para horizonte de proyecto de una vida útil de 20 años, de acuerdo con el número de ejes acumulados al año de proyecto se requiere un índice de espesor de 50 cm el cual se constituye de la siguiente manera:

- | | |
|----------------------------------|-------|
| 1) Carpeta de concreto asfáltico | 10 cm |
| 2) Base Hidráulica | 20 cm |
| 3) Sub-base hidráulica | 20 cm |
| 4) Subrasante | 30 cm |

De forma esquemática se representa en el Figura IV.10 “Sección tipo en terraplén”. Cabe mencionar que el procedimiento de diseño presentado en este estudio para obtener los espesores de la sección estructural de pavimentos, de acuerdo al Instituto Norteamericano del Asfalto (INA), se realiza mediante el conjunto de los nomogramas indicados anteriormente, pero también existe una versión computarizada que incluye el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y el diseño de sobre carpetas de refuerzo.

FIGURA IV.10 “SECCIÓN TIPO EN TERRAPLÉN”



**TABLA IV.15 “PRONÓSTICO DE TENDENCIA DE TRÁNSITO EN EL
TRAMO DE ESTUDIO DE LA AUTOPISTA”**

AÑO	AUTOMÓVIL	AUTOBÚS	CAMIÓN	TOTAL
2006	5,867	44	718	6,629
2007	6,094	46	746	6,886
2008	6,330	48	775	7,152
2009	6,940	52	850	7,842
2010	7,588	57	929	8,574
2011	7,882	59	965	8,906
2012	8,187	62	1,002	9,251
2013	8,504	64	1,041	9,609
2014	8,833	66	1,081	9,981
2015	9,175	69	1,123	10,367
2016	9,530	72	1,167	10,768
2017	9,899	74	1,212	11,185
2018	10,282	77	1,259	11,618
2019	10,680	80	1,307	12,067
2020	11,093	83	1,358	12,534
2021	11,522	87	1,410	13,019
2022	11,968	90	1,465	13,523
2023	12,431	93	1,522	14,046
2024	12,912	97	1,581	14,590
2025	13,412	101	1,642	15,155
2026	13,931	105	1,705	15,741
2027	14,470	109	1,771	16,350
2028	15,030	113	1,840	16,983
2029	15,612	117	1,911	17,640
2030	16,216	122	1,985	18,323
2031	16,844	127	2,062	19,032
2032	17,495	132	2,142	19,769
2033	18,172	137	2,225	20,534
2034	18,876	142	2,311	21,328
2035	19,606	147	2,400	22,154
2036	20,365	153	2,493	23,011
2037	21,153	159	2,589	23,902

IV.2.6 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE.

Las cláusulas e incisos que se mencionan en los párrafos siguientes corresponden

a las Normatividad para la infraestructura del transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Base Hidráulica: Sobre la capa subrasante en la zona de ampliación se construye una capa de Base hidráulica de 0.20 m de espesor. El material que conforme esta capa se debe compactar al 100 % de su Masa Volumétrica Seca Máxima (MVSM) de la prueba de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) modificada (cinco capas).

Los materiales utilizados deberán ser del tipo indicado en la NORMA N-CMT-4-02-002/04 además estos tendrán que cumplir con las normas de Calidad especificadas en N-CAL-1-01/00, todas son normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Riego de impregnación: Sobre la superficie de la Base Hidráulica que incluye la zona de la ampliación así como en el talud de dicha capa, superficialmente seca y barrida, se aplica en todo el ancho de la sección así como en dichos taludes que formen el pavimento, un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica a razón de 1 lt/ m².

El producto asfáltico (emulsión catiónica) debe ser del tipo mencionado en la NORMA N-CMT-4-005-001/00.

Riego de liga para Base Hidráulica.

Sobre la superficie de la capa de base hidráulica debidamente terminada, se aplica en todo el ancho de la sección un riego de liga con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 0.6 lt/ m².

El producto asfáltico (emulsión catiónica) debe ser del tipo mencionado en la NORMA N-CMT-4-005-001/00 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

- Base Asfáltica.

Sobre la superficie de la capa de base hidráulica debidamente terminada, después de aplicar un riego de liga, se coloca una capa de base asfáltica de 0.12 m de espesor; dicha capa se elabora en planta y en caliente con materiales procedentes de los bancos indicados para este fin en la tabla de bancos de este proyecto y cemento asfáltico AC-20 con una proporción de

100 kg/m³ de material pétreo seco y suelto de tamaño máximo de 38.1 mm (1 ½").

El tendido se realiza con máquina terminadora en una sola capa, dicha capa se compacta al 95 % de su Peso Volumétrico determinado en la Prueba Marshall.

El equipo de trituración y cribado debe contar con lo menos con un dispositivo para el despolve, procurando que el material fino pase por la malla 200, resulte menor del 5 %; adicionalmente, cuando se trate de materiales triturados parcialmente, se debe garantizar que dichos materiales tengan por lo menos del orden del 30 % de trituración, por lo que es recomendable en su caso contar con un primario, un secundario y dos tolvas dosificadoras, de manera que se proporcione una buena granulometría.

- Riego de liga para base asfáltica (opcional).

Sobre la superficie de la capa de base asfáltica debidamente terminada, se aplica en todo el ancho de la sección un riego de liga con emulsión asfáltica catiónica, a razón de 0.6 lt/ m².

El producto asfáltico (emulsión catiónica) debe ser del tipo mencionado en la NORMA N-CMT-4-05-001/00 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

NOTA. Las Normas Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Edición 2000, establecen que cuando se construyan carpetas de concreto asfáltico con espesor igual o mayor de 0.10 m, puede prescindirse del llamado "riego de liga", por lo que su aplicación en este proyecto puede considerarse como opcional.

- Emulsiones.

Se debe indicar el tipo de emulsión asfáltica a emplear para efectos de control de calidad y recepción de la obra; se requiere además, obtener la dosificación adecuada en cada caso conforme a las pruebas de laboratorio necesarias según el trabajo a realizar.

- Carpeta de concreto asfáltico.

Sobre la capa de base asfáltica debidamente terminada y después de la aplicación del riego de liga (opcional), se construye una carpeta de concreto asfáltico de 0.10 m de espesor, utilizando material procedente del banco de préstamo indicado para éste fin en el cuadro de bancos de éste proyecto y cemento asfáltico AC-20 con una dosificación aproximada de 125 1ts/m³ de material pétreo seco y suelto, la mezcla es elaborada en planta y en caliente y el tendido se efectúa compactándola al 95 % de su peso volumétrico determinando con la Prueba Marshall.

Los materiales pétreos y el cemento asfáltico que conformen la carpeta deberán cumplir con las Normas especificadas en las Normas N-CMT-4-04/83 y N-CMT-4-05/01, respectivamente.

La construcción de la carpeta se debe apegar a los lineamientos indicados en la NORMA N-CTR-CAR-1-04-006/04 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Dado que se utiliza cemento asfáltico AC-20, la mezcla debe realizarse a una temperatura de entre 140 °C y 165 °C.

La mezcla al momento de colocarla en la pavimentadora, debe tener una temperatura no menor a 135 °C.

La temperatura se mide en el camión antes de descargar en la pavimentadora. La compactación se efectúa inmediatamente después de tendida la mezcla y antes de que su temperatura baje a menos de 130 °C.

- Aditivos.

Con el objeto de mejorar la adherencia de los materiales pétreos con los productos asfálticos, se debe prever el empleo de aditivos, cuyo tipo y dosificación serán proporcionados por el Laboratorio de Control de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), después que el agregado pétreo haya sido debidamente tratado.

Los tipos de aditivos que se utilizarán en el cemento asfáltico AC-20 deberán incorporarse en una proporción aproximada del 1 % en peso, que se ajusta de acuerdo con las pruebas realizadas por el Laboratorio de Control de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

El buen comportamiento de un pavimento flexible depende más de los materiales empleados en construirlo y de las condiciones de trabajo de los mismos (por ejemplo, drenaje y sub-drenaje) que del uso preferente de un determinado método de diseño. A este respecto parece fundamental considerar la tecnología de pavimentos como una parte de la Geotecnia Aplicada.

El comportamiento de los pavimentos flexibles depende en gran medida de condiciones no incluidas en los métodos de diseño estructural. La temperatura, las condiciones de drenaje regional, la hidrología y otras pueden jugar papeles muy importantes y frecuentemente pueden ser objeto de consideración del responsable del diseño geométrico y geotécnico de la autopista, con muy adecuadas repercusiones en el resultado final.

De la observación de experiencias con autopistas semejantes a la considerada en este trabajo, se tiene que un gasto adicional de 50 ó 60 % en el pavimento inicial puede reducir el costo de operación en 30 años en 200 o más veces.

Los criterios de deterioro aceptados actualmente incluyen el agrietamiento por fatiga y las deformaciones permanentes. Es usual relacionar el primero con la deformación unitaria máxima a tensión en el plano inferior de la capa asfáltica y el segundo con la deformación unitaria máxima a compresión en la subrasante únicamente.

Las condiciones particulares de México imponen la necesidad de dosificar el riesgo de fallas en los pavimentos flexibles, aceptando su aparición en las capas superiores y buscando minimizar su aparición en capas inferiores. Este criterio tiene el objetivo de llegar a operaciones de conservación o reconstrucción y refuerzo superficial, o sea crecer la estructura hacia arriba con aprovechamiento de lo ya hecho.

En las condiciones actuales considerando el costo de operación del transporte y la frecuencia de las acciones de conservación o refuerzo, el criterio de mantenimiento y refuerzo de la capa superior de caminos, debe ser el paradigma de diseño de los pavimentos flexibles, contra el costo de construcción inicial.

Esto es más válido cuanto más ocupada sea la autopista y mayor sea la posibilidad de crecer en ocupación.

IV.2.7 CANTIDADES DE OBRA PARA PAVIMENTOS.

De acuerdo a las dimensiones y especificaciones presentadas en esta sección se ha realizado la cuantificación de materiales requeridos para la construcción de la autopista.

Estas cantidades de obra, tienen el objetivo de presentar un costo paramétrico de referencia para las etapas siguientes del proyecto. Así mismo el catálogo de conceptos presentado a continuación es parte del presupuesto del Capítulo V “Estudio Económico”.

**TABLA IV.16 (1/2) “CANTIDADES DE PAVIMENTO
PARA LA AUTOPISTA TOLUCA-NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
PRÉSTAMOS		
Excavaciones de préstamos:		
En material B	m³	376,348.50
En material C	m³	68,491.50
Para cualquier distancia, de materiales de préstamo de banco para la construcción de la capa subrasante y para completar la construcción del cuerpo del pavimento.		
Para el primer kilómetro	m³	285,120
Para los kilómetros subsecuentes	m³-km	1,425,600
Para cualquier distancia, de materiales de mezcla asfáltica para la construcción de la carpeta asfáltica construcción del cuerpo del terraplén :		
Para el primer kilómetro	m³	78,639
Para los kilómetros subsecuentes	m³-km	393,195
SUB-BASE Y BASES		
Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases cuando se empleen dos (2) materiales pétreos:		
Compactado al noventa y cinco por ciento (95 %)	m³	143,880
De sub-bases cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)	m³	141,240
MATERIALES ASFÁLTICOS		
Emulsión asfáltica catiónica en riego de impregnación	lt	4,465,197
Emulsión asfáltica catiónica en riego de liga	lt	482,724

Esta Tabla continúa en la siguiente página.

Esta Tabla continúa de la página anterior.

**TABLA IV.16 (2/2) “CANTIDADES DE PAVIMENTO
PARA LA AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNDAD	CANTIDAD
Cementos asfálticos empleados en carpetas de concreto asfáltico		
Cemento asfáltico AC-20, asfalto modificado con polímero tipo 1	kg	10,444,500
RIEGO DE IMPREGNACIÓN:		
Barrido de la superficie por tratar	ha	69.96
CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
Impregnación de la base	lt	4,465,197
Riego de sello	lt	637,560
Carpeta de concreto asfáltico compactado al noventa y cinco por ciento (95 %), incluyendo acarreos , cemento asfáltico No. 6 o AC-20 con polímeros VSBS del banco que elija el contratista	m³	69,630
RIEGO DE SELLO:		
Riego de sello, por unidad de obra terminada utilizando el Material Pétreo 3-A del banco que elija el contratista	m³	9,009

IV.3 ANTEPROYECTO DE DRENAJE.

Uno de los elementos que causa mayores problemas a los caminos es el agua, ya que en general disminuye la resistencia de los suelos presentando fallas en los terraplenes, cortes y superficies de rodamiento.

Los caminos requieren ser económicos y eficientes en su mantenimiento y construcción y esto se logra solamente realizando un buen estudio del drenaje para cada camino por parte del especialista (drenajista), puesto que de ese estudio depende en gran parte el éxito de la obra.

Ahora bien cuando se construye un camino casi siempre se corta el escurrimiento natural del sistema hidrológico del sitio modificando lo cual puede causar problemas como erosiones en los cortes y terraplenes así como inundaciones.

Durante el proyecto, la elección de ruta es fundamental para minimizar los problemas de escurrimientos, por lo cual el estudio de la cuenca y su consideración al momento del trazo es la primera consideración al diseño del drenaje del camino.

En el Capítulo III “Estudios Preliminares” se presenta la información relacionada con las características de las cuencas hidrológicas correspondientes al área del Anteproyecto, la cuales se identifican como las regiones hidrológicas “A” Lerma–Santiago, “B”, Balsas y Pánuco “C”, ver Figura IV.12 “Regiones Hidrológicas en el área de Anteproyecto”. También en el Capítulo III se incluye como ejemplo el cálculo de gasto de los escurrimientos encontrados en el tramo del km 0+000 al km 5+000.

FIGURA IV.12 “REGIONES HIDROLÓGICAS EN EL ÁREA DE ANTEPROYECTO”



Los trabajos de drenaje en caminos, se clasifican en drenaje superficial y subterráneo ya que el escurrimiento del agua puede realizarse a través de las capas del subsuelo o no; a continuación se menciona cada uno de ellos.

IV.3.1 DRENAJE SUPERFICIAL.

En las autopistas, el drenaje es el destinado a la captación y eliminación de las aguas que corren sobre el terreno natural o sobre la estructura del camino, esta agua proceden directamente de las lluvias, aunque algunas veces su origen es debido a corrientes fluviales o de manantiales.

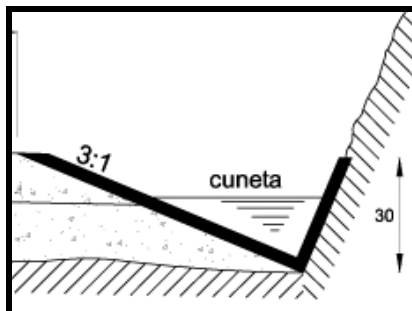
El drenaje superficial se clasifica dependiendo de la posición que guarde con respecto al eje del camino, ya sea en el sentido longitudinal y/o transversal.

El drenaje longitudinal es el que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, de tal manera que no le causen problemas, quedan comprendidos dentro de este tipo de drenaje las cunetas, contracunetas, los bordillos, etc.

En los cortes de una autopista, las principales obras de drenaje superficial que sirven para desalojar el agua de la autopista.

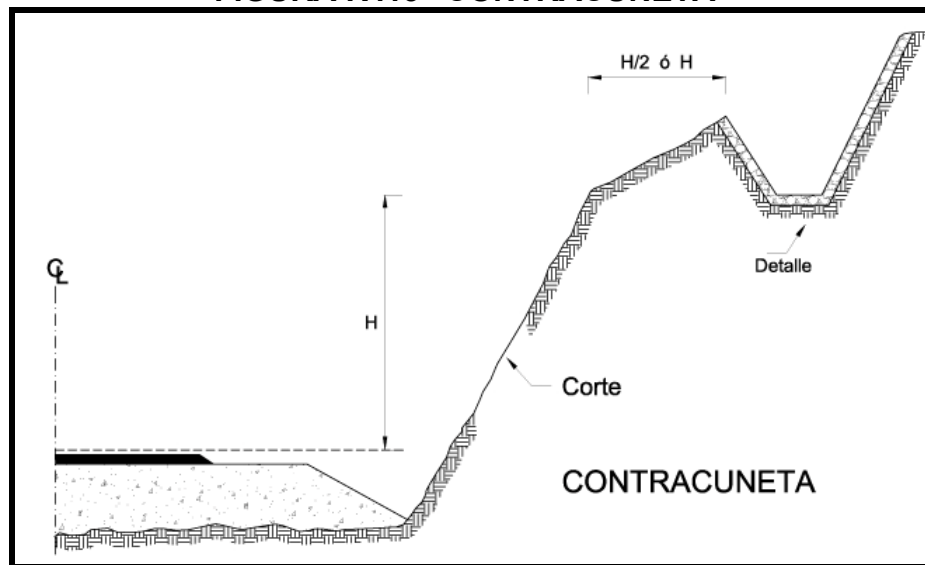
- 1) **Cunetas:** Son pequeñas zanjas paralelas al eje del camino y que se construyen en los bordes de la corona del camino, al pie del talud del corte, su función principal es la de recoger y eliminar por medio de la gravedad, las aguas pluviales que escurren sobre el talud del corte y desde la zona pavimentada del camino; generalmente la cuneta cubre en su totalidad la longitud del corte, manteniendo la pendiente longitudinal en el sentido del eje del camino y descarga hacia alguna cañada o parte baja del terreno natural en el que puede eliminarse el agua sin provocar la erosión de los taludes de la autopista. La cuneta deben revestirse con algún material impermeable para evitar filtraciones de agua hacia los materiales que forman el pavimento o el terreno de cimentación; para el cálculo del área hidráulica de las cunetas, se deben considerar las diferentes características del área por drenar, en la mayoría de los casos se ha utilizado la sección transversal triangular, cuyas dimensiones son: 30 cm de profundidad, 1.0 m de ancho y con taludes del lado de la corona de 3:1 y del lado del corte, el correspondiente al material que constituye dicho corte. Ver Figura IV.12 “Cuneta”.

FIGURA IV.12 “CUNETA”



- 2) Contracunetas: Son pequeñas zanjitas construidas en forma paralela al borde superior del corte del camino, con objeto de captar el agua que escurre en la superficie y evitar que ésta llegue al talud y lo erosione. Las contracunetas no deben ser muy profundas y se revestirán para que no haya filtraciones de agua en el talud que pudieran crearle problemas de estabilidad, las secciones de estas son generalmente de forma trapezoidal, cuyas dimensiones deben ser de 50 cm de profundidad y de 60 a 80 cm de ancho en la plantilla. Ver Figura IV.13. “Contracuneta”.

FIGURA IV.13 “CONTRACUNETAS”



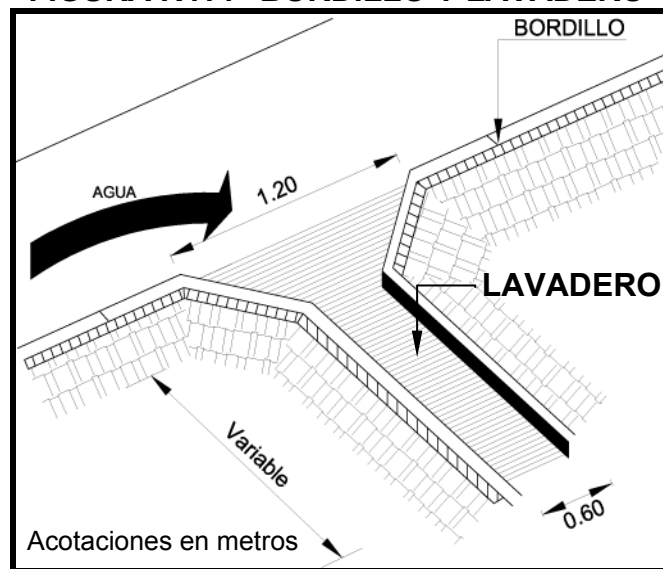
- 3) Bombeo: Es la pendiente transversal que se le da a la corona del camino cuando se trata de secciones en tangente (en general del 2 %); se trata de una pendiente que va del centro del camino hacia los hombros del mismo y se hace con el objeto de evitar la concentración del agua sobre la corona del camino, evitando con esto que penetre en la terracerías y capas que forman el pavimento.

En el caso de cortes, el bombeo descarga sobre las cunetas; cuando son terraplenes, el bombeo descarga en los bordillos, mismos que encauzan el agua hasta los lavaderos para su desalojo final. Ver Figura IV.16 “Drenaje Transversal”. Cuando se trata de curvas horizontales, se proporciona al camino una sobre elevación del hombro exterior con respecto al anterior, con objeto de contrarrestar la fuerza centrífuga. Esta sobre elevación sirve

también para dar salida al agua que cae en estas partes del camino. En los terraplenes, las principales estructuras de drenaje con los lavaderos, alcantarillas y bordillos. Ver Figura IV.14 “Bordillo y lavadero”.

- 4) Bordillos: Son pequeñas obras de concreto hidráulico o de concreto asfáltico, que se construyen sobre los acotamientos en los bordes de la corona del camino y en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón. Su función es impedir que el agua que cae sobre la corona del camino, desborde por los taludes, provocando la erosión y la saturación de los mismos. Estas obras son las que conducen al agua hasta donde se localizan los lavaderos, son de sección trapezoidal, con una base inferior de 15 cm, de base superior de 8 cm y una altura de 12 cm, con una distancia del eje del bordillo al hombro del camino de 20 cm, como mínimo. Ver Figura IV.14 “Bordillo y lavadero”.

FIGURA IV.14 “BORDILLO Y LAVADERO”

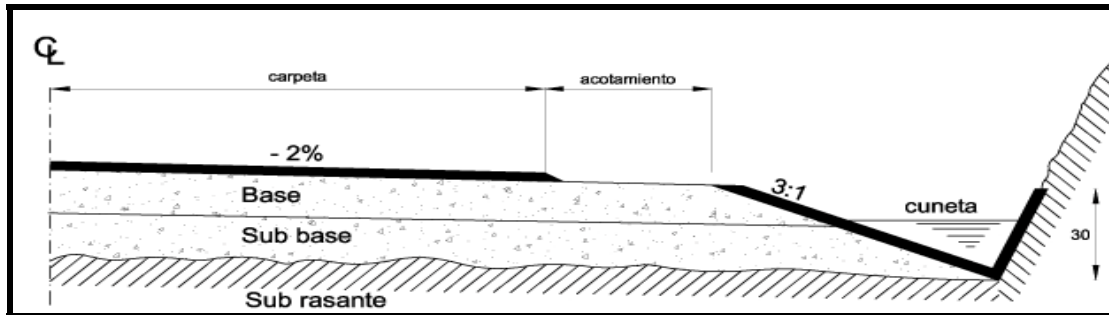


El drenaje transversal es el que tiene por objeto dar paso libre al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien retirar el agua que se encuentra en la corona del mismo; quedan comprendidos dentro de este tipo de drenaje, el bombeo de la corona, los lavaderos, las alcantarillas (drenaje menor) y los puentes (drenaje mayor).

- 5) Lavaderos: Son estructuras que se conectan a los bordillos, cunetas y contracunetas; son obras de gran pendiente, revestidas de concreto o de mampostería, también los hay de sección de medio tubo de lámina

corrugada y con juntas atornilladas. En algunas ocasiones es necesario que estas obras estén provistas de uno o varios dentellones para garantizar el anclaje a los taludes y evitar el deslizamiento. Ver Figura IV.14 "Bordillo y lavadero".

FIGURA IV.15. "DRENAJE TRANSVERSAL"



- 6) Alcantarillas: Son estructuras de forma diversa, que la función de conducir y desalojar lo más rápidamente posible el agua de las partes bajas del terreno por donde atraviesa el camino; por la forma de la sección se clasifican en Tubos (Ver Figura IV.16 "Alcantarilla a base de tubos"), Losas (Ver Figura IV.17 "Alcantarilla a base de losa"), cajones y bóvedas así como Alcantarillas (Ver Figura IV.18 "Alcantarilla de mampostería").

IV.3.1.1 DISEÑO DE ALCANTARILLAS.

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

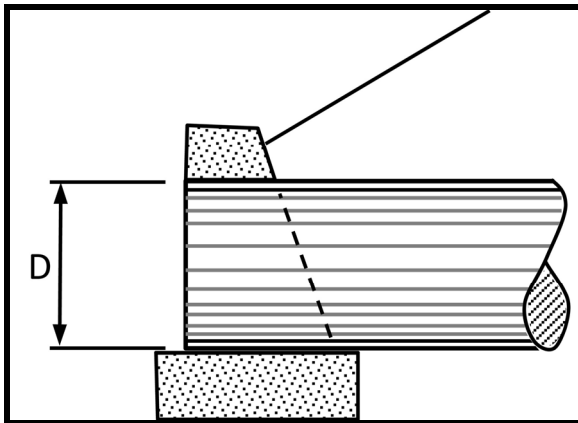
- 1) Localización del eje del camino.

Para el caso del Anteproyecto de la Autopista, la localización del eje del camino corresponde a la ruta elegida discutida en el Capítulo II "Elección de Ruta" de este trabajo. Es importante comentar la importancia del drenaje en la elección de ruta ya que el correcto funcionamiento de la Autopista depende en buena medida de contar con el drenaje adecuado.

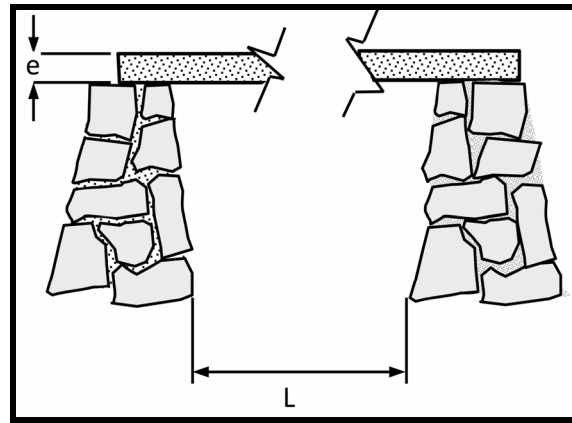
La localización del eje de la obra de drenaje debe hacerse de preferencia siguiendo el cauce de los escurrimientos, siempre y cuando la forma del mismo y su pendiente longitudinal lo permitan, tomando en consideración que la pendiente está limitada de la siguiente manera:

- Para losas y cajones la pendiente del terreno debe estar comprendida entre 0 % y 12 %.
- Para bóvedas la pendiente del terreno debe estar comprendida entre 0 % y 20 %, pudiendo incrementarse hasta 25 % siempre y cuando el cimiento sea escalonado.
- Para tubos la pendiente del terreno debe estar comprendida entre 0 % y 45 %. A partir de 30 % deberán ponerse muros de anclaje por lo menos cada 5 ó 10 m.

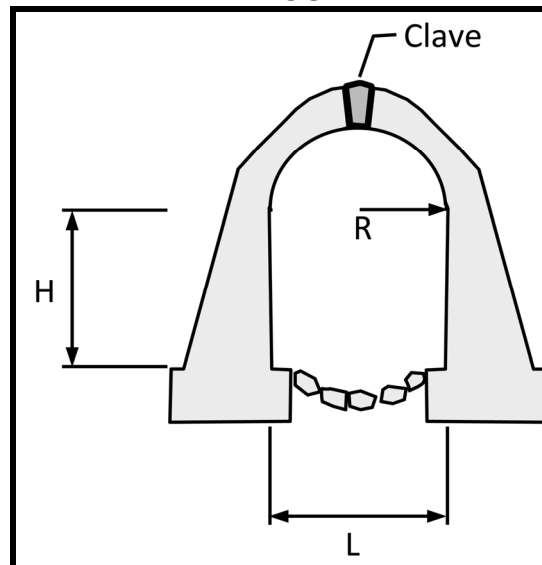
**FIGURA IV.16 “ALCANTARILLA A
BASE DETUBOS”**



**FIGURA IV.17 “ALCANTARILLA A
BASE DE LOSA”**



**FIGURA IV.18 “ALCANTARILLA
DE MAMPOSTERÍA”**



Estas pendientes de terreno son máximas. En los casos en que las necesidades obliguen a incrementar la pendiente de la obra, se deberán hacer las recomendaciones al respecto. Estas recomendaciones son cimientos escalonados en bóvedas o muros de anclaje en tubos. En el caso de losas y cajones no es posible incrementar la pendiente por razones constructivas, debido al efecto de la pendiente en el concreto fresco.

Debe procurarse hasta donde sea posible que los ejes para apoyar las obras sean normales o radiales al eje del camino, ya sea que este localizado tangente o en curva respectivamente. Cuando la dirección del escurrimiento no permita trazarlos en esta forma, tendrán que esviarse de acuerdo con el eje del escurrimiento. Se entiende por esviaje el ángulo que forma el eje de la obra con una normal o radial al eje del camino, el esviaje puede ser izquierdo o derecho, según se encuentre desplazado a la derecha o la izquierda de la normal o radial. El ángulo de esviaje debe variar de 10° a 45°, sin embargo se permiten esviajes menores a 10° y mayores a 45° en casos que por condiciones muy especiales se justifiquen (canales de riego, cauces encajonados, ductos, etc.).

2) Determinación del área por drenar.

El cálculo del área por drenar se puede efectuar por cualquiera de las formas siguientes:

- Midiéndola directamente en campo cuando se trate de área pequeñas.
- Apoyándose en plantas topográficas de restitución fotogramétrica a escala, delimitando las cuencas respecto al eje de la autopista previamente ubicado y midiendo el área ya sea con planímetro o con aplicaciones de cómputo específicas.
- Apoyándose en fotografías aéreas de contacto a escala y siguiendo el mismo procedimiento indicado en el punto anterior.

El área obtenida por cualesquiera de estas formas, debe transformarse a unidades de superficie en metros cuadrados (m²) o hectáreas (ha).

Una vez que se ha determinado el área de la cuenca se procede a calcular el área hidráulica necesaria para dimensionar la obra de drenaje. Se entiende por área hidráulica aquella capaz de desalojar un gasto (Q) producto de la precipitación en el lugar igual a una lámina de agua de 10 cm de altura en el periodo de una hora. Para efecto de calcular este volumen de agua se puede optar por cualquiera de los siguientes métodos hidrológicos:

- a) Método de Talbot. Método empírico limitado para cuencas pequeñas.
- b) Método de sección y pendiente. Aplicable cuando se trata de arroyos y escurrideros con cauces bien definidos y secciones más o menos regulares, así mismo en canales y zanjas de riego. Para este método se deben hacer levantamientos en campo de las secciones del cauce en tres puntos: el primero y más importante en el punto de cruce, los restantes a 50 m del cruce, uno aguas arriba y otro aguas abajo. Con estos datos se aplica la fórmula de Manning y con este dato de velocidad se procede a la obtención del gasto (Q) utilizando la fórmula de continuidad.
- c) Método racional: el método se aplica a cuencas pequeñas, como es en el caso de alcantarillas. Para el cálculo se considera una intensidad de lluvia con un periodo de retorno que depende de la vida útil de la obra de drenaje y del riesgo aceptado en el proyecto. Para la aplicación del método se utilizan las publicaciones de Isoyetas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
- d) Por comparación. Este procedimiento es aplicable cuando se trata de proyectar un cuerpo adicional a alguno preexistente en operación observando las marcas de niveles máximos históricos.

En el Capítulo III “Estudios Preliminares”, tema 2 Estudio Hidrológico–Hidráulico se desarrolló un ejemplo de cálculo de gasto para los escurrimientos el tramo km 0+000 al km 5+000. Para el caso en estudio se utilizó el método racional para calcular el gasto de los escurrimientos.

3) Elección del tipo de obra.

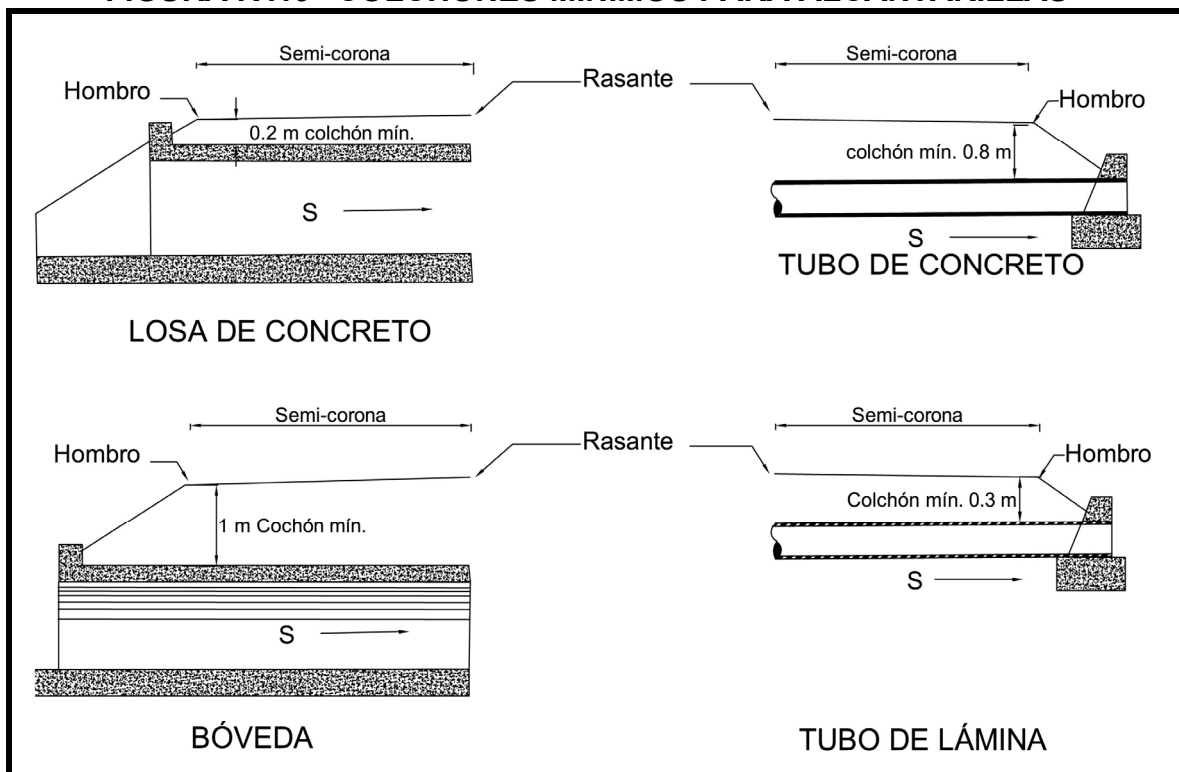
Una vez calculada el área hidráulica necesaria, se procede a elegir el tipo de obra que satisfaga las necesidades hidráulicas y de seguridad de operación. Los tipos de obra a elegir son: tubos, losas, bóvedas de concreto ciclópeo o de concreto armado y cajones de concreto armado.

Los tres primeros no deberán trabajar llenas o bajo presión, las otras no tendrán problemas en este aspecto ya que no permiten filtraciones hacia el terraplén.

La elección de tipo de obra debe tomar en cuenta:

- Área hidráulica necesaria.
- Pendiente de lo obra.
- Altura mínima y máxima de terraplenes o rellenos.
- Materiales de construcción.
- Capacidad de carga del terreno.

FIGURA IV.19 “COLCHONES MÍNIMOS PARA ALCANTARILLAS”



Como se estableció anteriormente la elección del tipo de drenaje depende de la pendiente del eje de la obra, si es menor a 12 % puede ser de cualquier tipo, cuando se encuentra en el rango de 12 % y 20 % la elección puede ser entre una batería de tubos y una bóveda, cuando rebase el 20 % debe elegirse una obra compuesta por tubos.

En algunos casos es posible elegir una bóveda aun cuando se tenga una pendiente de escurrimiento mayor a 20 % pero a condición de que el cimiento se diseñe y construya en forma escalonada y la pendiente de escurrimiento sea menor a 25 %.

Al elegir tubos cuando la pendiente sea mayor a 30 % deberán incluirse en el diseño y en la construcción muros de anclaje dentro de la longitud de la obra, con objeto de evitar el deslizamiento de la misma.

Otro factor importante en el tipo de obra es la altura del terraplén o relleno sobre esta. En terreno de lomerío suave o plano normalmente no existe ningún problema para dejar el colchón mínimo de terraplén de acuerdo con el tipo de obra elegida Figura IV.19 “Colchones mínimos para alcantarillas”.

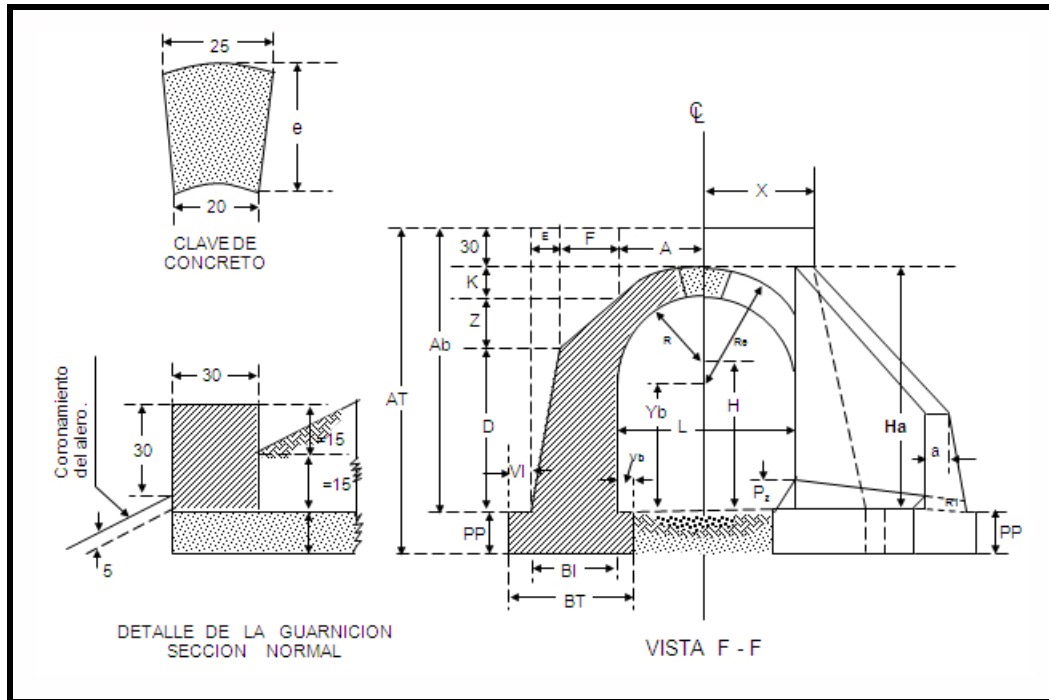
La altura mínima de terraplén es aquella que nos permita alojar el tipo de obra elegido y garantizar un colchón mínimo sobre la parte más desfavorable de la estructura o clave. Los valores aplicados comúnmente se muestran en la Tabla IV.17 “Colchones máximos y mínimos para obras de drenaje”:

TABLA IV.17 “COLCHÓN MÁXIMO Y MÍNIMO PARA OBRAS DE DRENAJE”

Tipo de Obra	Colchón mínimo	Colchón máximo
Para tubo de concreto	0.8 m	15 m
Tubo de lámina	0.3 m	18 m
Losas y cajones de concreto armado	0.2 m	4 m
Bóvedas de mampostería	1 m	8 m

Este anteproyecto aplica proyectos tipo para obras de drenaje, de acuerdo a la Norma 2000 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

**FIGURA IV.20 “DISEÑO TIPO PARA
BÓVEDA CON ESVAJE A LA IZQUIERDA”**

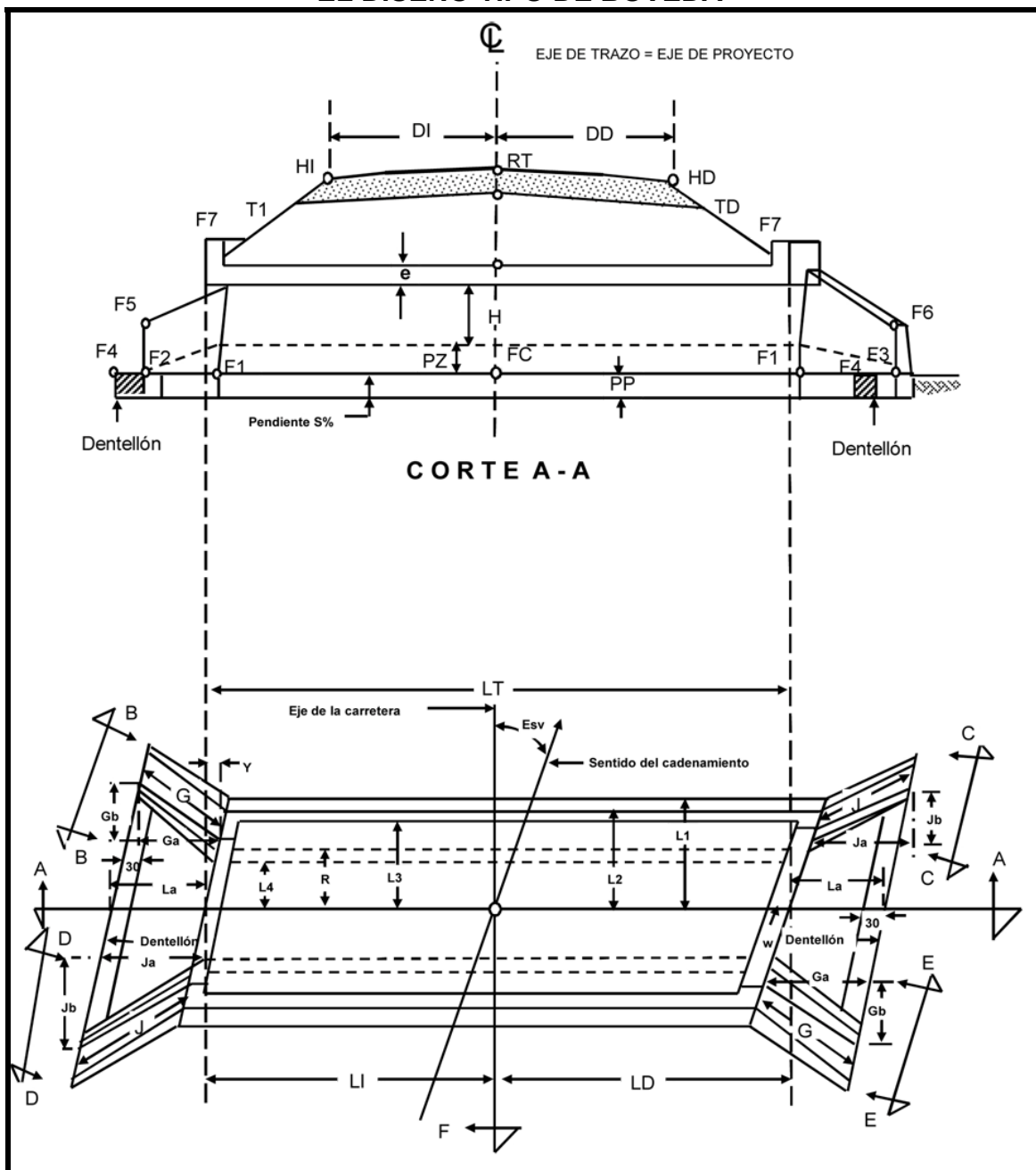


En el Anteproyecto se recomienda la construcción de sistemas de drenaje longitudinal consistente en cunetas con longitud de 1 m en forma triangular y talud de proporción 3:1, en los cortes de cajón se incluirán contracunetas recubiertas con mampostería de tercera y mortero 5:1 para evitar las filtraciones hacia los cortes, la sección de la contracuneta es de forma trapezoidal con fondo de 0.8 m y una profundidad de 0.6 m. En el caso de los cortes en balcón se incluye el drenaje de bordillo y lavaderos cada 200 m.

El proyecto tipo para alcantarillas de bóveda requiere un colchón mínimo de 1 m. Las bóvedas son de mampostería de tercera clase pegadas con mortero de cemento 1:5. En el cierre del arco, se coloca una clave de concreto simple $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$. Arco, Estribos, Aleros, Tímpanos y Guarniciones, concreto ciclópeo, clase con mortero de cemento 1:5. El recorte mínimo de los aleros es el indicado en la norma, en caso de que se encuentre el terreno natural en otra altura, es en este punto, lo que queda a juicio del Ingeniero Residente la altura definitiva del recorte. El desplante se hace en terreno natural suponiendo una capacidad de carga de 1 kg/cm^2 , para ello puede variar su elevación hasta en + 20 cm conservando los taludes del cuerpo de los estribos, el vuelo y el peralte del

escalón de los cimientos. Ver Figuras IV.20 “Diseño tipo para bóveda” y Figura IV.21 “Corte de terraplén mostrando el diseño tipo de bóveda”.

**FIGURA IV.21 “CORTE DE TERRAPLÉN MOSTRANDO
EL DISEÑO TIPO DE BÓVEDA”**



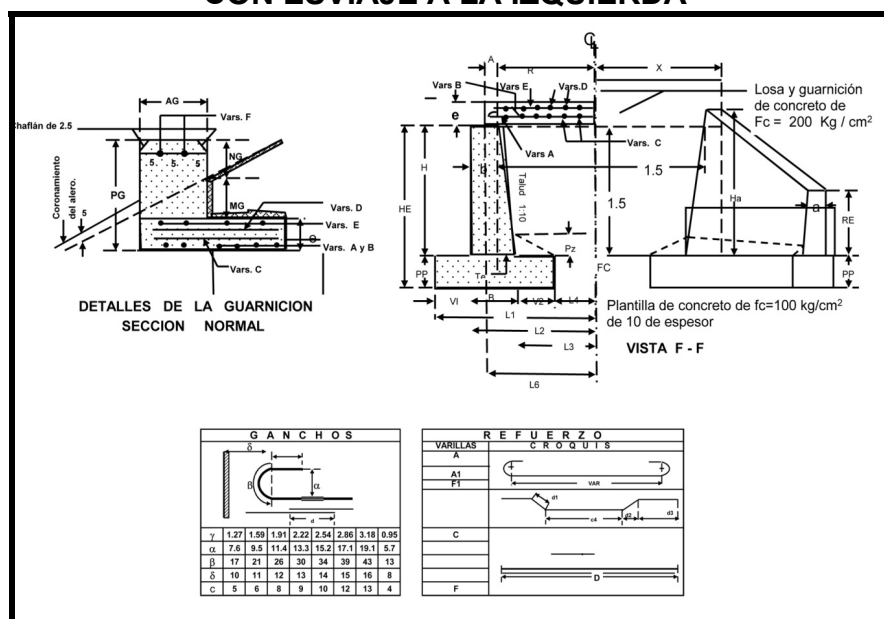
Los valores indicados a continuación corresponden a una bóveda de 4 x 4 m, en el caso de elementos menores se interpola linealmente las dimensiones Tabla IV.18 “Dimensiones para una bóveda de 4x4 m”

TABLA IV.18 “DIMENSIONES PARA UNA BÓVEDA DE 4 x 4 m”

Re = 3.37 m	E = 1.24 m	VI = 0.8 m	AT = 6.82 m
Yb = 2.15 m	K = 0.57 m	VD = 0.10 m	PZ = 0 m
R = 2 m	Z = 0.59 m	BT = 2.90 m	No Aplica
A = 1.88 m	D = 4.36 m	PP = 1 m	
F = 0.88 m	BI = 2 m	Ab = 5.82 m	

Las alcantarillas de losa utilizadas en el Anteproyecto, se ajustan al diseño tipo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). En el Anteproyecto las secciones utilizadas van de 1.5 x 1.5 m y hasta 6 x 5.5 m. Se construirán de concreto con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$. Las varillas indicadas en la Figura IV.23 “Geometría tipo de losa para alcantarilla”, como A, B, E, se colocan paralelas al eje de la autopista y su separación se mide según el eje de la estructura. Las varillas C y D se colocarán paralelas a dicho eje y su separación se mide por la normal al mismo eje. Tanto el recubrimiento superior es de 3.77 cm como el inferior es de 3.77 cm. Los estribos y aleros serán de concreto simple de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

**FIGURA IV.22 “ALCANTARILLA DE LOSA 1.5 x 1.5 m
CON ESVAIAJE A LA IZQUIERDA”**

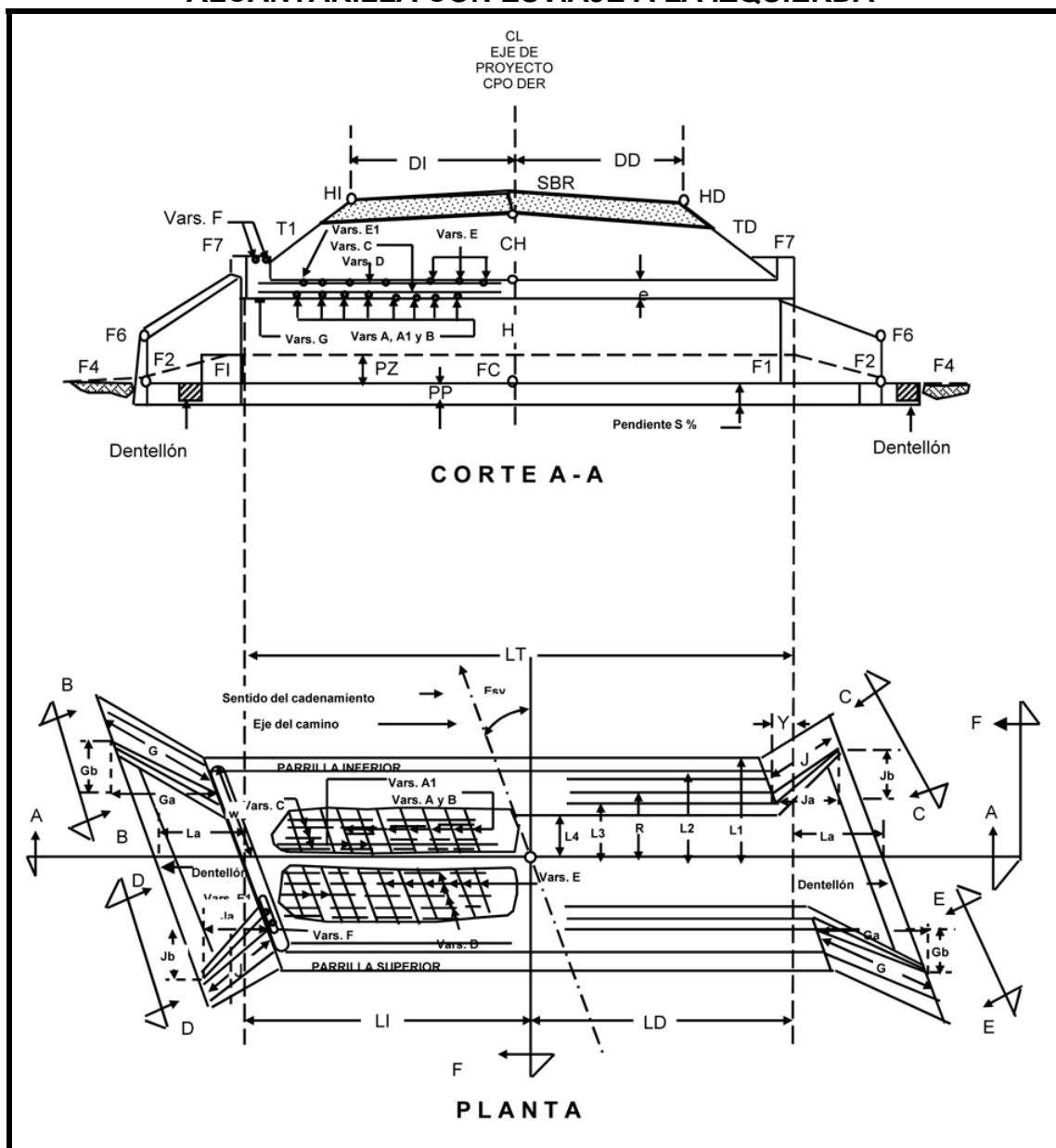


El diseño tipo de alcantarillas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) contempla la posibilidad de realizar adaptaciones al proyecto de losa debido a las condiciones reales del sitio de los trabajos. El diseño indica el recorte mínimo

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

de los aleros, en caso que se encuentre el terreno natural en otra altura, El desplante se hace sobre terreno natural considerando una capacidad de carga 1 kg/cm².

**FIGURA IV.23 “GEOMETRÍA TIPO DE LOSA PARA
ALCANTARILLA CON ESVAJE A LA IZQUIERDA”**



En general la obra puede variar su elevación en 20 cm conservando los taludes del cuerpo de los estribos, el vuelo y el peralte del escalón de los cimientos.

A continuación se presenta el diseño de alcantarillas de losa de 1.5 x 1.5 m por ser el tipo común del Anteproyecto. Ver Figura IV.24 “Geometría tipo de losa para

alcantarilla con esviaje a la izquierda”

Las alcantarillas de tubo recomendadas en el Anteproyecto son del diseño Tipo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Ver Figura IV.24 “Diseño de Alcantarillas de Tubo”. Los diámetros requeridos van de 0.9 m a 1.5 m de acuerdo al área hidráulica requerida calculada en el Estudio Hidrológico Capítulo III “Estudios Preliminares”. En los casos donde la pendiente sea mayor al de 30 % deberán ponerse muros de anclaje por lo menos cada 5 ó 10 m. En general la obra puede variar su elevación en 20 cm conservando los taludes del cuerpo de los estribos, el vuelo y el peralte del escalón de los cimientos. Se debe compactar al 95 % el material debajo del tubo.

IV.3.2 DRENAJE SUBTERRÁNEO.

El agua tiene gran influencia en el comportamiento mecánico de los suelos, en la estabilidad de los cortes y terraplenes y además es de gran importancia cuando el agua se presente en forma estacionaria o fluyendo dentro de la masa de suelo.

Cuando el agua no se encuentra en movimiento, esta reduce la resistencia al esfuerzo cortante provocando una mayor deformación; en suelos finos de naturaleza plástica, las variaciones de volumen por cambios en el contenido de agua o humedad, provocan contracciones y deformaciones propiciando la aparición de grietas, afectando la estabilidad y el buen funcionamiento del camino.

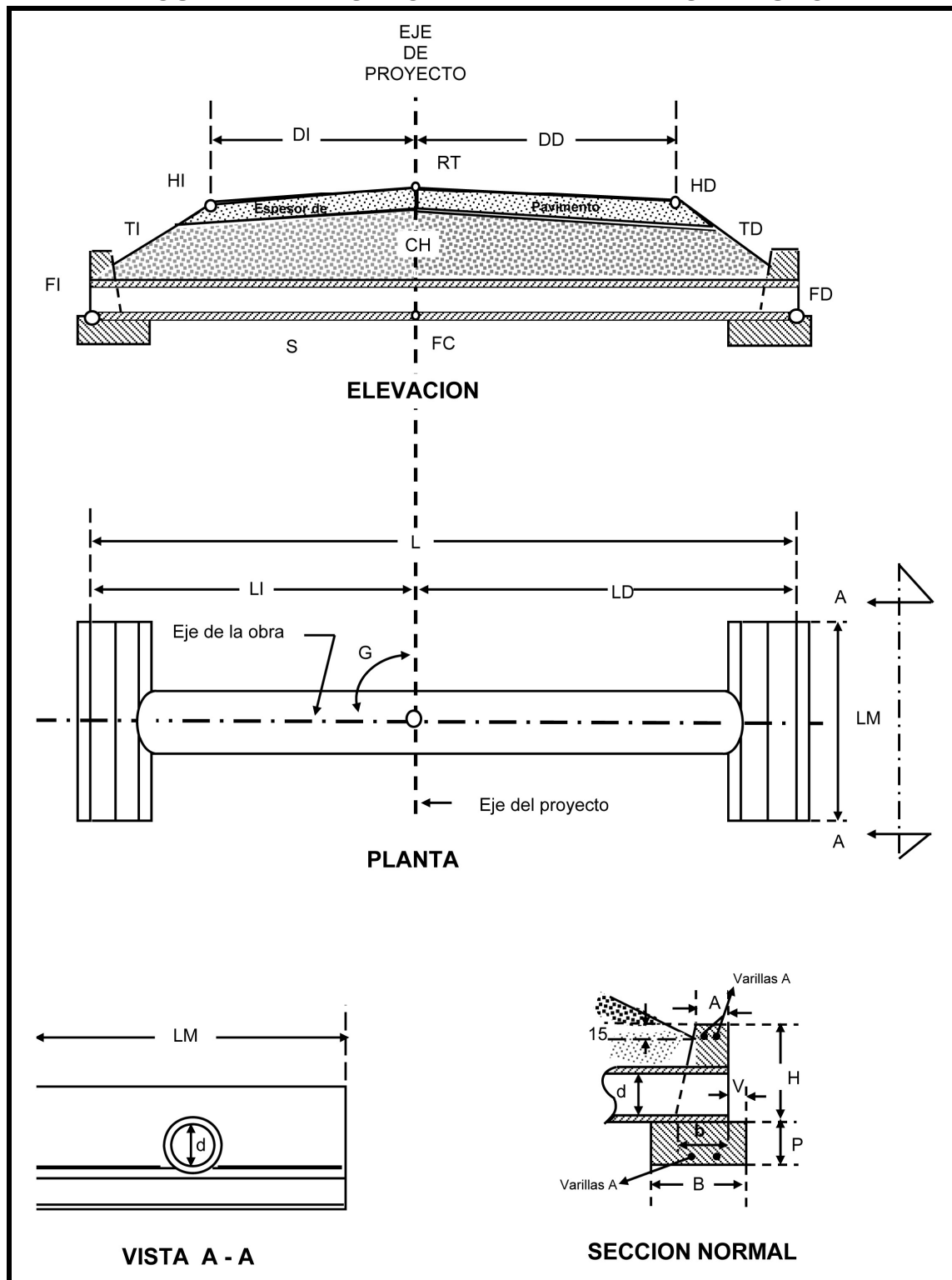
En los suelos saturados y pocos permeables, se producen presiones de poro o de esfuerzos en el agua que reducen la resistencia y provocan una mayor deformación.

Cuando se producen los escurrimientos sobre los taludes de los cortes y terraplenes, se debe a que el agua contenida en la masa del suelo se encuentra a una mayor presión que la presión atmosférica y para captarla basta con introducir en la masa de este suelo, algunas zonas con menor presión, o sea, introducir en esta la presión atmosférica. Esta crea un gradiente hidráulico, de los que resulta un flujo que es encauzado y finalmente seca el suelo adyacente aumentando su resistencia al esfuerzo cortante con lo cual disminuye sus presiones hidrostáticas.

Por lo anterior, se comprende la importancia del drenaje en la estabilidad de los

taludes y del comportamiento del suelo en zonas pantanosas o saturadas.

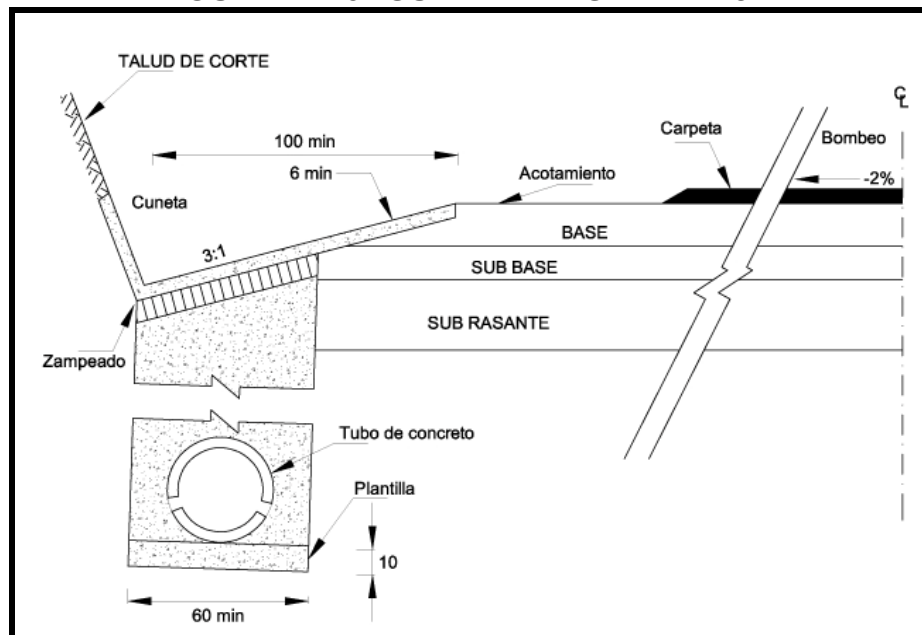
FIGURA IV.24 “DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE TUBO”



Algunas obras de sub-drenaje que se proyectan y construyen en los caminos, son los sub-drenes longitudinales de zanja y los drenes transversales de penetración, los que se describen a continuación.

Drenes Longitudinales de Zanja: La finalidad de este tipo de sub-dren es la de captar y eliminar de las capas que forman las terracerías del camino, el agua proveniente del subsuelo (nivel freático), evitando el daño por saturación de dichas capas. Ver Figura IV.25 “Sub-drenes en zanja”.

FIGURA IV.25 “SUB-DRENES EN ZANJA”



Ya una vez elegido el sitio donde se requiere construir, se excava una zanja con ancho mínimo de 60 cm y a la profundidad requerida, después de lo cual, se coloca una plantilla de 10 cm de espesor con el mismo material filtrante, apisonándola para obtener una superficie resistente y uniforme de acuerdo con la pendiente de proyecto.

Posteriormente a la formación de la plantilla, se colocan los tubos de concreto de 15 cm de diámetro sin juntar, estos ya tendrán previamente cuatro hileras de perforaciones hacia abajo, dos de cada lado en forma simétrica con relación al eje vertical, con una pendiente mínima de 0.5 %.

Una vez colocada la tubería, se cubre esta con los materiales de filtro como gravas y arenas limpias, las que son colocadas a volteo por capas de 20 cm y se

les da un apisonado suave para lograr su acomodo.

Como se aprecia en la Figura IV.25 “Sub-drenes en zanja”, el material que sirve de filtro no debe contener tamaños mayores de 1 ½” (3.81 cm) y con un máximo de material fino de 5 %, pasando la malla 200, además se debe cumplir con un límite líquido menor o igual al 25 %, un Índice Plástico menor o igual al 6 %.

Finalmente, el material de filtro se cubre para evitar su contaminación mediante zampeado o capa impermeable de material estabilizada con cemento, debiendo tener un espesor de 10 a 15 cm.

Posteriormente a la construcción y con el fin de realizar la inspección y verificar a su vez si requiere de la limpieza de los sub-drenes, se construirán pozos de visita o registros en la ubicación y características de cada proyecto en particular.

Drenes Transversales de Penetración: El objeto de estos drenes es el de resolver los problemas de estabilidad en los taludes de los cortes, principalmente, problemas originados por la existencia de fuertes filtraciones de agua en los taludes, produciendo una disminución crítica de la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales en superficie de falla, pudiéndose presentar daños considerables, que en ocasiones impiden el buen funcionamiento de los caminos.

La colocación de estos drenes, permite disminuir la presión de poro en las ya mencionadas superficies de falla, dando consecuentemente una mayor resistencia al esfuerzo cortante en los materiales del corte.

Cuando se recurre a este tipo de solución se utilizan drenes transversales que consisten en tubos de acero o plástico, generalmente de 5 cm (2”) de diámetro, perforados lateralmente y que son introducidos en el talud, previa perforación del mismo con equipo especializado, mediante perforadora del tipo neumático que va montada sobre orugas (track drill), en la que el martillo va montado en la punta de la tubería de perforación; el tubo colocado al centro del barreno es rodeado por la arena que se introduce a presión con equipo especialmente adaptado.

La longitud de los drenes debe ser tal, que garantice la interceptación de superficies de falla teórica, debiendo alojarse en las zonas donde hay flujo de agua. La velocidad de captación del agua depende de la permeabilidad de la masa del suelo, por lo que dependiendo de la magnitud del problema y donde sea

necesario, se colocarán varios pisos o niveles de drenes, preferentemente distribuidos en la forma de tres-bolillo, para hacer más efectivo el drenaje.

Para interceptar la superficie de falla teórica, es necesario que utilicen tubos de la longitud requerida, en caso de que no se cuente con ellos, se deberán unir tramos de longitud comercial, siendo en el caso de los tubos de plástico, mediante el uso de coples pegados con cemento especial. En general, se han utilizado en México sub-drenes cuya longitud va de 15, 20 y hasta 25 m, pero es posible que se utilicen aún más largos.

La pendiente de los tubos hacia el camino, no debe ser menor a 5 % ni mayor a 20 %; la descarga del tubo no debe realizarse directamente sobre los taludes, por lo que debe hacerlo hasta la cuneta mediante conexiones, agregando a la salida del dren en la cara del talud un tubo de plástico del mismo diámetro que el mismo dren y unido por medio de un codo de 45° ó 30°, también de plástico, estos tubos se deberán fijar al terreno por medio de abrazaderas y anclas de alambón del número 2 y 30 cm de longitud a cada 2 m.

Otra forma de encauzar el agua del dren hasta la cuneta, es por medio de mangueras flexibles unidas al dren mediante abrazaderas, debiendo aplicar un sellador y fijando dichas mangueras al talud de la misma manera antes mencionada.

En la salida del dren y para fijarlo sobre el talud, se debe hacer un emboquillado con mortero de cemento o con una mezcla de suelo-cemento.

Drenes Verticales de Arena: En general, en las zonas de la República Mexicana donde se ubican suelos blandos y comprensibles que se caracterizan por su baja resistencia y alta relación de vacíos, tales como las arcillas de alta plasticidad, arcillas de mediana a alta plasticidad y turbas, por lo regular en estos materiales se presenta inestabilidad durante la construcción de terracerías provocando asentamientos y deformaciones, lo que hace necesario establecer algún método para mejorar las propiedades de dicho suelo.

Uno de estos métodos es el de construir dicho terraplén por etapas, dando un periodo suficiente para que las terracerías de terraplén, descarguen su presión en el terreno y se disipen éstas al incrementar la carga cuando aumente la altura, ya

que en este proceso se presentan los fenómenos de consolidación del terreno de cimentación y la incrustación del material que constituyen las terracerías en el área donde descargan estas. Se pueden acelerar dichos procesos mediante la construcción de drenes verticales de arena.

Los drenes verticales de arena, son perforaciones que se realizan a los lados del área de influencia del terraplén y atraviesan el estrato comprensible, colocándose estos según las necesidades de la obra. Estas perforaciones se rellenan con arena graduada o mediante tubos dren plástico ranurados, o drenes de plástico o cubiertos por alguna membrana o geotextil para permitir la filtración del agua.

Al formarse un gradiente entre el suelo de cimentación y los drenes, el agua contenida en la masa del suelo fluye, y posteriormente se extrae por medio de bombeo, provocando con ello, la aceleración del proceso de consolidación.

Estos sistemas de drenaje para la estabilización de suelos blandos, acelera la consolidación primaria, provocando un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante.

Otro procedimiento que se puede utilizar es el de la llamada electro-ósmosis, el cual consiste en pasar una corriente eléctrica entre varillas o tubos de acero o aluminio, cuyo diámetro va de 1 a 10 cm, y que se introducen en la masa del suelo, sirviendo como ánodo y los pozos de bombeo convencionales que sirven como cátodo.

En este método, el agua extraída del suelo, es proporcional a la corriente eléctrica empleada y depende en general de la resistividad y/o permeabilidad del suelo.

Capa Rompedora de Capilaridad: Uno de los aspectos importantes a considerar en zonas donde se presenta una alta precipitación pluvial, es la de la saturación de los materiales, principalmente cuando estos son muy permeables.

Debido a estas características geológicas se presentan flujos subterráneos que ocasionan el reblandecimiento del material y provocan con ellos su inestabilidad. En el caso de terraplenes, estos flujos provocan la ascensión capilar y debilitan la estructura de las capas superiores, además en las zonas donde se presenta el fenómeno de heladas en los meses de invierno, el agua se concentra bajo la superficie del terreno y esta se congela hasta una profundidad de 0.25 cm, lo que

al subir la temperatura ambiente provoca que el agua intersticial concentrada en la masa del suelo empiece a fluir.

Debido a esto, se debe diseñar una estructura que permita el paso y la circulación del flujo de agua de los escurrimientos de los cortes y evitar la posible expansión o aumento de volumen del agua cuando esta se congele.

La construcción de una capa que solucione los aspectos referidos, se hace necesaria no tanto por el aspecto estructural, sino por el funcional de esta. El espesor que requiere la capa rompedora de capilaridad, en general es de 30 a 50 cm y el material que la forma se construye de grava—arena mal graduada, con tamaños máximos de 7.5 cm y contenido de finos no mayor del 5 % (material que pasa la malla 200).

Este material se acomoda mediante tractor, bandeándolo mediante tres pasadas mínimo por cada punto de sus superficie; esta capa en general se coloca debajo de la capa subrasante.

IV.4 ANTEPROYECTO DE ESTRUCTURAS.

Las estructuras dentro del Anteproyecto son elementos que dan continuidad a la ruta elegida cuando la topografía o centros de población presentan obstáculos físicos. Su construcción constituye una parte importante del costo del proyecto considerando este como la integración de pago por derechos de vía en poblaciones más el costo de la ejecución de las estructuras y sus complementos. También es importante la evaluación del impacto económico (Ver Capítulo I “Antecedentes”). En este capítulo se revisa las estructuras integrantes del Anteproyecto.

IV.4.1 PUENTES.

La ruta elegida para el desarrollo del proyecto, identificada como opción 1 del Capítulo II “Elección de Ruta” de este trabajo, corresponde a la ruta norte que parte de la autopista Aeropuerto–Xonacatlán hacia la autopista Chamapa–La Venta.

Desarrolla un libramiento por la parte norte de la población de Xonacatlán, y de ahí va paralelo a la autopista Xonacatlán–San Miguel Mimiapan, esta última se rodea

por su parte sur y se enfila hacia San Francisco Chimalpa y termina al norte del Entronque de la Autopista Chamapa-Lechería

Esta alternativa cuenta con una longitud de 33 km y 48 curvas para una velocidad de 80 a 110 km/hr. Las características topográficas del terreno van de lomerío suave a zona montañosa; en el trazo propuesto se encuentran catorce cruces con caminos existentes de diferentes importancias y no existen cruces con líneas de ferrocarril. Se ha determinado la necesidad de construir dieciocho estructuras de diferentes claros. En las siguientes secciones se define la terminología y se describen las estructuras necesarias

Un puente, vehicular o ferroviario, es una estructura que permite la continuidad de un camino truncado por depresiones, ubicadas a una cota inferior a la de su rodamiento.

Desde el punto de vista de la ingeniería de vías terrestres forma parte del sistema de drenaje mayor y se considera así a estructuras con un claro mayor de 6 m.

Como solución a condiciones topográficas, estas estructuras buscan salvar, de manera económica, obstáculos que de otra manera demandarían recursos para movilizar grandes volúmenes de tierras, y frecuentemente para las condiciones impuestas por cuencas hidrológicas las dimensiones no permiten otra solución de manera económica.

Tomando en cuenta las condiciones mencionadas el diseño de un puente debe tomar en cuenta los accidentes topográficos, hidrológicos y la definición geométrica propia del camino.

Desde el punto de vista estructural los puentes representan un área de alta especialización donde se aplican las técnicas y teorías más avanzadas. De acuerdo a los obstáculos que presente el proyecto carretero y la importancia que este tenga, el diseño de puentes desarrolla desde elementos únicos a soluciones con anteproyectos típicos empleando elementos prefabricados.

Considerando el punto de vista constructivo los puentes requieren de estudios previos de diferentes especialidades de la ingeniería. Un anteproyecto debe identificar los elementos básicos geológicos, hidrológicos y ambientales en la ubicación específica de cada estructura mismo que sirve de base para las

consideración inicial del diseño y que deberán ser detalladas previos al momento de iniciar la obra.

El proyecto de un puente involucra diversas soluciones, con el fin de calcular el costo aproximado de alternativas y elegir la adecuada. Estas alternativas se desarrollan con base a las dimensiones que tengan otros puentes similares resueltos, o bien realizando cálculos preliminares. Cada opción debe cumplir todos los requisitos geométricos, topográficos e hidráulicos que influyen, como ejemplo la separación entre apoyos y altura de pilas.

IV.4.1.1 ESPECIFICACIONES PARA DISEÑO DE PUENTES.

En México el diseño de Puentes como elementos carreteros se encuentran definidas por normas y manuales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), las cuales están clasificadas de la siguiente manera: Puentes Nuevos (N), Libro de Proyecto (PRY), Tema Carreteras (CAR), Parte Proyecto de Puentes y Estructuras (6).

Esta norma incluye los Títulos y Capítulos siguientes:

Ejecución de Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares	001/01
Características Generales de Proyecto	002
Cargas y acciones	013
Viento	004
Sismo	005
Combinaciones de cargas	006
Distribución de cargas	007
Consideraciones para Puentes Especiales	008
Presentación del Proyecto de Nuevos Puentes y Estructuras Similares	009

De modo que para identificar cada una de las Normas, se deben agrupar los diferentes segmentos como en el siguiente ejemplo:

Puentes Nuevos: **N:**
Libro de Proyecto: **N.PRY.**
Tema Carreteras: **N.PRY.CAR.**
Parte Proyecto de Puentes y Estructuras: **N.PRY.CAR.6.**
Características Generales de Proyecto: **N.PRY.CAR.62**

La Norma de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), incluye las siguientes definiciones:

- 1) Puente.** Estructura con longitud mayor a seis metros (6), que se construye sobre corrientes o cuerpos de agua y cuyas dimensiones quedan definidas por razones hidráulicas.

En el Anteproyecto se encuentran nueve puentes carreteros. Estas estructuras se encuentran ubicados en los cadenamientos 06+850 (114.33 m de claro), 10+000 (80.44 m de claro), 13+010 (107.01 m de claro), 17+200 (182.12 m de claro), 17+990 (59.21 m de claro), 20+330, (139.22 m de claro), 25+450 (140 m de claro), 27+870 (90.29 m de claro) y 28+780 (110 m de claro).

- 2) Viaducto.** Estructura que se construye sobre barrancas, zonas urbanas u otros obstáculos y cuyas dimensiones quedan definidas por razones geométricas, dependiendo principalmente de la rasante de la vialidad y del tipo de obstáculo que cruce. En el Anteproyecto se encuentran tres viaductos en los siguientes cadenamientos 05+850 (139.26 m de claro), 29+590 (173.65 m de claro) y 30+400 (270 m de claro)

- 3) Paso Superior Vehicular (PSV).** Estructura que se construye en un cruce de la autopista de referencia por encima de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de ambas vialidades.

En el Anteproyecto se encuentran seis estructuras de este tipo: 03+780 (estructura de 17 m cruce con terracería), 10+570 (estructura de 17 m cruce con terracería), 10+960 (estructura de 17 m cruce con terracería), 20+010 (estructura de 35 m cruce con la Carretera Federal 134 Toluca–Naucalpan), 22+000 (estructura de 17 m cruce con terracería), 31+640 (estructura de 31 m cruce con la Carretera Federal 134 Toluca–Naucalpan).

- 4) **Paso Inferior Vehicular (PIV).** Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por abajo de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de ambas vialidades.

En el Anteproyecto se encuentran ocho estructuras de este tipo: 02+380 (estructura de 60 m cruce con la Autopista Xonacatlán–Villa Cuauhtémoc), 04+240 (estructura de 60 m cruce con la Carretera Villa Cuauhtémoc–Santa Ana Jilotzingo), 05+750 (estructura de 60 m cruce con la Autopista Xonacatlán–Santa Ana Jilotzingo), 08+050 (estructura de 60 m cruce con la Autopista Xonacatlán–San Miguel Mimiapan), 01+940 (estructura de 56 m cruce con terracería), 09+620 (estructura de 56 m cruce con terracería), 13+220 (estructura de 56 m cruce con terracería) y 22+600 (estructura de 56 m cruce con terracería).

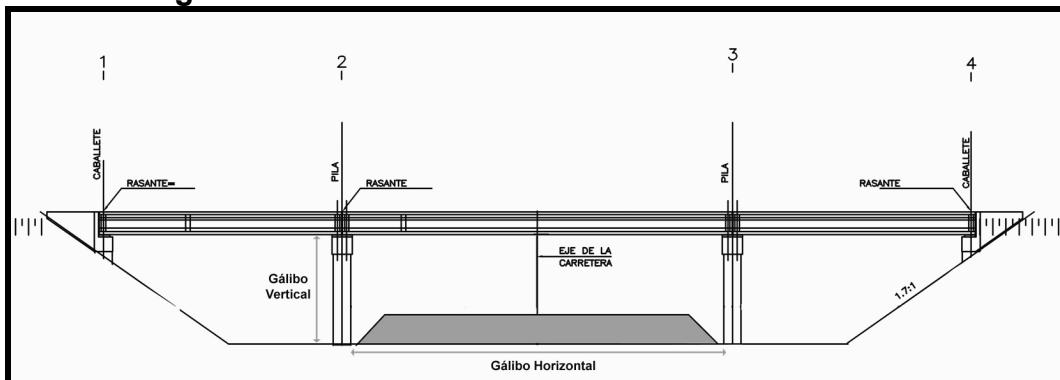
La ubicación de estas estructuras puede consultarse en el Anexo D “Plano de Ubicación de Estructuras”.

A continuación se presentan definiciones relacionadas al diseño de puentes tales como términos para describir características (dimensiones y características de la cimentación de la subestructura y la superestructura) así como elementos complementarios adicionales a la estructura propiamente:

- **Gálibo Horizontal o Espacio Libre Horizontal.**
Se define por la distancia entre paramentos de los estribos entre los paramentos de un estribo y una pila entre los paramentos de un estribo y una pila entre los paramentos de dos pilas o columnas contiguas entre los ceros de los conos de derrame o entre los ceros de un cono de derrame y el paramento de una pila medida normalmente el eje longitudinal del cuerpo de agua la carretera o vía férrea que se cruce. Ver Figura IV.26 “Gálibos Vertical y Horizontal”.
- **Gálibo Vertical o Espacio Libre Vertical.**
Se define la distancia mínima vertical entre el intradós o cara inferior de la superestructura y cualquier punto de la calzada y de sus acotamientos la parte superior del riel más alto o el Nivel de Aguas

de Diseño (NADI) de la corriente. Ver Figura IV.26 “Gálibos Vertical y Horizontal”.

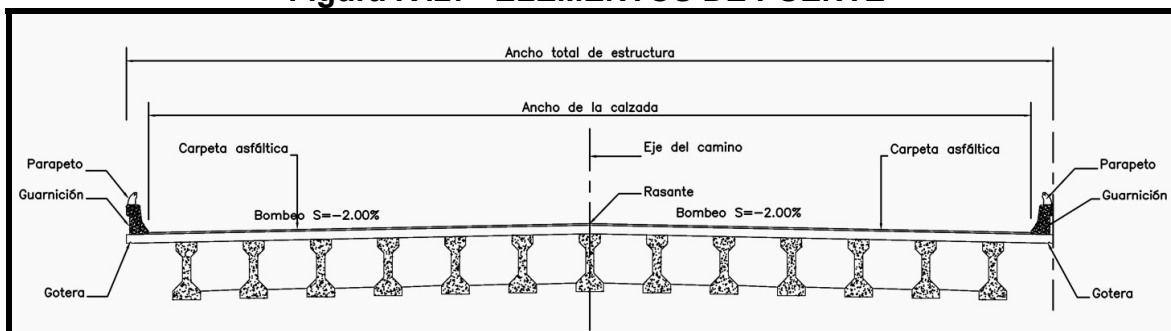
Figura IV.26 “GÁLIBOS VERTICAL Y HORIZONTAL”



- **Ancho de Calzada.**
Cuando la estructura da servicio al tránsito de vehículos automotores peatones y/o bicicletas el ancho de calzada corresponde al espacio libre entre las partes inferiores de las guarniciones o banquetas medido normalmente al eje longitudinal de la estructura. Si no existen guarniciones o banquetas el ancho libre es la distancia mínima entre las caras interiores de los parapetos de la estructura. Ver Figura IV.27 “Elementos de puente”.
- **Ancho Total de la Estructura.**
El ancho total de la estructura es la distancia entre las caras extremas de la superestructura medida normalmente a su eje longitudinal. Para estructuras que den servicio al tránsito de vehículos automotores peatones y/o bicicletas es la suma de los anchos de calzada de las guarniciones o banquetas con los parapetos y en su caso de las medianas. Ver Figura IV.27 “Elementos de puente”.
- **Superficie de Rodadura.**
Cuando la estructura de servicio al tránsito de vehículos automotores peatones y/o bicicletas la superficie de rodadura de la calzada debe ser resistente al derrapamiento. Ver Figura IV.27 “Elementos de puente”.
- **Drenaje de la Calzada.**
El drenaje transversal de la calzada se hace mediante el bombeo de

la sección transversal de la superficie de rodadura y el longitudinal por una contraflecha o por la pendiente longitudinal de la rasante. No debe permitirse que el agua baje por las cunetas de los accesos escurra sobre la estructura. Para evitarlo al inicio de ésta debe construirse una obra que la intercepte y capte al igual que la del drenaje transversal. En estructuras largas el drenaje se da por medio de drenes o coladeras del tamaño y número suficiente para drenar el agua en forma apropiada. En estructuras cortas de claros continuos particularmente en pasos superiores vehiculares pueden omitirse los drenes y conducirse el agua de la calzada a bajadas próximas a los extremos de la estructura. Ver Figura IV.27 “Elementos de puente”.

Figura IV.27 “ELEMENTOS DE PUENTE”



- **Sobre elevación.**

La sobre elevación de la superficie de rodamiento de una estructura en curva horizontal se hace de acuerdo a las especificaciones establecidas en el proyecto geométrico de la carretera sin embargo no debe exceder del diez por ciento (10 %).

- **Juntas de Expansión.**

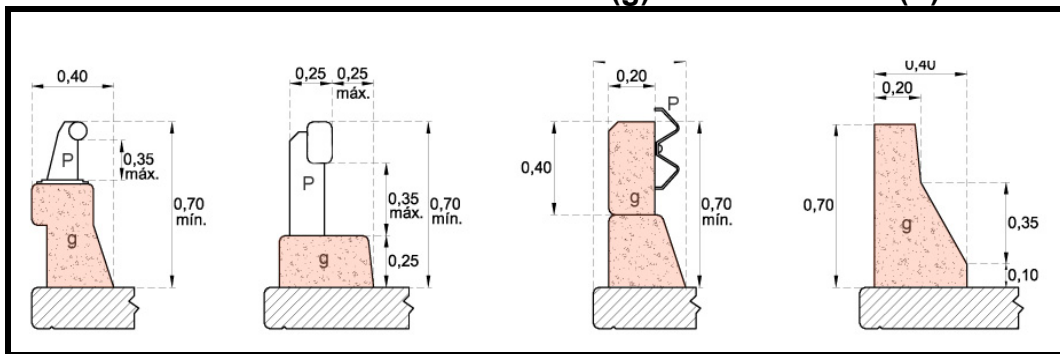
Para la expansión o la contracción de la estructura por los cambios de temperatura se colocan juntas (holguras) en sus extremos y en las secciones en que se requieran. Las juntas deben sellarse con materiales flexibles capaces de tomar las expansiones y contracciones que se produzcan y ser impermeables. Si esto no es posible se colocarán bajo ellas canalones para la captación y desalojo del agua.

- **Guarniciones.**

Son elementos de concreto colocados en las orillas de la calzada de la estructura los cuales guían el tránsito vehicular y sirven de base a un parapeto o a una defensa tendrán una altura mínima sobre la superficie de rodadura de treinta centímetros y un ancho mínimo en sus bases de cuarenta centímetros. Las caras de las guarniciones del lado de la calzada serán inclinadas con talud de uno a tres (1:3) horizontal a vertical respectivamente.

En los accesos a la estructura las guarniciones se prolongarán en una longitud mínima de veinte metros y estarán provistas de defensas excepto en zonas urbanas en las cuales deben tener parapetos. Ver Figura IV.28 “Guarniciones (g) y Parapetos (P)”.

FIGURA IV.28 “GUARNICIONES (g) Y PARAPETOS (P)”



- **Parapetos.**

Los parapetos son sistemas de postes verticales y elementos longitudinales que se colocan sobre las guarniciones o las banquetas a lo largo de los extremos longitudinales de la estructura principalmente para la protección de los usuarios. Los elementos longitudinales pueden ser uno o varios y estar constituidos por vigas de concreto tubos y perfiles metálicos o defensas metálicas de lámina. Ver Figura IV.28 “Guarniciones (g) y Parapetos (P)”.

- **Banquetas.**

Estos elementos de concreto construidos en las orillas de la calzada tienen por objetivo en condiciones de seguridad el paso de peatones

tiene un ancho libre mínimo de setenta y cinco centímetros medido horizontalmente desde el pie de la banqueta hasta el plano vertical tangente al parapeto por el lado de la calzada.

- **Medianas.**

Son elementos de concreto o acero que se colocan sobre la calzada de la estructura cuando la carretera es de tres o más carriles y cuenta con barreras centrales para separar los sentidos de circulación e incrementar la seguridad de los usuarios tendrán una altura mínima de ochenta centímetros y un ancho en su base no mayor de sesenta centímetros.

- **Instalaciones.**

Es necesario que en el proyecto se diseñen los elementos que se requieran para instalaciones tales como postes de alumbrado; ductos para agua cables de electricidad teléfono gas drenaje; así como postes para cables de trolebús y tranvías en zonas urbanas entre otros.

IV.4.1.2 CIMENTACIÓN DE PUENTES CARRETEROS.

En la ingeniería de puentes suele utilizarse el término “infraestructura” para referirse a los elementos estructurales que están en contacto directo con el terreno de apoyo (cimentación) reservándose el término “subestructura” para los que están por arriba del nivel del terreno natural y hasta la “superestructura” del puente.

IV.4.1.2.1 INFRAESTRUCTURA DE PUENTES.

Los puentes son estructuras que producen grandes concentraciones de carga en sus apoyos y por su funcionamiento éstas se incrementan por el paso de los transportes cuyo efecto dinámico se suma a su carga estática.

Debido a que el desempeño mecánico de un puente origina concentración intensa de cargas en sus apoyos resulta evidente que entre más amplio sea el claro del puente mayor es la demanda de apoyo. Las características de la cimentación a utilizar deberán permitir el cumplimiento de los requisitos técnicos fundamentales

de estabilidad seguridad y funcionalidad mecánicas definidos con un criterio racional y aplicando los reglamentos o las normas de construcción vigentes. Las características de los materiales de apoyo y de construcción disponible así como los demás recursos constructivos y condiciones generales del caso suelen ser los elementos de partida para plantear los procedimientos y programas constructivos. A partir de las demandas específicas de capacidad de carga para la cimentación de un puente así como de la caracterización geotécnica del sitio se decide la utilización del sistema de cimentación adecuado: en zapatas pilotes precolados pilotes colados en el lugar pilotes metálicos cajones cilindros o una combinación de ellos.

IV.4.1.2.2 EXPLORACIONES PREVIAS.

Para evaluar geotécnicamente los sitios de apoyo de los cimientos de los puentes se obtuvo información de la zona a través de experiencias previas en la zona del anteproyecto, así como las clasificaciones generales del Instituto Nacional de Geografía (INEGI).

Sin embargo cuando se trata de un trabajo a realizar en la vida profesional, la información necesaria para estas evaluaciones debe realizarse a través de exploraciones previas (geológicas, geofísicas y geotécnicas) que permiten caracterizar el terreno para los requerimientos de apoyo de la futura obra. Aun en el caso de un proyecto definitivo frecuentemente sucede que una vez en el sitio de los trabajos se deben corregir las consideraciones geotécnicas del diseño debido a la gran extensión física de este tipo de proyectos.

Con la información recabada se ha identificado que no es necesario el tratamiento previo de ningún área (no se detectó la presencia de cavernas, fallas, grietas o materiales susceptibles a la socavación entre otros).

A continuación se presenta la Tabla IV.19 “Exploración Geotécnica con fines de anteproyecto”. Es de mencionar que para la elaboración del proyecto ejecutivo y realización de los trabajos se requiere de una exploración y estudio detallado de la ubicación de cada estructura el Anteproyecto presenta la información general con objeto de definir las condiciones y diseño general.

**TABLA IV.19 (1/2) “EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON
FINES DE ANTEPROYECTO”**

CADENAMIENTO	ESTRATO (espesor m)		DESCRIPCIÓN
0+000 a 3+400	1	0.30	Tierra Vegetal
	2	0.8	Arcilla café rojiza gris oscuro de consistencia blanda a media poco húmeda (CH)
	3	Indefinido	Arcilla con arena fina color gris claro compacta poco húmeda con gravas aisladas (CL-SC)
3+400 a 4+350	1	0.30	Tierra Vegetal
	2	1.5	Arcilla con arena color café claro compacta poco húmeda con gravas aisladas. (SC)
	3	Indefinido.	Toba areno limosa con grava y fragmento chico en 10 % aproximada Compacta. (SM-MG)
4+350 a 5+800	1	0.30	Tierra Vegetal
	2	8	Toba arena limosa con gravas y fragmentos chicos en 10 % compacta (GM-GM)
	3	Indefinido.	Brecha volcánica (Rie) al atacarse se obtiene fragmentos chicos y medianos aislados con gravas y arenas (Fcm-GM-SM)
5+800 a 7+150	1	0.30	Tierra Vegetal
	2	Indefinido	Toba andesítica bien cimentada al atacarse se obtienen gravas y arenas
7+150 a 9+600	1	0.3	Tierra Vegetal
	2	Indefinido	Toba andesítica muy alterada (Rie) al atacarse se obtienen arenas limosas con gravas y 8 % de fragmentos chicos. (SM-Fcm) se obtienen gravas arenas limosas con gravas y 8 % de fragmentos chicos. (SM-Fcm)
9+600 a 11+530	1	0.25	Tierra Vegetal
	2	Indefinido	Toba andesítica alternada (Rie) al atacarse se obtendrán gravas arenas limosas con fragmentos chicos y medianos. (Fcm-GM)
11+530 a 12+050	1	0.20	Tierra Vegetal
	2	Indefinido	Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtienen fragmentos medianos y chicos con gravas y fragmentos grandes de aislados (Fcm-GM)
12+050 a 12+950	1	0.30	Tierra Vegetal
	2	Indefinido.	Toba andesítica alterada y muy alterada (Rie) al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)

Esta Tabla continúa en la siguiente página

Esta Tabla continúa de la página anterior.

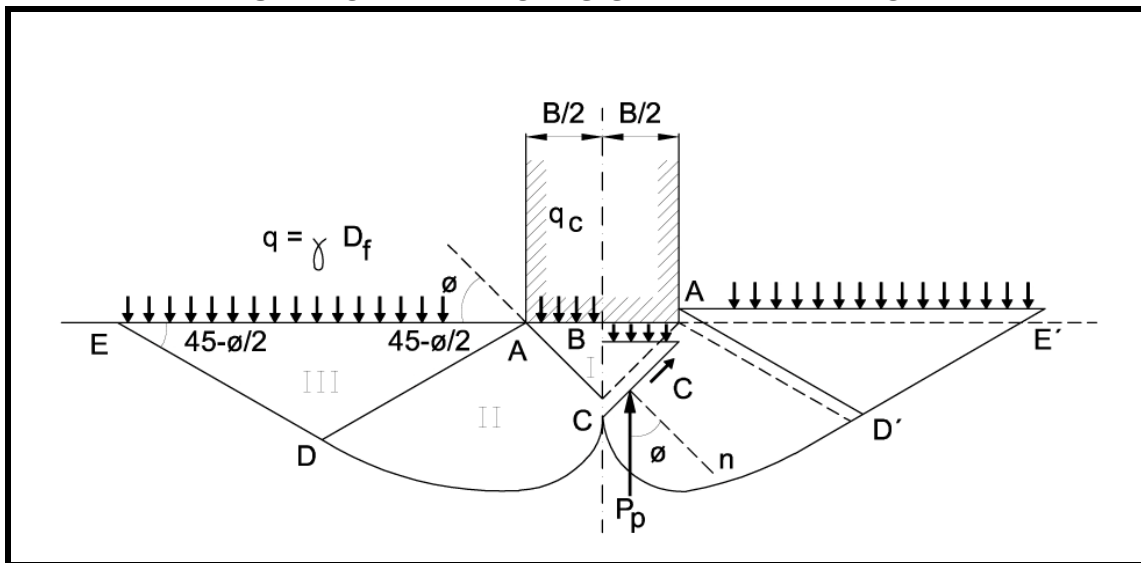
**TABLA IV.19 (2/2) “EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA CON FINES DE
ANTEPROYECTO”**

CADENAMIENTO	ESTRATO (espesor m)		DESCRIPCIÓN
12+950 a 14+100	1 2	0.25 Indefinido.	Tierra Vegetal Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse obtienen fragmento chico y mediano con grava y fragmento grande aislado. (Fcm-GM)
14+100 a 16+300	1 2	0.30 Indefinido.	Tierra Vegetal Toba andesítica alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)
16+300 a 19+010	1 2	0.25 Indefinido	Tierra Vegetal Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas y fragmentos grandes aislados. (Fcm-GM)
19+010 a 20+200	1 2	0.30 Indefinido	Tierra Vegetal Toba andesítica alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)
20+200 a 21+050	1 2	0.25 Indefinido	Tierra Vegetal Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos. (Fcm-GM)
21+050 a 23+700	1 2	0.20 Indefinido	Tierra Vegetal Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtiene fragmento mediano y chico con grava y fragmento grande aislado (Fcm-GM)
23+700 a 25+770	1 2	0.30 Indefinido.	Tierra Vegetal Toba andesítica alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)
25+770 a 31+050	1 2	0.25 Indefinido.	Tierra Vegetal Andesita (Rie) poco alterada y fracturada al atacarse se obtiene fragmento chico y mediano con grava y fragmento grande aislado. (Fcm-GM)
31+050 a 32+730	1 2	0.30 Indefinido.	Tierra Vegetal Toba andesítica alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)
32+730 a 34+150	1 2	0.30 Indefinido	Tierra Vegetal Toba andesítica muy alterada y muy fracturada (Rie) al atacarse se obtienen fragmentos chicos y medianos con gravas. (Fcm-GM)
34+150 a 35+000	1 2	0.30 Indefinido	Tierra Vegetal Toba andesítica (Rie) café con gravas y finos hasta el 40 % de mediana plasticidad húmeda y muy compacta. (SC)

IV.4.1.2.3 TEORIAS DE CAPACIDAD DE CARGA.

Una cimentación es en realidad el resultado de la superposición de dos problemas diferentes si se juzgan las cosas desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos. El primero respondería a la pregunta de qué esfuerzo puede comunicar el cimiento o conjunto de ellos al terreno sin sobrepasar la resistencia de éste es decir sin provocar una falla. El segundo contestaría a la no menos importante cuestión de qué deformaciones va a sufrir el suelo. El cuerpo de conocimiento de la Mecánica de Suelos responde esta cuestión con la Teoría de Capacidad de Carga; la respuesta al segundo tema es el Método de Análisis de Asentamientos. La solución al problema de la cimentación de puentes se aplica la teoría de Terzaghi. En la Figura IV.29 “Mecanismo de falla de acuerdo a la hipótesis del Dr. Terzaghi” se ilustra el principio de la Teoría.

FIGURA IV.29 “MECANISMO DE FALLA DE ACUERDO A LA HIPÓTESIS DEL DR. TERZAGHI”



En lo que se refiere al cálculo de asentamientos la Mecánica de Suelos ha desarrollado soluciones solo en el caso de estructuras cimentadas sobre suelos finos arcillosos basándose en la Teoría de Consolidación del Dr. Terzaghi. A continuación se ilustra la Ecuación IV.1 “Valor Límite de Carga del Dr. Terzaghi”.

Ecuación IV.1 “VALOR LÍMITE DE CARGA DEL DR. TERZAGHI”

$$q_c = c N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

c Cohesión sobre el suelo del cimientto.
 B Ancho del Cimiento.
 γ Sobrecarga actuante al nivel de desplante: peso volumétrico de material de desplante.
 D_f Sobrecarga actuante al nivel de desplante: D_f profundidad de desplante.
 $N_c N_q N_\gamma$ Factores de capacidad de carga.

TABLA IV.20 “CAPACIDAD DE CARGA PARA ANTEPROYECTO”

CADENAMIENTO	MATERIAL SOBRE EL QUE SE EFECTUARÁ EL DESPLANTE	DESPLANTE m	CAPACIDAD DE CARGA ton/m ²
5+780 a 5+920	Toba areno limosa bien cementada de grava y fragmentos indefinidos (40-60-00)	3 4.50	20 25
6+780 a 6+920	Toba andesítica gris cementada con gravas y fragmentos chicos al atacar se obtienen (GM-SM-FCM) 00-100-00 indefinidos	3.0 4.0	15 20
10+740 a 10+940	Toba andesítica gris cementada con gravas y fragmentos chicos al atacar se obtienen (GM-SM-FCM) 00-100-00 indefinidos	3.0 4.0	15 20
12+960 a 13+060	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	1.5 2.0	25 30
17+100 a 17+300	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	2.0 2.5	25 30
17+960 a 18+020	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	1.50 2	25 30
20+260 a 20+400	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	1.5 2.0	25 30
25+380 a 25+520	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	1.5 2.0	25 30
27+800 a 27+940	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	1.5	25
28+760 a 29+020	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	1.5 2.0	25 30
29+500 a 29+680	Roca andesítica (Rie) poco alterada y fragmentada con empaques de arena limosa al atacar se obtienen (FMC-GM) 00-30-70 indefinidos	3.0 4.5	28 35

En referencia a los sustratos de roca en la mayor cantidad de los casos se considera que la resistencia es suficiente para resolver la solicitudes de la estructura salvo los casos en los cuales subyacen capas inferiores de menor resistencia (como suelos arcillosos) o bien la existencia de cavernas. Adicionalmente los estudios de campo verificar la presencia de agrietamientos importantes que pudieran generar deslizamientos por lo cual en este caso la solución se debe diseñar un sistema de anclas de fricción adecuado.

En todos los sitios donde se deberán construir las estructuras se encontró que el sustrato no corresponde a roca de acuerdo a la exploración geotécnica reportada en la Tabla IV.19 “Exploración geotécnica con fines de anteproyecto” por lo cual para el diseño definitivo se debe aplicar una metodología basada en la Teoría de consolidación de Terzaghi.

A continuación se presenta la Tabla IV.20 “Capacidad de carga para anteproyecto” elaborada con información típica de la región del Anteproyecto. Estos valores de Anteproyecto tienen la finalidad de dimensionar la propuesta. Para cada caso en particular y en base al tipo de estructura que se elija. la cimentación puede ser a base de zapatas y/o pilas. la zapata se debe alojar superficialmente en su totalidad en terreno firme evitando en lo posible voladizo.

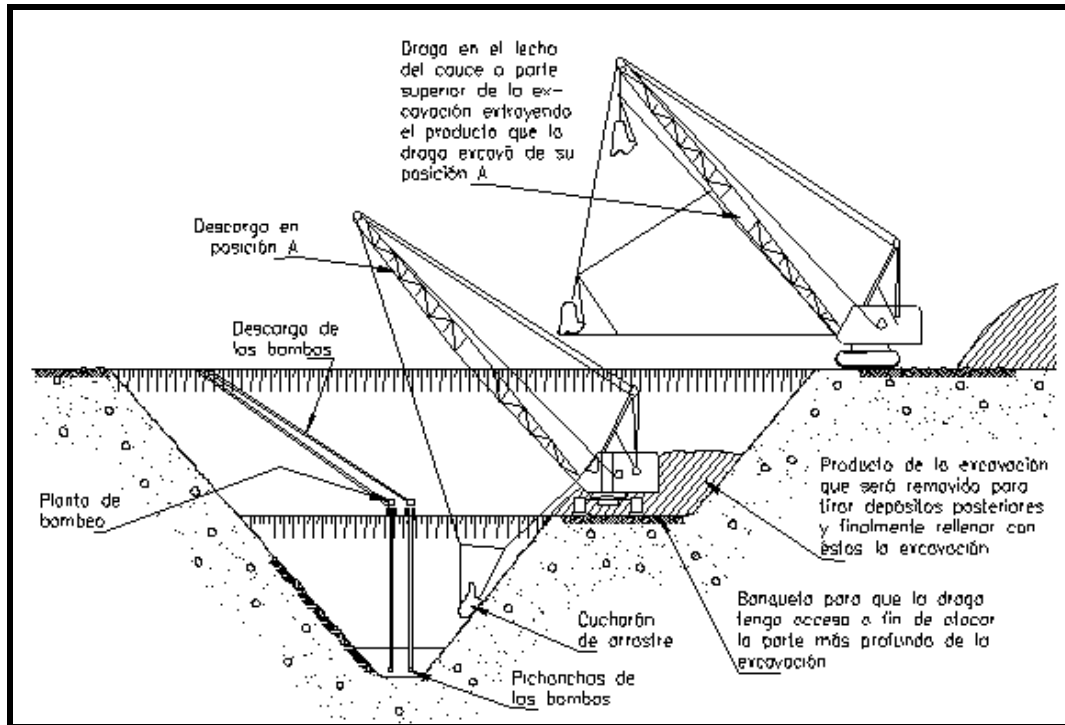
IV.4.1.2.4 TIPOS DE CIMENTACIÓN.

Las cimentaciones suelen manejarse como pertenecientes a alguno de dos grandes grupos: las superficiales y las profundas. No hay reglas estrictas para definir el empleo de cimentaciones superficiales o profundas. Las consideraciones económicas suelen ser factor decisivo en la elección final. Ver Figura IV.30. “Procedimiento constructivo para cimentación superficial”

Es regla general que las cimentaciones superficiales son menos costosas. En México una cimentación superficial sobre zapatas conviene hasta profundidades aún en el orden de 5 m y 6 m; si no existen problemas especiales de agua. El flujo de agua en las paredes de la excavación y en las masas de suelo que la rodean plantea todos los problemas de estabilidad de taludes obligando al empleo de ademes que hacen perder la ventaja económica invirtiendo fácilmente la balanza

económica a favor de las cimentaciones profundas. Ver la Figura IV.30 “Procedimiento Constructivo para Cimentación Superficial de puentes de la Autopista Toluca–Naucalpan”.

FIGURA IV.30 “PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL DE PUENTES DE LA AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”



Cuando la resistencia del terreno sea baja o las cargas transmitidas a la cimentación son altas las áreas requeridas para el apoyo de la cimentación deben aumentarse llegándose al empleo de zapatas corridas que sostienen varios elementos estructurales de transmisión de carga o de losas de cimentación que se desarrollan sin interrupciones en el área de apoyo.

Si aún en el caso de emplear una losa corrida la presión transmitida el subsuelo sobrepasa la capacidad de carga de éste o se piensa que produce asentamientos excesivos debe recurrirse a soportar la estructura en estratos más firmes que se encuentren a mayores profundidades llegándose así a las cimentaciones profundas.

Cimentaciones profundas. A veces los estratos con suficiente resistencia no aparecen dentro de las profundidades alcanzables económicamente generándose así el otro tipo de cimentaciones profundas en el que los elementos de la

cimentación distribuyen por fricción o adherencia sus cargas a espesores suficientemente grandes de suelo.

Los elementos que forman las cimentaciones profundas más frecuentemente utilizadas se distinguen entre sí por la magnitud de su diámetro o lado según sean circulares o rectangulares que son las secciones más comunes. Los pilotes son los elementos más esbeltos con dimensión transversal comprendida entre los 0.30 m y 1 m; la inmensa mayoría de ellos tienen diámetros o anchos que fluctúan entre 0.30 m y 0.60 m Figura IV.31 “Cimentación Profunda”; pueden ser de concreto o de acero y hay numerosos tipos y variedades. Los elementos cuyo ancho sobrepasa 1 m pero no excede 2 m suelen llamarse pilas. En rigor no hay dimensión definida entre pilas y pilotes.

Por último se requieren muchas veces elementos de mayor sección que los anteriores a los que se llama cilindros cuando tienen tal forma y cajones de cimentación cuando son paralelepípedos; los diámetros de los primeros suelen oscilar entre 3 m y 6 m y se construyen huecos por razones de ahorro de materiales. Siempre son de concreto armado.

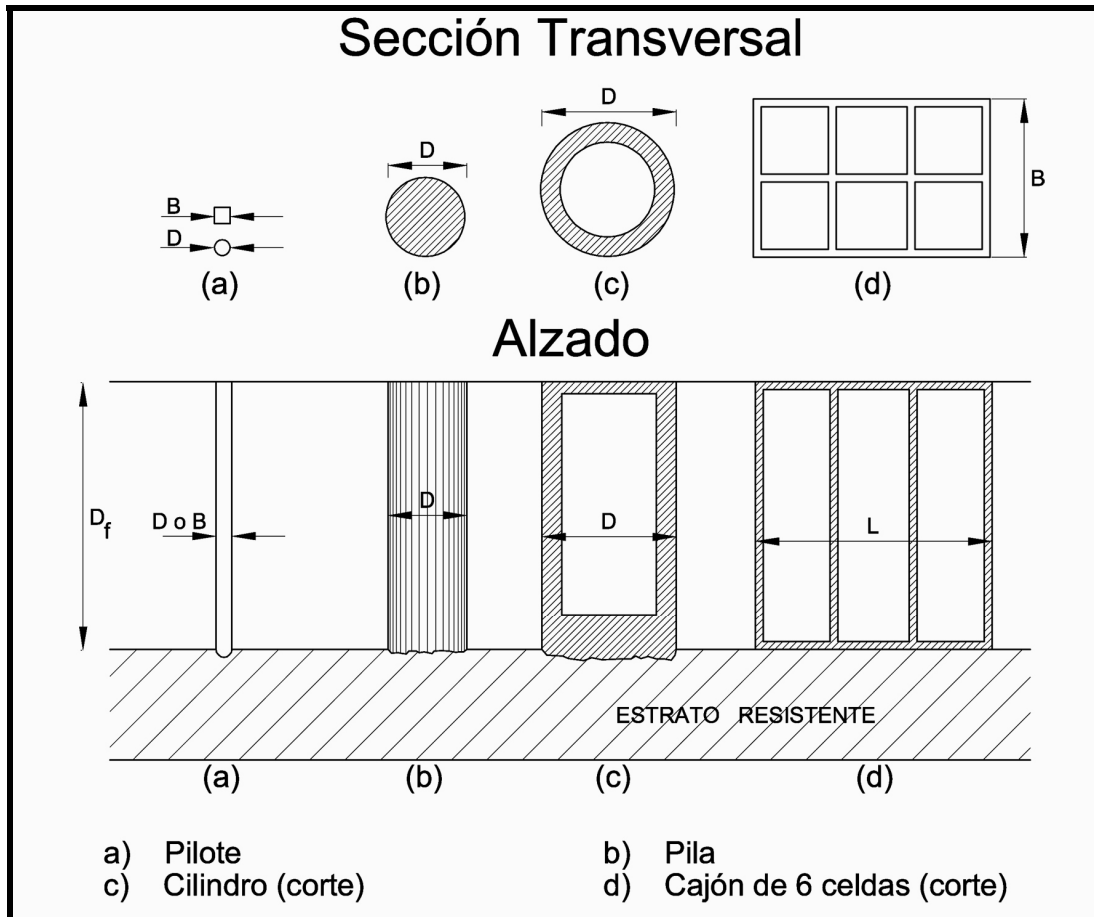
No existe distinción real entre cilindros y cajones aparte de la geometría. En los puentes de vías terrestres los cilindros se usan mucho más quedando los cajones generalmente como solución alternativa para los más grandes.

Los casos en los cuales resulta económica la utilización de cajones son las siguientes:

- 1) Cuando existen grandes concentraciones de carga en una zona de la cimentación como ocurre en puentes de grandes claros.
- 2) En cimentaciones con grandes cargas en donde existe importante tirante de agua de forma permanente.
- 3) Cuando existen problemas muy grandes de control de agua en cualquier excavación que hubiera que efectuar como alternativa.
- 4) Cuando los elementos de la cimentación vayan a estar sujetos a severas fuerzas horizontales.
- 5) Cuando se requiera una cimentación profunda de cualquier clase pero la presencia de boleos o cualquier otro obstáculo hagan difícil

el hincado de pilotes.

FIGURA IV.31 “TIPOS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS”



Como puede verse la frontera entre pilas pilotes cilindros y cajones no es muy clara geoméricamente hablando. De manera análoga los problemas teóricos y de aplicación de la Mecánica de Suelo son básicamente los mismos. Resulta más fácil de establecer una diferencia de acuerdo con el procedimiento constructivo. En el caso del Anteproyecto de una Autopista de Cuatro Carriles las condiciones indicadas en la Tabla IV.20 “Capacidades de carga para anteproyecto”, las condiciones hidrológicas y solicitaciones de carga se propone el uso de zapatas aisladas de concreto reforzado concreto $f'c$ de 250 kg/cm².

IV.4.1.3 SUBESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA.

Como se indicó anteriormente la parte estructural de un puente ubicada sobre la cimentación se denomina “subestructura” los elementos estructurales ubicados por

arriba de estos se denominan “superestructura” y en la próxima sección se revisarán las opciones existentes para solucionar las diferentes condiciones a resolver finalmente se presenta el diseño tipo para los puentes del Anteproyecto.

IV.4.1.3.1 SUBESTRUCTURA: ESTRIBOS Y PILAS.

Los estribos son los apoyos extremos que tienen la función adicional de contener la tierra de relleno en los accesos de los puentes.

La altura mínima de los estribos y pilas se rige por requerimientos de accesibilidad para el mantenimiento de la superestructura y los apoyos; por requerimientos de protección contra salpicaduras en puentes sobre agua por requisitos de altura libre en puentes sobre vías transitadas. No hay límite superior para la altura de las pilas excepto el que imponen restricciones económicas.

Los estribos de puentes son básicamente pilas con muros en los flancos. Los estribos para Superior Vehicular (PSV).o Paso Inferior Vehicular (PIV's) a menudo son simples caballetes de concreto que se construyen monolíticamente con la superestructura. Los estribos para puentes de acero y para puentes de concreto de claro largo y que están sujetos a movimientos importantes de rotación y longitudinales en los extremos deben diseñarse como estructuras independientes que proporcionen un área a nivel para los apoyos del puente (asientos del puente) y un muro de respaldo. El muro o tronco bajo el asiento del puente de tales estribos pueden construirse de concreto sólido o de concreto reforzado de pared delgada con contrafuertes o sin ellos pero en raras ocasiones se utiliza mampostería.

Los muros laterales que contienen en el relleno del acceso deben tener la longitud adecuada para evitar la erosión y que se desperdigue el relleno. Pueden construirse monolíticamente con el muro del respaldo y soportados sobre zapatas aisladas. Los muros laterales pueden disponerse en una línea recta con el frente del estribo paralelos con el eje del puente o en un ángulo intermedio respecto con el frente del estribo que sea adecuado a las condiciones del lugar. Si existen las condiciones de una cimentación adecuada con frecuencia se prefiere el arreglo paralelo al eje del puente (estribo en forma de U) debido a su estabilidad.

Los estribos deben protegerse contra la volcadura sobre la orilla de la zapata contra el deslizamiento y contra la fractura del subsuelo o sobre carga de los pilotes. Al calcular la presión de la tierra debe tomarse en cuenta la carga vehicular en las carreteras y autopistas en forma de una capa equivalente de suelo de 0.60 m de espesor.

Al calcular la estabilidad y los esfuerzos internos debe considerarse el peso del material del relleno sobre la cara de atrás inclinada o escalonada y sobre zapatas superficiales de concreto reforzado. Sin embargo no debe suponerse presión de la tierra del prisma en el frente del muro. El factor flotación debe tomarse en cuenta si se prevé su presencia.

En los estribos se requiere un ancho adicional para el muro de respaldo el cual contiene el relleno y protege el extremo de la superestructura.

Las pilas son los apoyos intermedios de la superestructura de puentes con dos o más aberturas. Figura IV.32 “Ejemplo de Pilas de Puente”.

En cuanto a las pilas la superficie superior debe tener longitud y ancho adecuados para recibir los apoyos de la superestructura.

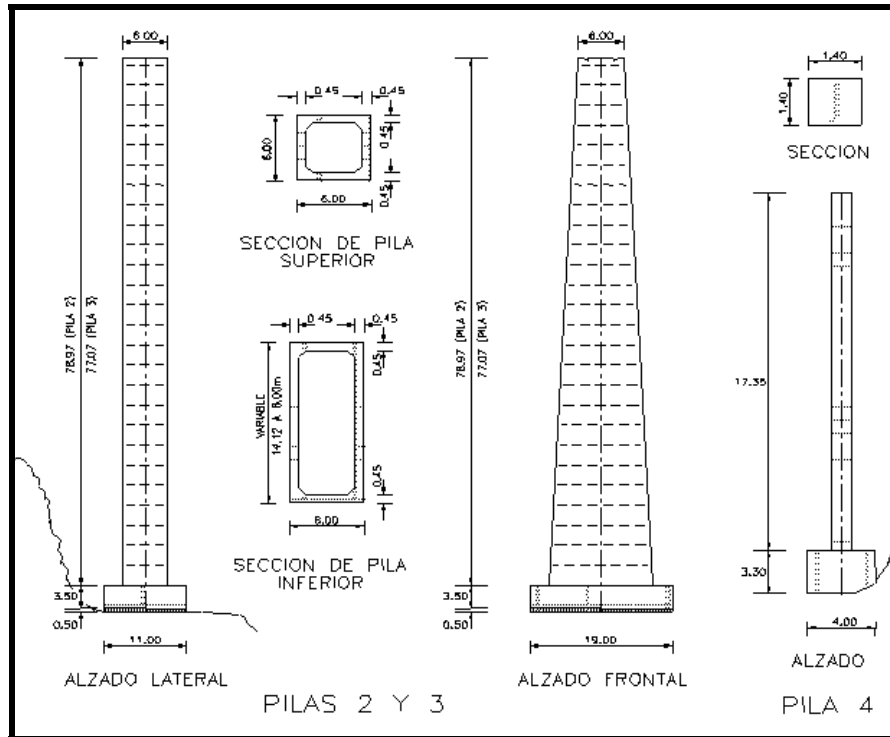
Se han desarrollado formas básicas de pilas o pilastras para satisfacer requisitos que varían ampliamente. Los tipos que se detallan en seguida son algunos de los más comunes y se indican sus usos preferidos.

Las pilas de tipo caballete se prefieren para “calzadas” de nivel bajo que se llevan sobre aguas poco profundas o sobre tierras que se inundan en temporada sobre losas de concreto o superestructuras de viga y losa. Cada pila o caballete consta de dos o más pilotes de apoyo usualmente hincados en el mismo plano y un cabezal prismático con el cual se conectan los pilotes. Tanto el cabezal como los pilotes pueden ser de madera o como una construcción más permanente concreto precolado reforzado en forma normal o precolado.

Las pilas de concreto tipo muro sobre zapatas superficiales se utilizan como soportes para cruces de dos carriles sobre autopistas divididas. Como el soporte longitudinal adecuado de la superestructura estas pilas pueden diseñarse como muro péndulo con juntas en la parte superior o bien como muros en voladizo.

Las pilas de eje simple de sección transversal rectangular o circular sobre zapatas superficiales pueden usarse para soportar traveses de cajón con diafragmas interconstruidos que actúen como vigas transversales.

FIGURA IV.32 “EJEMPLO DE PILAS DE PUENTE”



Los marcos se emplean como pilas bajo traveses de acero pesadas con apoyos localizados directamente sobre las columnas del portal. Cuando hay que apoyar más de dos traveses el proyectista puede escoger entre reforzar la viga de cerramiento del portal o agregar más columnas. De preferencia todas las piernas o columnas del marco de portal deben descansar sobre una placa de base común. Si en lugar de esta se usan zapatas aisladas como por ejemplo en grupos separados de pilotes deben de utilizarse contratraveses adecuados para evitar que se separen y aflojen.

Las pilas de mampostería masiva se han construido desde la antigüedad para puentes de río de arcos múltiples acueductos muy elevados y más recientemente para viaductos. Actualmente se reemplazaron por la construcción masiva de concreto con recubrimiento de piedra natural o sin él. Cuando es esencial reducir carga muerta se utilizan pilas huecas de concreto muy reforzado.

Las torres de acero sobre pedestales de concreto se usan como pilas de puentes muy elevados. Estas pueden diseñarse como miembros delgados celosías de acero pórtico de caja cerrada o una combinación de ellos.

Las pilas muy altas cuando se emplean se construyen en general de concreto reforzado o presforzado y pueden ser de diseño sólido o celular.

De acuerdo a las condiciones topográficas e hidrológicas del Anteproyecto, se recomienda el uso de pilas de concreto y caballetes para soportar la superestructura.

IV.4.1.3.2 SUPERESTRUCTURA DE PUENTES.

La Superestructura es la parte del puente la cual funciona como superficie de rodamiento de una vía terrestre.

Las condiciones definidas por el trazo de la autopista en especial la longitud del accidente a salvar y la separación entre apoyos influenciada a su vez por factores hidrológicos y geotécnicos constituyen las factores que definen la longitud del claro del puente.

En el caso de claros menores (hasta 40 m de claro) se aplican soluciones estandarizadas con ajustes para las condiciones específicas como el claro y la carga de diseño considerada, pero en casos donde las condiciones no son las comunes se utilizan puentes de diseño especial.

Los puentes especiales son puentes y estructuras afines cuya estructuración es diferente a la común y que consiste en superestructuras de tramos libremente apoyados o continuos colados en sitio o prefabricado de concreto reforzado o presforzado y/o de vigas metálicas. Estos puentes se clasifican en:

- Puentes contruaidos en voladizo: Puentes cuya superestructura está contruuida por segmentos o dovelas prefabricadas o en sitio con cimbra móvil que se colocan sucesivamente a partir de una pila con un avance simétrico o partiendo de un estribo se dispone de un elemento de anclaje o de contrapeso. Estos puentes utilizan cables de preesfuerzo longitudinal.
- Puentes empujados: Son aquellos cuya superestructura está formada por dovelas o segmentos que se fabrican en el sitio o taller. Cada dovela se

ensambla a la dovela anterior en una plataforma localizada por detrás del estribo. Una vez que la nueva dovela queda unida a la anterior el conjunto se empuja hacia delante para liberar el sitio que ocupa una dovela más. El empujado se realiza por etapas sucesivas hasta alcanzar el estribo en la margen o ladera opuesta

- Puentes en arco: Estructura cuya directriz tiene una configuración curva o poligonal. La carga muerta genera esfuerzos axiales con excentricidades nulas o pequeñas respecto a la directriz en tanto que la carga actuando en solo una parte del claro o las cargas accidentales generan esfuerzos axiales con excentricidades grandes respecto a la directriz y por lo tanto sollicitaciones de flexión. Por su forma los puentes de arco pueden ser circulares compuestos parabólicos o poligonales.
- Puentes atirantados: Son aquellos en que el tablero de la superestructura es soportado por tirantes o cables inclinados anclados a uno o varios mástiles o torres y que inducen una fuerza axial de compresión en la sección transversal del tablero.

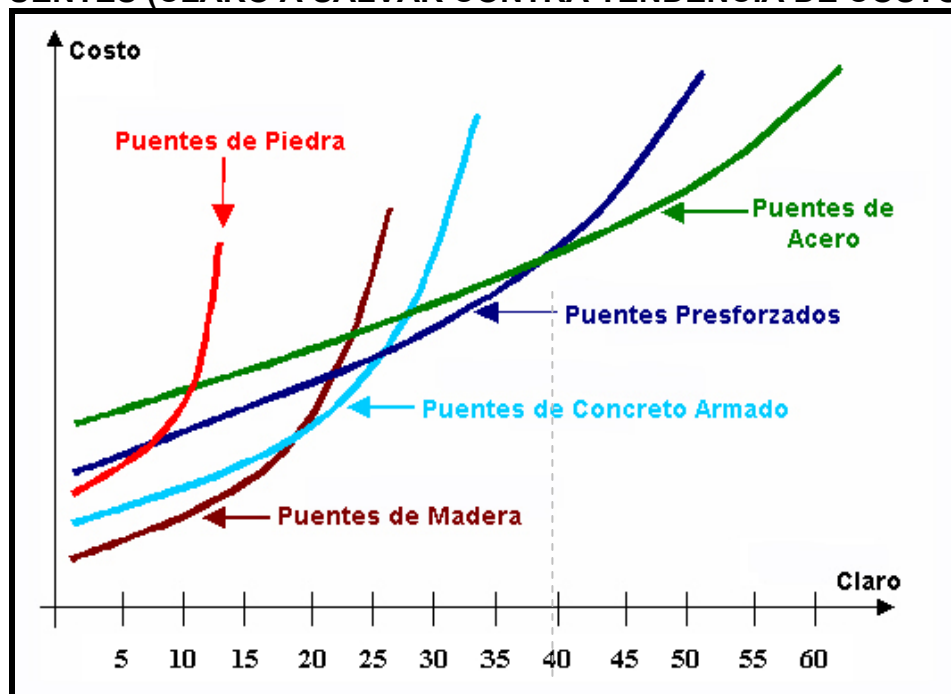
IV.4.1.3.3 ELECCIÓN DE SUPERESTRUCTURA PARA EL ANTEPROYECTO.

Al revisar las condiciones topográficas e hidrológicas incluidas en la ruta elegida se observa que los claros a salvar van de los 26 a los 36 m, así como una altura de pilas entre los 13 m a los 50 m. Estas características se ubican en el rango de solución de puentes simplemente apoyados sobre cabezales de concreto.

Para puentes de claros simplemente apoyados, y menores a 45 m, el concreto presforzado representa la solución más económica comparando al concreto reforzado y las estructuras de acero laminado, como se puede apreciar en la Gráfica IV. 3 “Criterio de elección de superestructura de puentes (claro a salvar contra tendencia de costo)”. Del mismo modo, en esta figura, se puede observar que para estructuras con claros menores a 20 m la solución adecuada es el concreto reforzado y para claros mayores a 40 m la solución adecuada es la estructura metálica.

La explicación a esta diferencia radica básicamente en las ventajas de la producción en serie del concreto presforzado, en contraste a las estructuras de concreto reforzado tradicional que requiere de cimbra y obra falsa además del transporte de cada uno de los materiales por separado, habilitado en el sitio. En caso de las superestructuras de acero deben ser ensambladas y terminadas en campo con personal calificado, además requiere el uso de equipo de montaje. Finalmente el uso de mampostería o madera además de compartir las desventajas del concreto armado, se adiciona el alto costo de mantenimiento, razón por la cual se descartan como solución adecuada.

GRÁFICA IV.3 “CRITERIO DE ELECCIÓN DE SUPERESTRUCTURA DE Puentes (CLARO A SALVAR CONTRA TENDENCIA DE COSTO)”



En el caso del Anteproyecto de puentes para la Autopista Toluca–Naucalpan las estructuras serán formadas por vigas simplemente apoyadas y traveses de concreto presforzado con un diseño Las traveses de concreto presforzados se prefabrican de acuerdo a las especificaciones del la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), ver Figura IV.33 “Traveses presforzados prefabricados”

Condiciones de carga. Las condiciones requeridas por el Anteproyecto para la estructura de puentes deberán tomar en cuenta la carga viva máxima de vehículos

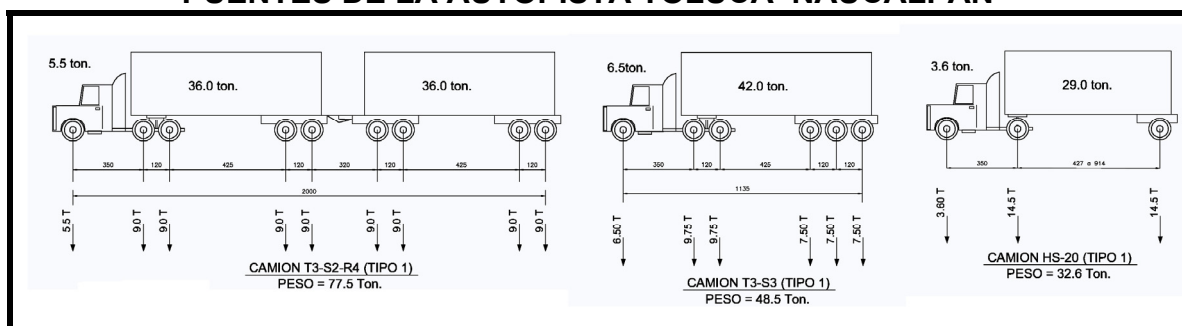
con una combinación de tractor, remolque y semirremolque (configuración para transportar automóviles sin rodar) con un total de 9 ejes y longitud máxima especial.

FIGURA IV.33 “TRABES PRESFORZADAS PREFABRICADAS PROPUESTAS”



Este modelo de carga se denomina T3-S2-R4 de acuerdo a la clasificación de vehículos de autotransporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Se trata de un camión articulado con tractor de tres ejes, un remolque de dos ejes en tandem trasero y un segundo remolque con 4 ejes en dos arreglos en tandem. También debe revisar la carga de un camión T3-S3, el cual representa un camión articulado con tractor de tres ejes y remolque de tres ejes en arreglo triple trasero. La carga mínima considerada para diseño debe ser un camión clasificación HS-20 el cual no está vigente en el reglamento de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), pero es de uso común. Ver la Figura IV.34 “Carga viva considerada para diseño de los puentes de la autopista Toluca–Naucalpan”.

**FIGURA IV.34 “CARGA VIVA CONSIDERADA PARA DISEÑO DE LOS
PUENTES DE LA AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

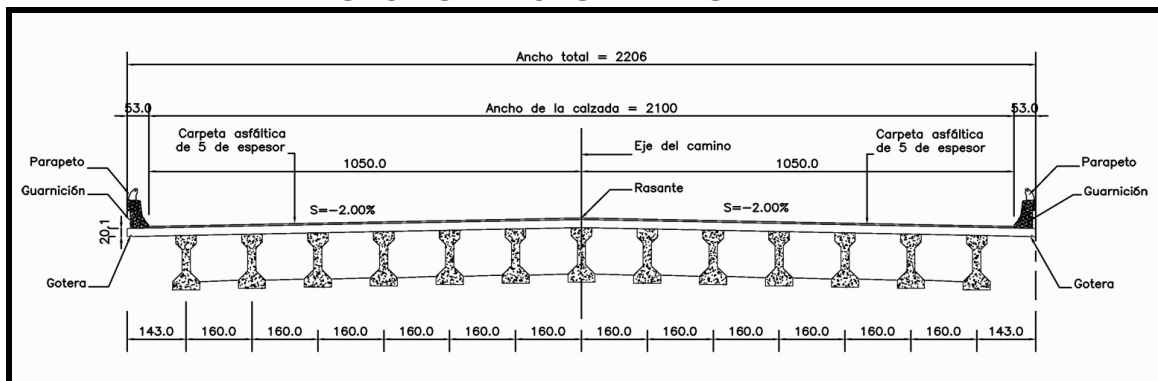


Como se describió al final de las secciones anteriores, el Anteproyecto propone la cimentación superficial con zapatas aisladas (Sección IV.4.1.2.4), subestructura a base de pilas (Sección IV.4.1.3.1). La superestructura se forma rematando las

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

pilas en caballetes de concreto, el claro se resuelve estructurando traveses presforzados y losa prefabricada de concreto reforzado de 0.2 m de espesor concreto $f'c$ de 250 kg/cm². El Anteproyecto incluye guarniciones y parapetos, no incluye medianas, pero se considera acotamiento para formar un ancho de calzada de 22.06 m empleando para ello trece traveses presforzados, ver Figura IV.35 “Sección transversal tipo”.

FIGURA IV.35 “SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO PARA PUENTES DE LA AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”



La superficie de rodamiento incluye una carpeta de asfalto de 5 cm de espesor. Para dar drenaje adecuado a la superestructura la superficie tiene un bombeo de 2 % y en los extremos se requiere lavaderos de concreto simple para desalojar el agua de la superficie de rodamiento. En cada acceso a la estructura se incluye una losa de concreto reforzado de 400 kg/cm² de 0.2 de espesor. En el acceso se incluye una defensa de lámina de acero galvanizada. El terraplén de acceso tendrán un talud 1.5:1. Ver el Anexo B “Proyectos Tipo para Puentes”.

En cuanto al proyecto de los Pasos Superior Vehicular (PSV) y Pasos Inferior Vehicular (PIV), el proyecto tipo está resuelto estructuralmente con el mismo sistema de traveses presforzados prefabricados, del tipo denominado comercialmente como traveses AASHTO (traveses prefabricados bajo las especificaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)). El ancho de calzada para PIV es de 8 m empleando cuatro traveses prefabricados, Ver el Anexo B “Proyectos Tipo para Puentes”. En el caso de los PSV el ancho de calzada es el mismo de los puentes, 22.06 m, para lo cual se utilizan trece traveses prefabricados. IV.11 “Paso Inferior Vehicular (PIV) Tipo”.

IV.4.1.4 CANTIDADES DE OBRA PARA PUENTES.

Para concluir el estudio de las necesidad de puentes (estructuras de drenaje mayor) el Anteproyecto de Autopista Toluca–Naucalpan requiere la construcción de doce estructuras, de los cuales dos son parte de los entronques uno en cada extremo de la autopista. Las estructuras necesarias se resuelven con diseño tipo. Los claros a salvar van de los 59 m a los 270 m y ancho de calzada de 22.06 m.

Para la solución de intersecciones de la nueva autopista con caminos existentes es necesaria la construcción de seis Pasos Superior Vehicular (PSV) con diseño tipo con un claro a salvar de 17 m y 22.06 m de ancho de calzada, así como la construcción de ocho Pasos Inferior Vehiculares (PIV) de diseño tipo con un claro a salvar de 60 m y ancho de calzada de 8 m. El sistema constructivo propuesto es a base de concreto presforzado prefabricado para la superestructura y concreto reforzado para la construcción en sitio de las pilas. La cimentación de los puentes se realiza en su mayor parte con zapatas aunque se incluye una partida de cimentación con pilotes considerando un parámetro observado en experiencias previas.

La Tabla IV.21 “Cantidades de obra para puentes” presenta el resumen de los volúmenes requeridos”.

**TABLA IV.21 (1/3) “CANTIDADES DE OBRA PARA PUENTES.
AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
SUBESTRUCTURA		
Excavaciones para estructuras, de acuerdo con su clasificación, a cualquier profundidad	m³	22,613
RELLENOS DE ESTRUCTURAS		
Rellenos de excavaciones para estructuras	m³	15,410
Zampeados de suelo - cemento, materiales mezclados en el lugar	m³	3,195
CONCRETO HIDRÁULICO		
Concreto hidráulico, colado en seco $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$	m³	1,009
Concreto hidráulico $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en zapatas y contratraveses	m³	2,292
Concreto hidráulico $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en zapatas de pilas	m³	14,080
Concreto hidráulico $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en columnas de caballetes y pilas	m³	9,413
Concreto hidráulico $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en cabezales, orejas, columnas, aleros, diafragmas, pantallas, bancos y topes	m³	46,504

Esta Tabla continúa en la siguiente página

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta Tabla continúa de la página anterior

**TABLA IV.21 (2/3) "CANTIDADES DE OBRA PARA PUENTES.
AUTOPISTA TOLUCA-NAUCALPAN"**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO		
Acero de refuerzo varillas límite elástico igual o mayor de 4,000 kg/cm ²	kg	4,858,578
SUPERESTRUCTURA		
CONCRETO HIDRÁULICO		
Concreto hidráulico simple, colado en seco de f'c = 250 kg/cm ² En losas	m ³	8,699
Concreto hidráulico simple, colado en seco de de f'c = 350 kg/cm ²	m ³	11,956
Concreto hidráulico simple, colado en seco de de f'c = 250 kg/cm ²	m ³	64
ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO		
Acero para concreto hidráulico de F'y igual o mayor de 4,000 kg/cm ²	kg	1,911,498
Acero estructural A-36 (placas, tuercas y roldanas)	kg	12,347
Varillas galvanizadas con roscas en sus extremos en losa y tabletas	kg	3,600
Tubo de P.V.C. De 3" Ø p/drenes	Pza	380
Tubo de acero de 3.2 cm de Ø	m	1,204
Tubo de acero de 2.5 cm de Ø	m	535
Acero de presfuerzo, torones de 1.27 cm de diámetro, límite de ruptura igual o mayor que 19,000 kg/cm ²	kg	589,502
Acero de presfuerzo, tipo Cascabel, serie G-37 con alma de acero, LR>31.4 ton/cable para izaje	kg	7,341
Drenes duraplex de 3" diámetro o similar	kg	655
APOYOS		
Apoyos de neopreno, por unidad de obra terminada (EP 026-E.04)	dm ³	3,805
Juntas de dilatación de acero estructural A – 36	kg	1,032
CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
Mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado incluyendo riego de liga.	m ³	263
PARAPETOS		
CONCRETO HIDRÁULICO		
Concreto hidráulico simple, f'c = 250 kg/cm ² en guarniciones y parapeto	m ³	2,907
Acero de refuerzo varillas f'y = 4,000 kg/cm ²	kg	221,918
ESTRUCTURAS DE ACERO		
Pernos 2.54 cm diámetro (1") con tuerca	Pza	2,675
PRÉSTAMOS		
Excavaciones de préstamos	m ³	347,594

Esta Tabla continúa en la siguiente página

Esta Tabla continúa de la página anterior

**TABLA IV.21 (3/3) “CANTIDADES DE OBRA PARA PUENTES.
AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
TERRAPLENES		
Formación y compactación de terraplenes	m³	319,690
SUB-BASE Y BASES		
Sub-bases o bases, compactada al cien por ciento	m³	25,980
Suelo-cemento proporción 1:8 espesor de 0.80 m	m³	768
Riego de impregnación Barrido de la superficie por tratar	ha	7
ACCESOS		
CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO		
Carpeta de concreto asfáltico mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado incluyendo riego de liga.	m³	1,924
MATERIALES ASFÁLTICOS		
Materiales asfálticos empleados en riego de impregnación	lt	43,508
Cemento asfáltico en concreto asfáltico, mezcla asfáltica caliente.	kg	346,320
CONCRETO HIDRÁULICO		
Concreto hidráulico colado en seco f'c = 250 kg/cm² en losa de acceso	m³	1,034
Concreto hidráulico colado en seco f'c = 250 kg/cm² en guarniciones	m³	504
Concreto hidráulico colado en seco f'c = 250 kg/cm² en postes	m³	156
ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO		
Acero de refuerzo límite elástico igual o mayor de 4,000 kg/cm²	kg	192,239
Acero estructural galvanizado	kg	71,159
Tubo de acero galvanizado	kg	132,636
TRABAJOS DIVERSOS		
Lavaderos de concreto hidráulico f'c =150 kg/cm²	m³	482
Defensas metálicas de lámina galvanizada tipo AASTHO M - 180, de 2 crestas, sencilla (EP 044-E.01a)	m	39,848

IV.4.2 ENTRONQUES.

En el anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan se ha detectado la necesidad de construir tres entronques en cruces de alto tráfico vehicular. Las características de estos cruces hacen convenientes la construcción entronques a desnivel. Los entronques están ubicados en los cadenamientos km 0+000 Xonacatlán, km 5+750 en el poblado de Santa Ana Zolotepec y el km 33+000 en Naucalpan.

A continuación se hace una breve descripción de cada tipo de entronque.

Las localizaciones en que las corrientes de tráfico se cruzan entre sí a elevación común, se llaman intersecciones a nivel.

IV.4.2.1 CONSIDERACIONES PRINCIPALES PARA DISEÑO DE ENTRONQUES A DESNIVEL.

Cada entronque, aunque tenga muchos rasgos en común con otras, se trata como un proyecto individual, ya que es probable que haya diferencias de impacto importante sobre el flujo de tráfico, la economía y el ambiente. Los factores principales que deben considerarse en el diseño de una intersección, son:

- a) Factores de tráfico. Diseño del tráfico para cada movimiento, lo cual incluye los volúmenes diarios y por hora, capacidades, movimientos de vuelta, características de tamaño y de operación de los vehículos, control de movimiento en los puntos de intersección, velocidades de vehículos, movimiento de peatones, operaciones de tránsito, experiencia sobre accidentes y requerimientos de almacenaje de señales de tráfico que gobiernan los accesos.
- b) Factores físicos. Topografía, mejorías y requerimientos físicos para aspectos de caminos y canalización, adecuada distancia visual, restricciones por propiedades, localización segura de accesos y andaderos de cruce y acomodo de dispositivos de control de tráfico.
- c) Factores económicos. Costo de capital y de operación de la mejora y el efecto económico en aquellos negocios confinados en que la canalización restringe o prohíbe ciertos movimientos de vehículos dentro de la zona del entronque.
- d) Factores humanos. Hábitos de conducción, capacidad de conductores para tomar decisiones, advertencias adelantadas adecuadas a la intersección, tiempos para decisión y para reacción, y trayectorias naturales de movimiento.
- e) Alternativas para diseño. El entronque más simple es la reunión de dos caminos o el cruce de uno por el otro, en ambos casos sin ampliación de

cualquiera de ellos ni la colocación de algunas señales para el control de tráfico.

- f) Cuando el tránsito lo justifica, debe colocarse una señal de “ALTO” o de “CEDA EL PASO” en el camino de menor movimiento.

Una mejora adicional es ampliar el pavimento en el camino principal para proveer carriles donde el tráfico que da vuelta pueda salir de la corriente mayor.

En el caso de altos volúmenes de tráfico, se justifican los puentes para separar los movimientos de cruzamiento, y se instalan rampas para intercambiar vehículos entre caminos. Esta construcción forma intersecciones de nivel separado o, más comúnmente, los entronques a desnivel. Un entronque a desnivel tiene la función de formar una vía libre (camino dividido de múltiples carriles con separaciones para caminos que hacen intersección y con acceso completamente bajo control). Una vez tomada la decisión.

A pesar de la inversión inicial que representan los entronques a desnivel se tienen las siguientes ventajas:

- a) **Eliminación de cuellos de botella o congestionamiento en el sitio.** Insuficiente capacidad de una intersección a nivel de los caminos de fuerte tránsito, puede causar el congestionamiento intolerable en uno o en todos los accesos.
- b) **Eliminación de riesgos.** A menos que puedan usarse métodos poco costosos para eliminar los riesgos, puede justificarse la separación de niveles de camino o el entronque. Las intersecciones expuestas a accidentes, con frecuencia se encuentran en la unión de caminos de tránsito comparativamente ligero en zonas rurales de asentamiento esparcido, donde las velocidades son altas. En estas zonas pueden construirse las estructuras comúnmente a bajo costo, en comparación con áreas urbanas. El derecho de vía no es costoso, y esas mejoras de costo inferior pueden justificarse por la disminución de accidentes serios.
- c) **Beneficios para usuarios del camino.** Son el costo anual de combustible, llantas, aceite, reparaciones, tiempo, accidentes, etc. En los entronques a nivel se requiere cambios de velocidad, paradas y esperas y puede

constituir gran parte del costo anual. Los entronques a desnivel comúnmente requieren algo más de distancia recorrida total que los cruces a nivel. El costo agregado por la distancia extra de recorrido, sin embargo, está comúnmente compensado por el ahorro que implica la reducción en paradas y costos por retardos. Para cualquier tipo de intersección, la relación de beneficios al usuario del camino con respecto al costo de la mejora, indica si se justifican o no las mejoras sobre el terreno económico.

IV.4.2.2 TIPOS DE ENTRONQUES.

Lo que sigue son descripciones de varios tipos de entronque, también puede ver su trazo básico en la Figura IV.36 “Tipos de entronque a desnivel más comunes”, donde para cada tipo de entronque coincide la letra del listado con el dibujo:

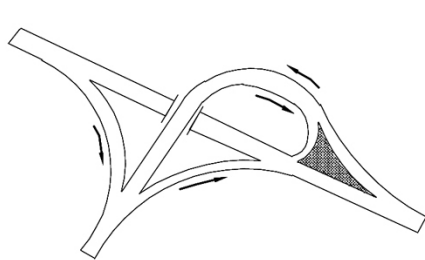
- a) **En “Y” o en “T”** (Tres ramales). Un entronque en una intersección con tres ramales, consta de una o más separaciones de nivel del camino y, por lo general, vías de camino un sentido para todos los movimientos de tráfico. Cuando dos de los tres ramales de intersección forman un camino directo y el ángulo de intersección no es agudo, se aplica el término entronque en “T”. Cuando los tres ramales de intersección son caminos directos, o el ángulo de intersección de dos ramales es pequeño, el entronque puede considerarse un tipo “Y”. Independientemente del ángulo de intersección, carácter de camino directo, etc., cualquier patrón básico de entronque puede adaptarse a condiciones muy variadas.
- b) **Diamante**. Cuando un camino de intenso tráfico está en cruzamiento con un camino de tráfico comparativamente ligero, con una separación por puente, el entronque de diamante es, en general, una solución satisfactoria. También puede aplicarse en un cruzamiento de calle de ciudad con un camino arterial, en cuyo caso se introduce con frecuencia una señal de control en las rampas terminales con la calle de la ciudad.

El diseño de diamante es una de las formas más sencillas de entronque para todos los movimientos. Tiene cuatro rampas de un sentido, que pueden ser rectas o curvas para ajustarse a las condiciones del terreno y,

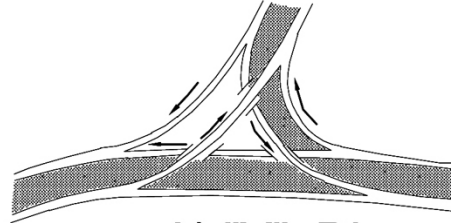
en general, se unen con el camino principal en un ángulo plano. Los movimientos en la línea principal de las rampas terminales son vueltas directas a la derecha. Cada rampa terminal en el camino menor es una intersección “T” y “Y” a nivel, predispuesta para un movimiento de volteo a la izquierda y uno a la derecha. Si el volumen de tráfico lo justifica, el cruzamiento de calle puede dividirse, con carriles separados para los movimientos de volteo a la izquierda.

- c) **Entronques en hoja de trébol.** Estos eliminan todos los movimientos de vuelta a la izquierda, los cuales son una fuente principal de accidentes. Sin embargo, para enfrentarse a la velocidad y volumen del tráfico moderno, los radios de las rampas en gaza deben aumentarse a tal grado que la hoja de trébol con frecuencia cubre un área muy grande y requiere costoso derecho de vía. Para una velocidad de diseño de 40 km/h, las normas de diseño requieren un radio para la gaza de 45 m; para 50 km/h, el radio es de 70 m. Así, para un aumento de velocidad de sólo 8 km/h, el radio aumenta más de 50 % y la propiedad tomada, un 130 %. Además, ya que en el tiempo de recorrido sobre las rampas varía con la longitud de éstas, el tiempo que puede ahorrarse por aumento de velocidad se pierde por un mayor recorrido. La hoja de trébol requiere maniobras entre el tráfico que entra y sale en las gazas colindantes. Cuando este tráfico pasa de 100 vehículos por hora, hay interferencia seria, lo cual disminuye la velocidad del tráfico directo. Todavía más, como rara vez es práctico proporcionar más de un carril sencillo en una gaza, puede ocurrir que una rampa no se ajuste a más de 800 vehículos por hora. Estas condiciones con frecuencia limitan el uso de la hoja de trébol. La capacidad de tráfico de una hoja de trébol, sin embargo, puede aumentarse con carriles colectores distribuidores.
- d) **Entronques hoja de trébol parcial.** La anticipada distribución del tránsito no siempre exige una hoja de trébol completa. Pueden efectuarse varias modificaciones e introducirse arreglos de rampa. Un criterio principal es que las rampas puedan arreglarse de tal manera que las entradas y salidas produzcan el menor impedimento al flujo de tráfico, en el camino principal.

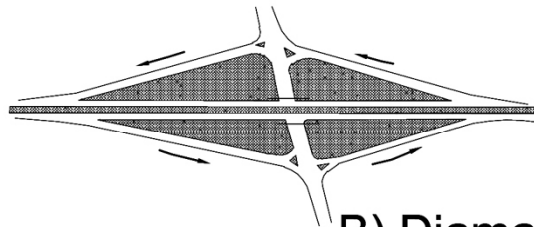
FIGURA IV.36 "TIPOS DE ENTRONQUE A DESNIVEL MÁS COMUNES"



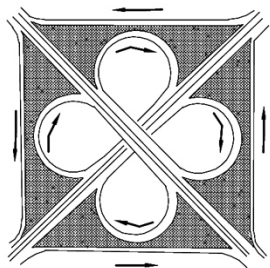
A) "T" o Trompeta



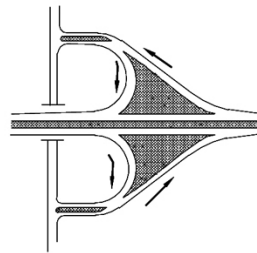
A) "Y" Direccional



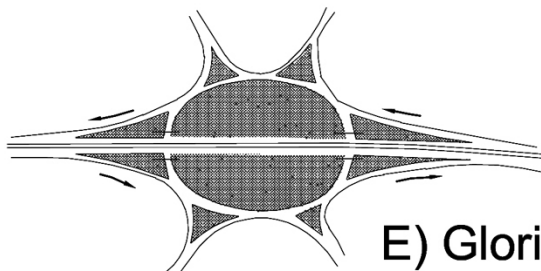
B) Diamante



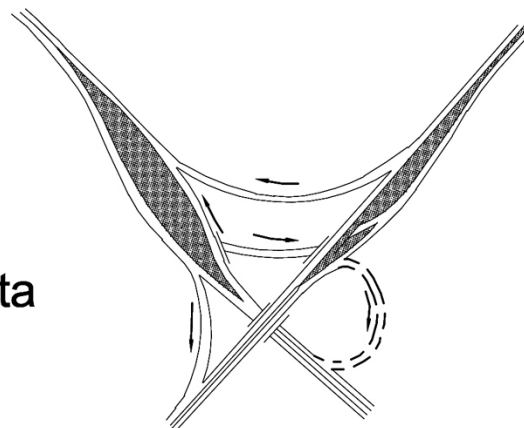
C) Trébol



D) Trébol Parcial



E) Glorieta



F) Direccional

Este objetivo puede lograrse con los siguientes principios. El arreglo de rampas debe enfocarse a que cada movimiento de vuelta se haga mediante entradas y salidas de vuelta a la derecha. Cuando la vuelta a la derecha no sea factible tanto para entradas como para salidas, y pueda hacerse una, debe escogerse la salida. Si el volumen de tránsito directo, en un camino principal, es mayor que en el camino menor que hace intersección, se da preferencia a un arreglo que sitúe las vueltas a la derecha, ya sean salidas o entradas, sobre el camino principal, aún cuando esto traiga como resultado una vuelta directa a la izquierda para el camino menor.

- e) **Entronques direccionales.** Un entronque compuesto solamente de gazas puede fallar en satisfacer las demandas de las vías rápidas, con sus altas velocidades y fuertes flujos de tránsito. Así, el entronque del tipo de hoja de trébol se relega generalmente para localizaciones rurales, en donde los volúmenes que dan vuelta son pequeños comparados con el volumen de tránsito directo. El tipo preferido del arreglo, el entronque direccional, provee conexiones directas o semi-directas entre caminos en intersección. Este tipo comúnmente comprende varias separaciones de nivel. En donde varios caminos hacen intersección, pueden requerirse estructuras de triple nivel. Aunque las rampas individuales deben satisfacer normas aceptadas por curvatura, anchos de pavimento, longitud de secciones de entremezclado, y diseño de entradas y de salidas, no hay patrones fijos para este tipo de entronque. Cada uno se estudia como un caso especial y se diseña para reunir las condiciones de terreno y demandas de tráfico. Los diseños para entronque direccionales varían desde unos comparativamente simples hasta modelos complicados que se parecen a un enredado laberinto. Aunque este último puede parecer que es muy complejo visto desde el aire, si se diseñan y señalan en forma adecuada, no resulta confuso a los conductores. En un entronque direccional, las vueltas se hacen en la dirección en que el conductor está acondicionado para esperarlas; por lo tanto, el conductor se

encuentra sólo con la decisión cada vez, y los puntos de decisión están espaciados en forma adecuada.

En algunas ocasiones, sobre todo en zonas rurales, el modelo de tráfico no justifica conexiones directas en más de uno o dos cuadrantes. Los movimientos de vuelta a la izquierda en los otros cuadrantes, pueden resolverse satisfactoriamente mediante gazas.

Un aspecto que necesita analizarse en un entronque direccional, es el entremezclado. El tráfico que entra o que sale debe recibir suficiente longitud de camino para unirse, o para cruzar con el tráfico de línea principal, en la misma dirección. En la mayor parte de los casos, el pavimento debe ensancharse para la sección de entremezclado. La longitud requerida de esta sección para entremezclado es una función de velocidad de diseño y del número de vehículos que se entremezclan por hora. No es necesario el ensanchamiento del pavimento cuando las combinaciones de longitud y volumen sobrepasan los números dados.

En cualquier entronque, o aproximándose a él, los conductores deben tomar sólo una decisión cada vez; por ejemplo, una triple confluencia debe evitarse, y los puntos para decisión deben estar suficientemente espaciados en una escala de tiempo con el fin de evitar prisa y tensión indebidas.

- f) Entronque de glorietas.** Un entronque de glorieta con frecuencia es deseable cuando hay cinco o más ramales de intersección y todos los movimientos, aparte del tráfico directo sobre el camino principal, pueden resolverse apropiadamente en las secciones para entremezclado. Los entronques de glorieta, sin embargo, no son convenientes cuando van a mantenerse velocidades y volúmenes de tráfico relativamente altos en los caminos que atraviesan.

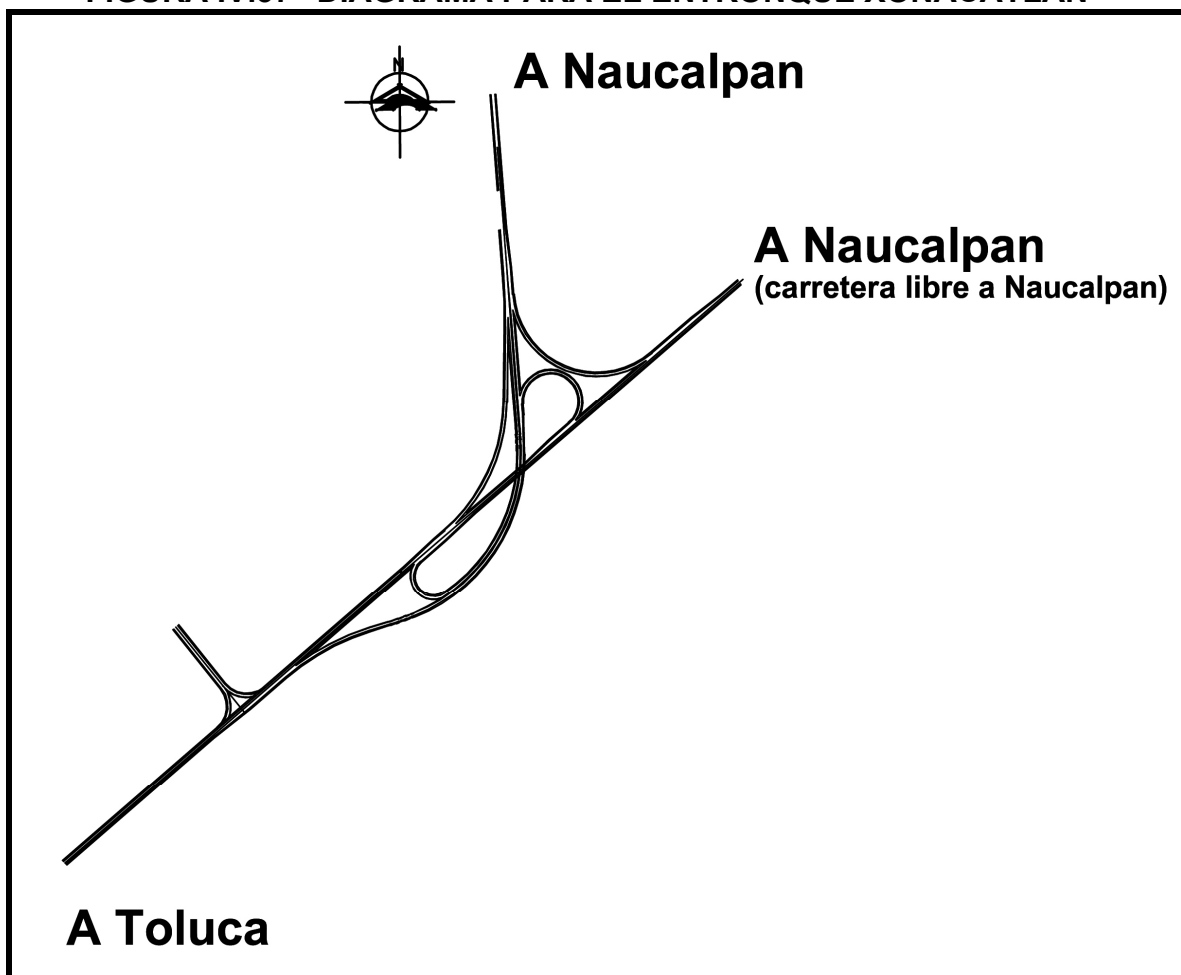
Uno de los caminos que hacen intersección puede pasar por encima o por debajo de un entronque de glorieta. Con dos estructuras y cuatro rampas diagonales, se provee un entronque completo. Las secciones para entremezclado sobre la vía de entronque de glorieta, son un rasgo crítico de diseño de las glorietas.

El tráfico que sale y que entra a la ruta principal lo hace tan directamente, como en un entronque de diamante. Los rasgos de diseño, la operación y la capacidad de glorietas son básicamente los mismos que aquellos de una glorieta a nivel. En general, un entronque de glorieta no necesita ocupar más espacio que una hoja de trébol.

IV.4.2.3 ENTRONQUES PARA EL ANTEPROYECTO.

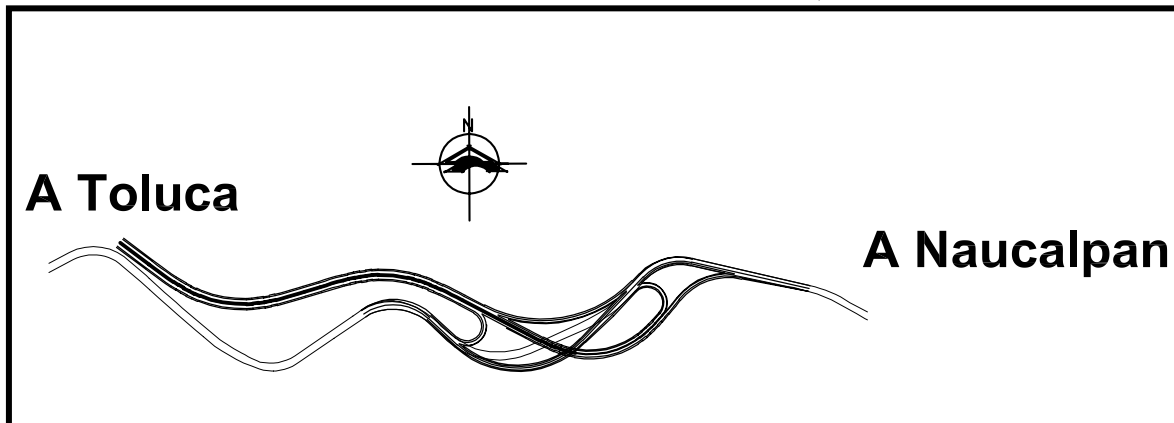
El diseño de entronque recomendado en este trabajo es el de entronque direccionales, por considerarlos eficientes para el volumen de tránsito proyectado a veinte años. En el caso del entronque de origen ubicado en el cadenamiento 0+000 Xonacatlán se recomienda la construcción de un entronque nuevo entre la Autopista Toluca–Naucalpan y la Carretera Federal 134 de Toluca–Naucalpan, ver Figura IV.37 “Diagrama para el Entronque Xonacatlán”.

FIGURA IV.37 “DIAGRAMA PARA EL ENTRONQUE XONACATLÁN”



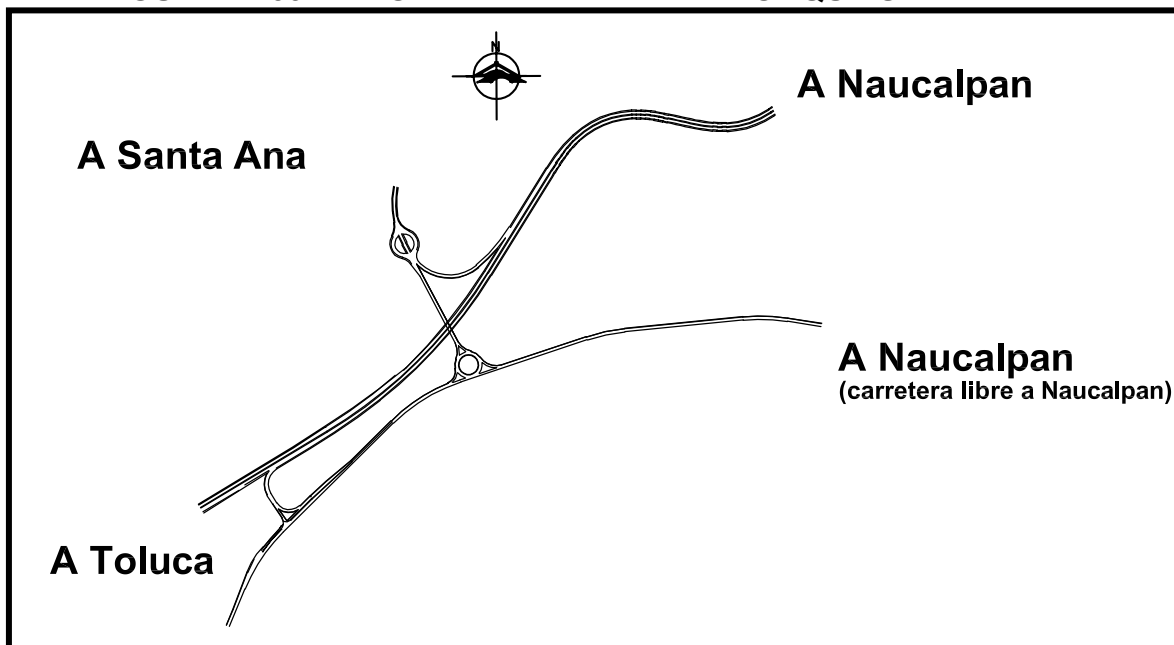
En el caso del entronque ubicado en el cadenamiento 33+000 ubicado en el entronque con la autopista Chamapa–Lechería se recomienda un entronque direccional con trabajos de corrección del camino existente ver Figura IV.38 “Diagrama para el entronque Naucalpan”.

FIGURA IV.38 “DIAGRAMA PARA EL ENTRONQUE NAUCALPAN”



Finalmente para el entronque de la Autopista Toluca–Naucalpan con el Poblado de Santa Ana Zolotepec ubicado en el cadenamiento 5+750 se recomienda un entronque de diamante combinado con un entronque a nivel de glorietas, ver Figura IV.39 “Diagrama para el entronque Santa Ana”. En todos los casos se recomienda un diseño tipo. En el anexo C se pueden consultar planos de estos entronques a mayor detalle.

FIGURA IV.39 “DIAGRAMA PARA EL ENTRONQUE SANTA ANA”.



Finalmente se aclara que las cantidades de obra de estas estructuras se encuentran integradas en los volúmenes de terracerías, pavimentos y puentes mostrados en este mismo capítulo.

IV.4.3 TÚNELES.

Los túneles son excavaciones con o sin soportes, que se construyen bajo la superficie del terreno, dejando fuera los materiales por los que atraviesan, incluyendo agua y teniendo que soportar altas presiones, estas obras pueden tener diferentes usos, en el caso particular de las carreteras, permiten el tránsito de vehículos automotores, debiendo prever iluminación adecuada y una atmósfera segura con los medios necesarios para eliminar los contaminantes.

La principal finalidad de los túneles carreteros, es la de reducir las distancias, mejorando con ello los proyectos geométricos, por lo tanto se debe hacer un análisis comparativo del posible uso de estas obras con la de las estructuras de superficie (cortes y/o terraplenes), y las elevadas (puentes y viaductos).

En México, la construcción de túneles carreteros es relativamente nueva, no así en el caso de los túneles construidos para los ferrocarriles, los cuales cuentan con una buena longitud de ellos. La tecnología ferroviaria no se ha podido aplicar en gran parte al caso de carreteras, entre otras causas por falta de recursos económicos y por tratarse de secciones transversales que requieren de dimensiones mayores para permitir la construcción de varios carriles de circulación por lo que se emplean especificaciones diferentes para cada condición en particular.

IV.4.3.1 ESTUDIOS EN TÚNELES.

La decisión de construir este tipo de estructuras, está en función de la posición que guarde la subrasante de proyecto con respecto a la superficie del terreno natural (alineamiento horizontal y vertical), de la importancia del camino, del presupuesto que se asigne para la realización de la obra en su conjunto, de las características que presenten los materiales por donde cruza el camino, por la dificultad y alto costo de explotación para formar los cortes, de los procedimientos y sistemas de construcción que se puedan utilizar, de los problemas previstos

poder calcular el revestimiento necesario.

Otro punto importante que se requiere conocer es el Nivel de Aguas Freáticas (NAF), esto en el caso de que exista, la presión del agua en los diferentes estratos; también es necesario conocer las características mecánicas de las rocas así como su resistencia a la compresión, a la tensión y a la intemperie en el momento de abrirse el túnel.

Por último, es indispensable conocer las características de la zona en que se construirán los túneles. Una vez que se tiene el conocimiento de los datos anteriores, se debe hacer la planeación del ciclo de avance, tratando de que el tiempo sea suficiente para que no se presenten problemas de derrumbes.

IV.4.3.2 ANTEPROYECTO DE TÚNELES.

Dentro del anteproyecto para la Autopista Toluca–Naucalpan, durante el desarrollo del proyecto del alineamiento vertical, se ubicaron dos túneles en los siguientes cadenamientos: del km 29+880 con longitud de 130 m, y del km 30+720 con una longitud de 470 m. Al final de esta sección se incluyen los planos de estas dos estructuras.

Actualmente en México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) está modificando algunas Normas Técnicas para el diseño de túneles carreteros. Debido a la falta de normas oficiales, el diseño de túneles requiere de consideraciones de investigación y de sondeos detallados que escapan a los alcances de un Anteproyecto. Por este motivo solamente se presenta una sección tipo para un túnel de 21 m de galibo horizontal. Ver Figura IV.40 “Sección Propuesta para Anteproyecto de túneles, autopista Toluca–Naucalpan”.

IV.4.3.3 CANTIDADES DE OBRA PARA TÚNELES.

Para dar un presupuesto de un anteproyecto es necesario contar con un proyecto tipo, donde la volumetría y el costo tienen parámetros establecidos. En el caso muy particular de los túneles se requieren estudios muy específicos para determinar el tipo de suelo y otras variables que cambian en forma radical el costo y volúmenes de excavación, así como tiempos de construcción en este Anteproyecto no se incluye dichos estudios e investigaciones.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Las cantidades presentadas a continuación reflejan la volumetría de las consideraciones de alineamiento vertical, horizontal y sección propuestas en esta sección.

**TABLA IV.22 (1/2) “CANTIDADES DE OBRA PARA TÚNELES.
AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
PORTAL NAUCALPAN		
Desmonte	ha	0.53
Despalme	m³	2,105.88
Excavación a cielo abierto, en material C.	m³	140,434.26
Extracción de material de excavación a cielo abierto. incluye el primer km	m³	140,434.26
Acarreos subsecuentes de material, de excavación.	m³ km	702,171.32
Barrenación en roca de 4” de diámetro para anclas en taludes de 10 m	m	360.20
Barrenación en roca de 3” de diámetro para drenaje ciegos de 15 m	m	180.48
PORTAL TOLUCA		
Desmonte	ha	0.696
Despalme	m³	2790.4
Excavación a cielo abierto, en material tipo 3.	m³	109934.058
Extracción de material de excavación a cielo abierto. Primer km	m³	549670.286
Acarreos subsecuentes de material, de excavación.	m³ km	549670.286
Barrenación en roca de 4” de diámetro para anclas en taludes de 10 m	m	1,200.6
Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 1 1/2” de diámetro, de 10.0 m de longitud.	m	1,200.68
Barrenación en roca de 4” de diámetro para anclas en taludes de 10 m	m	1,200.6
Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 1 1/2” de diámetro, de 10 m de longitud.	m	1,200.68
Barrenación en roca de 3” de diámetro. Drenajes ciegos 15 m de longitud.	m	421.8
TÚNELES		
Excavación en roca, en sección de 130 a 140 m².	m³	131,196
Extracción de derrumbes en cualquier clase de material a cielo abierto, no imputable a la contratista.	m³	13,119
Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 1 1/2” de diámetro, de 10.0 m de longitud.	m	360.20

Esta Tabla continúa en la siguiente página.

Esta Tabla continúa de la página anterior.

**TABLA IV.22 (2/2) “CANTIDADES DE OBRA PARA TÚNELES.
AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
Extracción de derrumbes en cualquier clase de material a cielo abierto, imputable a la contratista.	m ³	13,119.64
Extracción de material de excavación incluye el primer km	m ³	131,196
Acarreos subsecuentes de material, de excavación.	m ³ km	655,982
Barrenación en roca de 3” de diámetro para anclas en bóveda de 8 m.	m	159,600
Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 1” de diámetro, de 8.0 m de longitud.	m	159,600
Concreto lanzado de 5 a 10 cm de espesor y $f'c = 200$ kg/cm ² , en zonas puntuales del túnel.	m ³	1,913.6
Suministro, habilitado y col. de malla electrosoldada de 6-6/10-10 en zonas puntuales del túnel.	m ²	1,913.6
Suministro, transporte, habilitación y colocación de marcos de acero para ademe del túnel.	ton	240.6
Concreto simple para rellenos y reposición de caídos de $f'c = 250$ kg/cm ² .	m ³	15,057.2
Concreto reforzado de $f'c = 300$ kg/cm ² para revestimiento del túnel, túneles falsos y cimentaciones.	m ³	26,284.96
Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo de cualquier diámetro,	ton	481.04

IV.5 SEÑALAMIENTO.

De acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) el señalamiento se clasifica de la siguiente manera:

- 1) **Señales informativas.** Describe las características de las señales que tienen por objeto guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras e informales sobre los nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometraje y ciertas recomendaciones que conviene observar y establece la clasificación para su uso.
- 2) **Señales restrictivas.** Contiene las recomendaciones sobre el uso y características de los dispositivos para indicar al usuario la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulan al tránsito.
- 3) **Señales preventivas.** Trata del empleo y las características de los dispositivos para prevenir a los conductores de vehículos sobre la existencia de algún peligro en el camino y su naturaleza.

- 4) **Marcas.** Trata lo referente a rayas y letras que se pintan en el pavimento, guarniciones y estructuras dentro de o adyacentes a las vías de circulación, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento, con el fin de regular o canalizar el tránsito e indicar la presencia de obstáculos.
- 5) **Obras y dispositivos.** Contiene lo relacionado con las obras que se construyen y/o los dispositivos que se colocan dentro de una arteria vial o sus inmediaciones para protección, encauzamiento y prevención a los conductores de vehículos y los peatones.
- 6) **Dispositivos para protección de obras.** Incluye las recomendaciones sobre las señales y otros medios que se emplean con carácter transitorio para proteger a los conductores, peatones, trabajadores y guías de tránsito a través de calles y carreteras en proceso de construcción o de conservación.
- 7) **Semáforos.** Constituye un tratado sobre la práctica actual de semáforos detallándose las características y uso de los diferentes tipos de aparatos electromecánicos y electrónicos utilizados para el control del tránsito.

El Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan por ser un camino de tipo A no cuenta con señalización para zonas urbanas o peatonales, por lo cual en este trabajo no se aplica la señalización clasificada con los incisos 5, 6 y 7 de la relación anterior. En las siguientes secciones se explica con detalle la señalización empleada.

IV.5.1 SEÑALAMIENTO VERTICAL.

En general para la señalización vertical su ubicación lateral en todos los casos se considera de modo que la orilla interna del tablero quede a una distancia no menor de 50 cm de la proyección vertical del hombro del camino.

En zonas urbanas, la distancia entre la orilla del tablero y la orilla de la banquetta deberá ser de 30 centímetros.

En cuanto a la altura, la parte inferior del tablero de la señal, quedará a 1.50 m sobre el hombro del camino y en zonas urbanas a 2.2 m sobre el nivel de la banquetta.

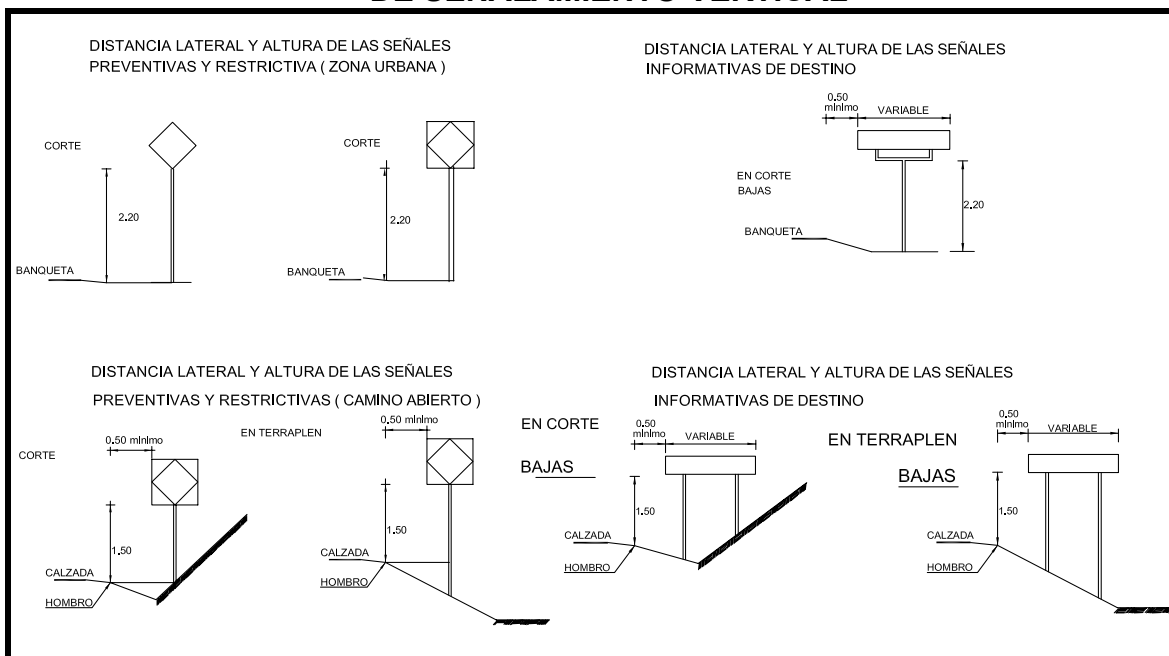
El ángulo de colocación del tablero de estas señales debe quedar siempre en posición vertical a 90° con respecto al eje de la calle o carretera, excepto el que indica el sentido de circulación del tránsito, el cual se ubicará paralelo al eje longitudinal de la vía correspondiente. Ver Figura IV.41 “Dimensiones y colocación de señalamiento vertical”.

Los tableros de las señales, en general son rectangulares con las esquinas redondeadas. El radio para redondear las esquinas es de 4 cm con el radio inferior para la curvatura del contorno de 2 centímetros.

De acuerdo de la clasificación de los tableros los colores varían y se indican en cada caso. Los postes y reverso de los tableros, independientemente de los colores característicos de cada señal todas llevarán el poste y el reverso pintado en color gris mate.

Tanto los tableros como los soportes deberán llenar condiciones de resistencia, durabilidad y presentación.

**FIGURA IV.41 “DIMENSIONES Y COLOCACIÓN
DE SEÑALAMIENTO VERTICAL”**



Las señales se clasifican de acuerdo al siguiente criterio:

- 1) **Señales Informativas (SI).** Las señales informativas son tableros fijados en postes con leyendas y/o símbolos. Tienen por objeto guiar al usuario a lo

largo de su itinerario e informar sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes y ciertas recomendaciones que conviene observar.

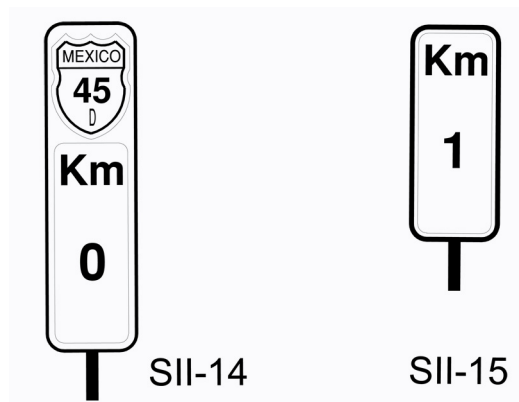
Las señales informativas se clasifican en cinco grupos:

- a) SII De identificación.
- b) SID De destino.
- c) SIR De recomendación.
- d) SIG De información general.
- e) SIST De servicios y turísticas.

En el anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan no se incluye la señalización de servicios y turísticas (SIST) incluida en la definición anterior.

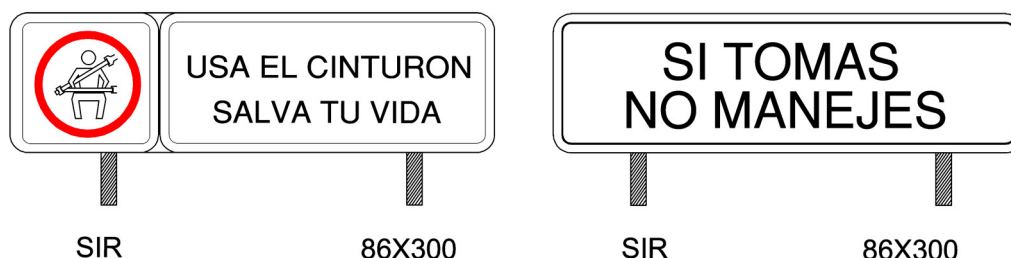
- a) **Señales Informativas de Identificación (SII).** Se utilizan para identificar la Autopista según su número de ruta o kilometraje. Medirá en todos los casos 30 x 120 cm con altura de números de 15 cm y altura de letra para la abreviatura km de 10 cm.

- SII-14 Kilometraje con Ruta. Se usa para identificar las carreteras según su número de ruta y kilometraje; llevará un escudo de ruta de 30 x 40 cm correspondiente a carretera federal, estatal o rural.
- SII-15 Kilometraje sin Ruta. Se usa para identificar el kilometraje de la carretera.



- b) **Señales Informativas de destino (SID).** En el Anteproyecto no se consideró necesario incluir señales de este tipo.

- c) **Señales Informativas de Recomendación (SIR-1).** Se utilizan con fines educativos para recordar a los usuarios determinadas disposiciones o recomendaciones de seguridad que conviene observar durante su recorrido por calles y carreteras.



La altura del tablero de señales informativas de recomendación, para el caso de la autopista de 4 carriles es conforme a la Tabla IV.23 “Altura de tablero de señales informativas de recomendación”.

TABLA IV.23 “ALTURA DE TABLERO DE SEÑALES INFORMATIVAS DE RECOMENDACIÓN”

Altura de tablero cm	Altura letras cm	Número renglones	USO
40 71	20 20	1 2	En carreteras con ancho de corona entre 6 y 9 m. En bulevares y vías rápidas urbanas.
56 86	25 25	1 2	En carreteras con anchos de corona mayor de 9 m o en carreteras de cuatro o más carriles.
56 86	25 25	1 2	En carreteras con anchos de corona mayor de 9 m o en carreteras de cuatro o más carriles.

- d) **Señales de Información General (SIG-1).** Se utilizan para proporcionar a los usuarios, información general de carácter poblacional y geográfico, así como para indicar nombres de obras importantes en el camino; límites políticos, ubicación de casetas de cobro, puntos de inspección y sentido de circulación del tránsito, entre otras. La altura del tablero de señales de información general es seleccionada conforme a la Tabla IV.24 “Altura del

tablero de las señales de información general”. La longitud del tablero se define en función del número de letras que contenga la leyenda. Las dimensiones del tablero para la señal que indica el sentido de circulación del tránsito es de 30 x 91 cm debido a que la carretera de este trabajo se considera de zona rural.

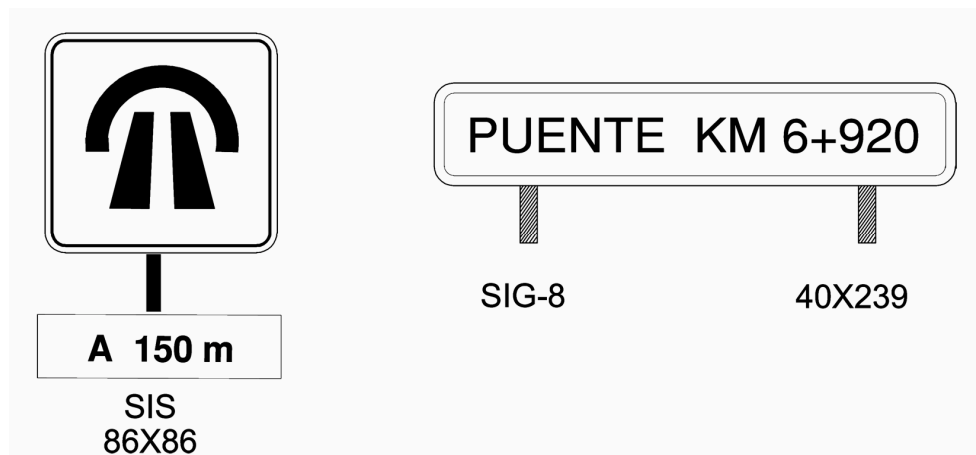
**TABLA IV.24 “ALTURA DEL TABLERO DE LAS
SEÑALES DE INFORMACIÓN GENERAL”**

Altura de tablero cm	Altura letras cm	Número renglones	USO
30 56	15 15	1 2	En carreteras con ancho de corona entre 6 y 9 m. En calles y avenidas principales urbanas.
40 71	20 20	1 2	En carreteras con anchos de corona mayor entre 6 y 9 m. En bulevares y vías rápidas urbanas.
56 86	25 25	1 2	En carreteras con anchos de corona mayor de 9 m o en carreteras de cuatro o más carriles.

- **Ubicación de las señales.** Se colocarán en el punto al que se refiera la información de la leyenda o al principio del sitio que se desea anunciar. Además de las señales que indiquen un punto de control, se colocarán señales previas, preferentemente a 500 y 250 m del lugar. La señal que indica el sentido de circulación del tránsito se colocará frente a los accesos de las intersecciones en lugares con buena visibilidad y sin interferir en ningún caso con otras señales.
- **Contenido.** En el tablero se indicará la información general necesaria para el usuario, excepto en la señal que indica el sentido de circulación del tránsito en el que solo aparecerá inscrita una flecha horizontal.
- **Color.** El color del fondo de las señales de información general es blanco mate, con letras y filete en negro, excepto las señales que indican puntos de control que por su importancia son reflejantes. Las señales que indican el sentido de circulación del tránsito tienen fondo

negro y la flecha es de color blanco reflejante.

- **Lugar.** Se utilizará para indicar a los usuarios el nombre del poblado o lugar de interés al cual están llegando. Deberá identificar poblaciones con su número de habitantes, nombre de ríos, puntos orográficos con su altitud, de limitaciones geográficas como “Trópico de Cáncer”, “Paralelo 28”, y nombre de algunos otros puntos notables del camino.
- **Nombre y obras.** Se utilizará para informar a los usuarios el nombre de obras importantes para las que cruza la carretera tales como puentes, túneles, etc. y se colocarán al principio de la obra en ambos sentidos del tránsito.



- **Limites Políticos.** Se utilizará en aquellos puntos donde se cruce un límite político, Consta de dos renglones de tal forma que en el renglón superior se coloque el nombre de la Entidad que termina y en el inferior el de la que principia. Se colocará una señal para cada sentido del tránsito.
- 2) **Señales Restrictivas (SR).** Las señales restrictivas con símbolos y/o leyendas que tienen por objeto indicar al usuario, la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulan al tránsito. El tablero de las señales restrictivas es de forma cuadrada con las esquinas redondeadas, excepto las de “ALTO” y “CEDA EL PASO”. El tablero de la señal “ALTO”, tiene forma octagonal.

El tablero de la señal “CEDA EL PASO” tiene la forma de un triángulo equilátero con un vértice hacia abajo. Las señales que requieran una explicación complementaria, además del símbolo, llevarán un tablero adicional de forma rectangular con las esquinas redondeadas, para formar un conjunto.

El tablero de las señales, tiene las dimensiones de la Tabla IV.25 “Dimensiones del tablero de las señales restrictivas”.

El tablero adicional que servirá para formar un conjunto, ya sea que lleve ceja perimetral doblada o sea placa plana sin ceja, tiene las dimensiones de la Tabla IV.26

**TABLA IV.25 “DIMENSIONES DEL TABLERO
DE LAS SEÑALES RESTRICTIVAS”**

SEÑAL	USO
61x61 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona menor de 6.00 m y calles urbanas
71x71 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona comprendido entre 6.00 y 9.00 m y avenidas principales urbanas.
86x86 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona entre 9.00 y 12.00 m, vías rápidas urbanas y carreteras de cuatro carriles donde se puedan ubicar para el mismo sentido en ambos lados.
117x117 (con ceja)	En carreteras con cuatro carriles o más, con o sin separador central.
25 por lado (sin ceja)	En carreteras con anchos de corona hasta 9.00 m y en calles urbanas.
30 por lado (con ceja)	En carreteras con anchos de corona mayor de 9.00 m y avenidas principales urbanas.
Ceda el paso 70x70x70 (sin ceja)	En carreteras con anchos de corona hasta 9.00 m y en calles urbanas.
Ceda el paso 85x85x85 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona mayor de 9.00 m y avenidas principales urbanas.

El color del fondo de las señales restrictivas es blanco en acabado reflejante, excepto en las correspondientes a los caminos con corona menor de 6 m que es en acabado mate.



**TABLA IV.26 “DIMENSIONES DEL TABLERO
ADICIONAL DE LAS SEÑALES RESTRICTIVAS”.**

Dimensiones de la señal (cm)	Dimensiones del tablero cm		Altura de las letras mayúsculas cm	
	1 renglón	2 renglones	1 renglón	2 renglones
61 x 61 (sin ceja)	25 x 61	40 x 60	10	10
71 x 71 (con ceja)	30 x 71	50 x 71	12.5	12.5
86 x 86 (con ceja)	35 x 86	61 x 86	15	15
117 x 117 (con ceja)	35 x 117	61 x 117	15	15

La velocidad máxima en cada tramo carretero es la de proyecto correspondiente. Como 95 y 80 km/h son los límites máximos de velocidad permisibles para autobuses y camiones respectivamente, en los casos en que la velocidad de proyecto sea mayor a estas, es necesario colocar una señal de velocidad por cada tipo de vehículo según el caso, para fijar el límite máximo a cada uno de ellos. Deberá emplearse un tablero adicional que indique el tipo de vehículo.

En general esta señal deberá colocarse en los siguientes casos:

- Al inicio del tramo donde rija esa velocidad.
- Antes de curvas peligrosas

- Al principio de tramos sinuosos
- En los enlaces de salida de un camino principal
- En los enlaces de salida en que deberá disminuirse la velocidad, la señal llevará un tablero adicional con la leyenda “SALIDA” y se colocará antes de donde empiece el enlace.

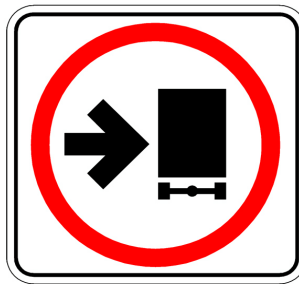


SR-9
117X117



SR-9
117X117

- a) **Señal de restricción “CONSERVE SU DERECHA”** Se empleará para indicar a los conductores de camiones que deben transitar por el carril de su derecha, con objeto de dejar libre el carril o carriles de la izquierda para el tránsito de vehículos ligeros, esto incluye los carriles especiales de ascenso.



SR-13
117X117

- 3) **Señales Preventivas (SP).** Las señales informativas son tableros fijados en El tablero ya sea que lleve ceja perimetral doblada o sea placa plana sin ceja, tiene las dimensiones de la Tabla IV.27. “Dimensiones del Tablero de las Señales Preventivas”.

El tablero adicional que servirá para formar un conjunto, ya sea que lleve ceja perimetral doblada o sea placa plana sin ceja, tiene las dimensiones de la Tabla IV.28. “Dimensiones del Tablero Adicional de las Señales Preventivas”.

**TABLA IV.27 “DIMENSIONES DEL TABLERO
DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS”**

Señal Dimensiones cm	USO
61 x 61 (sin ceja)	En carreteras con anchos de corona menor de 6.00 m y calles urbanas.
71 x 71 (sin ceja)	En carreteras con ancho de corona comprendido entre 6.00 y 9.00 m y avenidas principales urbanas.
86 x 86 (con ceja)	En carreteras con ancho de corona entre 9.00 y 12.00 m, vías rápidas urbanas y carreteras de cuatro carriles donde se puedan ubicar para el mismo sentido en ambos lados.
117 x 117 (con ceja)	En carreteras con cuatro carriles o más, con o sin separador central.

Los símbolos de las señales cuyas dimensiones en centímetros se muestran en los dibujos, variarán en proporción al tamaño de las señales que se indican.

**TABLA IV.28 “DIMENSIONES DEL TABLERO
ADICIONAL DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS.**

Dimensiones de la señal cm	Dimensiones del tablero cm		Altura de las letras mayúsculas cm	
	1 renglón	2 renglones	1 renglón	2 renglones
61 x 61 (sin ceja)	25 x 85	40 x 85	10	10
71 x 71 (con ceja)	30 X 100	50 x 100	12.5	12.5
86 x 86 (con ceja)	35 x 122	61 x 122	15	15
117 x 117 (con ceja)	35 x 152	61 x 152	15	15

Las señales preventivas se colocarán antes del riesgo que se trate de señalar a una distancia que depende de la velocidad de acuerdo a la Tabla IV.29 “Ubicación Longitudinal de las Señales Preventivas”

TABLA IV.29 “UBICACIÓN LONGITUDINAL DE SEÑALES PREVENTIVAS”

Velocidad km/h	30	40	40	50	60	70	80	90	100	110
Distancia m	30	40	40	55	75	95	115	135	155	175

Cuando se coloque una señal de otro tipo entre la preventiva y el riesgo, aquella deberá colocarse a la distancia en que iría la preventiva, y ésta al doble; si son dos señales de otro tipo las que se vayan a colocar entre la preventiva y el riesgo, la primera de aquellas se colocará a la distancia de la preventiva, la segunda al doble de ésta distancia y la preventiva al triple, y así sucesivamente.

El color del fondo de las señales preventivas es amarillo tránsito, en acabado reflejante, excepto en las señales correspondientes a los caminos con corona menor de 6.00 m que es en acabado mate. El color para los símbolos, caracteres y filete es negro.

El color del tablero adicional, es amarillo tránsito en acabado reflejante, excepto en las señales correspondientes a los caminos con corona menor de 6 m que es en acabado mate. El color para las letras y filete es negro.

- a) **Señal preventiva de curva SP-6.** Se utiliza para indicar curvas a la derecha o a la izquierda cuando el producto del grado de curvatura por la deflexión sea menor de 90°; la Figura IV.42 “Uso de las señales preventivas tipo SP-6 y SP-7” define los valores límite para su uso.

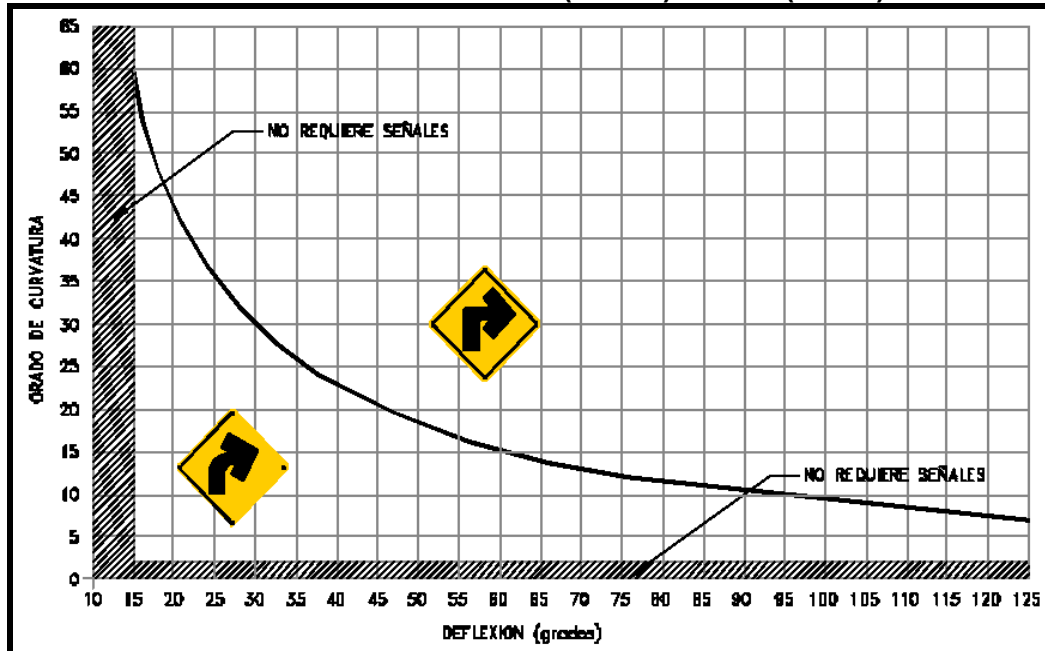
No se señalarán aquellas curvas que tengan una deflexión menor de 15° o grado de curvatura menor de 2°. El símbolo deberá indicar si la curva es a la derecha o a la izquierda.



- a) **Señal Preventiva CODO SP-7.** Se utilizará para indicar curvas a la derecha o a la izquierda, cuando el producto del grado de curvatura por la deflexión sea igual o mayor a 90° ; la Figura IV.42 “Uso de las señales preventivas tipo SP-6 y SP-7”.

El símbolo deberá indicar si la curva es a la derecha o a la izquierda.

FIGURA IV.42 “USO DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS TIPO SP-6 (Curva) Y SP-7(Codo)”



- b) **Señal Preventiva CODO SP-7.** Se utilizará para indicar curvas a la derecha o a la izquierda, cuando el producto del grado de curvatura por la deflexión sea igual o mayor a 90° ; la Figura IV.42 “Uso de las señales preventivas tipo SP-6 y SP-7”.



SP-7
117X117



SP-7
117X117

El símbolo deberá indicar si la curva es a la derecha o a la izquierda.

- c) **Señal Preventiva CURVA INVERSA SP-8.** Se utilizará para indicar la presencia de dos curvas consecutivas de dirección contraria, separadas por una tangente de longitud menor al doble de la distancia indicada en la Tabla IV.29 y cuando el producto del grado de curvatura por la deflexión de cada una de ellas sea menor de 90° .

El símbolo indicará si la curva inversa es derecha-izquierda o izquierda-derecha.



SP-8
117X117



SP-10
117X117

- d) **Señal Preventiva CODO INVERSO SP-9.** Se utiliza para indicar la presencia de dos curvas consecutivas de dirección contraria, separadas por una tangente de longitud menor al doble de la distancia indicada en la Tabla IV.29 y cuando el producto del grado de curvatura por la deflexión sea en cualquiera de las curvas igual o mayor a 90° .

El símbolo indicará si el codo inverso es derecho-izquierdo o izquierdo-derecho.

- e) **Señal Preventiva CAMINO SINUOSO SP-10.** Se utilizará para indicar tres o más curvas inversas consecutivas.

IV.5.2 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL.

Es el conjunto de marcas que tienen por objeto delinear las características geométricas de las vialidades y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, con el fin de regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los

usuarios. Estas marcas pueden ser rayas, símbolos, letras o dispositivos, que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro o adyacentes a las vialidades.

El señalamiento horizontal para autopistas se clasifica como se indica en la Tabla IV.30 “Clasificación del señalamiento horizontal”.

TABLA IV.30 “CLASIFICACIÓN DEL SEÑALAMIENTO HORIZONTAL”

CLASIFICACIÓN	NOMBRE
M – 1	Raya separadora de sentidos de circulación
M – 2	Raya separadora de carriles
M – 3	Raya en la orilla de la calzada
M – 4	Raya guía en zonas de transición
M – 5	Rayas canalizadoras
M – 6	Raya de alto
M – 7	Rayas para cruce de peatones
M – 8	Marcas para cruce de ferrocarril
M – 9	Rayas con espaciamiento logarítmico
M – 10	Marcas para estacionamiento
M – 11	Símbolos para regular el uso de carriles
M – 12	Marcas en guarniciones
M – 13	Marcas en estructuras y objetos adyacentes superficie de rodamiento
DH – 1	Violetas sobre pavimento
DH – 2	Violetas sobre estructuras
DH – 3	Botones

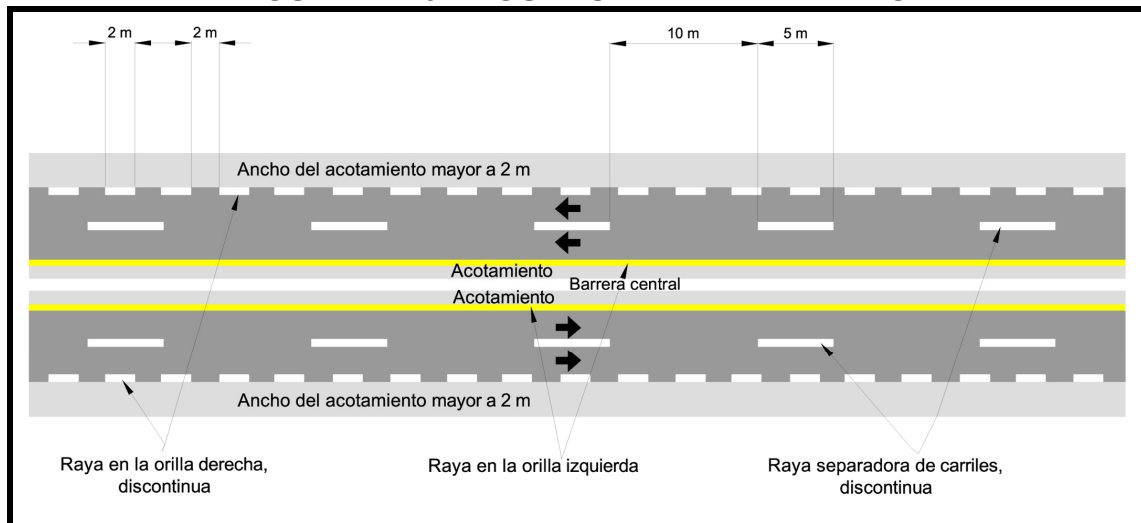
Las marcas en el pavimento se usan para regular y canalizar el tránsito de vehículos. Deben ser de color reflejante, blanco o amarillo. Ver Figura IV.43 “Figuras en el Pavimento”.

- a) Raya separadora de sentidos en circulación (M-1).** Se utilizan para separar los sentidos de circulación vehicular en autopistas. Se sitúa por lo general al centro de la calzada, tanto en tangentes como en curvas, y debe

ser de color amarillo reflejante.

- b) Raya separadora de carriles (M-2).** Se utiliza para delimitar los carriles del mismo sentido de circulación, en autopistas. Debe ser de color blanco reflejante, de 15 cm. Puede ser continua o discontinua según se permita cruzarla o no.

FIGURA IV.43 “FIGURAS EN EL PAVIMENTO”



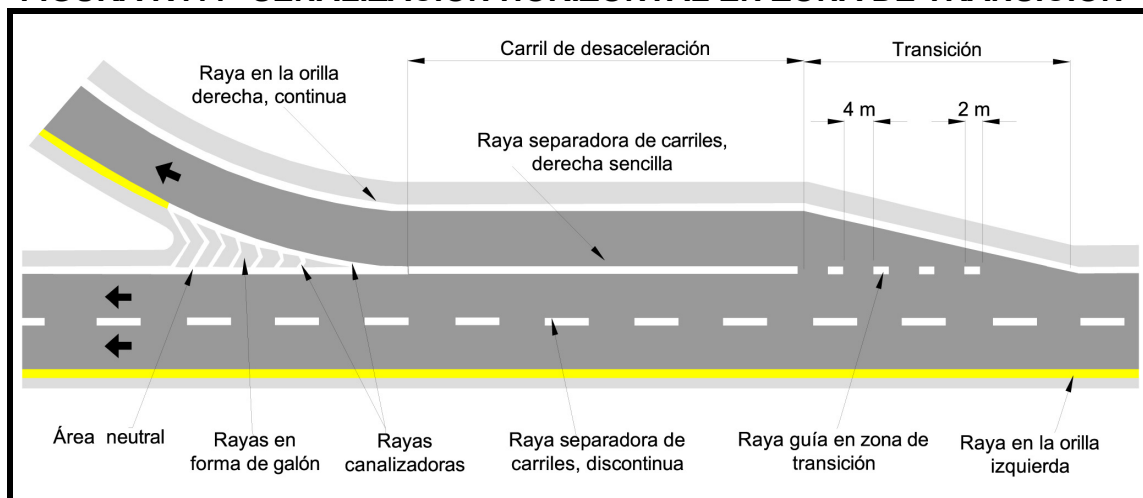
- Raya separadora de carriles, continua sencilla. La raya separadora de carriles debe ser continua sencilla en la aproximación de las intersecciones que tengan.
 - Raya separadora de carriles, discontinua. Cuando se permita cruzar la raya separadora de carriles, ésta debe ser discontinua y, tanto en carreteras como en autopistas, colocarse en segmentos de cinco (5) metros entre sí.
- c) Raya en la orilla de la calzada (M-3).** Se utiliza en carreteras y autopistas para indicar las orillas de la calzada y delimitar, en su caso, los acotamientos. El ancho de la raya en las orillas de la calzada debe ser de 15 cm.
- Raya en la orilla derecha. La raya en la orilla derecha de la calzada, debe ser de color blanco reflejante.
 - Raya en la orilla derecha, continua. Debe ser continua cuando el acotamiento tenga un ancho de hasta dos (2) metros o en curvas, intersecciones, entradas y salidas, donde por razones de seguridad en la

operación del tránsito conviene restringir el estacionamiento sobre el acotamiento.

- Raya en la orilla derecha, discontinua. Debe ser discontinua cuando el ancho del acotamiento sea mayor de dos (2) metros, conformada por segmentos de dos (2) metros, de longitud separados dos (2) metros entre sí.
- Raya en la orilla izquierda. Se debe utilizar en autopistas con faja separadora central, de cuerpos separados, así como en rampas de salida. En todos los casos, esta raya debe ser continua y de color amarillo reflejante, como se muestra en la Figura IV.43 “Figuras en el Pavimento”.

d) Raya guía en zonas de transición (M-4). Se utiliza para delimitar la zona de transición entre los carriles de tránsito directo y el de cambio de velocidad en las entradas y salidas, o para ligar los extremos de los enlaces. Debe ser discontinua de color blanco reflejante de 15 cm y conformada por segmentos de dos (2) metros de longitud separados cuatro (4) metros entre sí. Ver Figura IV.44 “Señalización horizontal en zona de transición”.

FIGURA IV.44 “SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL EN ZONA DE TRANSICIÓN”



e) Rayas canalizadoras (M-5). Se utilizan en calles, carreteras y autopistas para delimitar la trayectoria de los vehículos, canalizando el tránsito en las entradas, salidas y bifurcaciones, o para separar apropiadamente los

sentidos de circulación, formando una zona neutral de aproximación a las isletas o fajas separadoras. Ver Figura IV.44 “Señalización horizontal en zona de transición”.

Las rayas que limitan la zona neutral, deben ser discontinuas, de color blanco reflejante cuando separan flujos en un solo sentido y amarillo reflejante cuando separan flujos diferentes sentidos de circulación. Estas rayas deben tener el ancho de 15 cm.

La zona neutral se debe marcar mediante rayas diagonales de veinte (20) centímetros de ancho con una inclinación de cuarenta y cinco (45) grados, trazadas de izquierda a derecha en el sentido del tránsito. Las rayas diagonales de una sola inclinación deben ser de color amarillo reflejante y las rayas a manera de galón con dos inclinaciones de color blanco reflejante. En ambos casos deben estar separadas entre sí dos (2) metros medidos sobre las rayas que limitan la zona neutral.

La longitud mínima de la zona neutral en la aproximación a los extremos de isletas o fajas separadoras centrales, debe ser de cincuenta (50) metros. En las isletas canalizadoras para los casos de entradas, salidas y bifurcaciones. Dicha longitud debe quedar definida por las trayectorias de los carriles que divergen o convergen.

- f) Marcas en estructuras (M-13).** Las estructuras que se marcan son parapetos, aleros, estribos, pilas, columnas, cabezales, muros de contención y postes cuyo ancho sea mayor de treinta (30) centímetros. Dichas estructuras se deben pintar en su cara normal al sentido del tránsito, hasta una altura de tres (3) metros, mediante franjas de treinta (30) centímetros de ancho inclinadas a cuarenta y cinco (45) grados, alternando los colores negro y blanco reflejante que cumpla con el patrón.
- g) Viales (DH-1, DH-2).** Son dispositivos que se colocan en la superficie de rodamiento o en el cuerpo de las estructuras adyacentes a la vialidad. Las Viales se usan para complementar las marcas, mejorando la visibilidad de la geometría de la vialidad, cuando prevalecen condiciones climáticas adversas y/o durante la noche, mientras que los botones se emplean

colocados en el pavimento, para transmitir al usuario, mediante vibración y sonido, una señal de alerta.

- **Vialetas.** Son dispositivos que tienen un elemento reflejante en una o en ambas caras, dispuestos de tal forma que al incidir en ellos la luz proveniente de los faros de los vehículos se refleje hacia los ojos del conductor en forma de un haz luminoso.

Las vialetas se deben colocar siempre en autopistas tipo A de acuerdo a lo mostrado en la Tabla IV.31 “Clasificación de Vialetas sobre el pavimento”.

TABLA IV.31 “CLASIFICACIÓN DE VIALETAS SOBRE EL PAVIMENTO”

Tipo de Marca	Rayas		Violetas		Color y orientación de reflejante
	Clasificación.	Nombre	Clasificación.	Ubicación	
Raya separadora de carriles M-2	M-2.1	Continua sencilla	DH-1.7	A cada 30 m sobre la raya a partir del inicio de la zona marcada.	Blanco en la cara al tránsito.
	M-2.3	Discontinua	DH-1.9	A cada 30 m al centro del espacio entre segmentos marcados.	
Raya en la orilla de la calzada M-3	M-3.1	Derecha continua	DH-1.11	A cada 30 m sobre la raya, en carreteras con faja separadora central.	Blanca en la cara al tránsito
	M-3.2	Derecha discontinua	DH-1.13	A cada 32 m al centro del espacio entre segmentos marcados, en carreteras con faja separadora	Blanco en la cara al tránsito
	M-3.3	Izquierda	DH-1.14	A cada 30 m sobre la raya en carreteras con faja separadora.	Amarillo en la cara al tránsito

IV.5.3 CANTIDADES DE OBRA PARA SEÑALIZACIÓN.

De acuerdo a las especificaciones presentadas en esta sección se ha realizado la cuantificación de materiales requeridos para la señalización de la autopista. Estas cantidades de obra tienen el objetivo de presentar un costo paramétrico de referencia para las etapas siguientes del proyecto. Así mismo el catálogo de conceptos presentado a continuación es parte del presupuesto del Capítulo V “Estudio Económico”.

**TABLA IV.32 “CANTIDADES DE OBRA PARA
SEÑALIZACIÓN AUTOPISTA TOLUCA–NAUCALPAN”**

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
Señal Informativa SII–14 de 30 x 120 cm kilometraje con ruta	Pza	18
Señal Informativa SII 15 30 x 76 cm kilometraje sin ruta	Pza	54
Señal Informativa de Recomendación SIR 86 x 300 cm usa el cinturón salva tu vida	Pza	5
Señal Informativa de Recomendación SIR 86 x 300 cm un camino limpio es más seguro	Pza	5
Señal Informativa de Recomendación SIR 86 x 300 cm si tomas no manejes	Pza	4
Señal Informativa de Recomendación SIR 86 x 300 cm conducir alcoholizado provoca accidentes	Pza	2
Señal Informativa de Recomendación SIR 86 x 300 cm encienda sus luces longitud 240 m	Pza	1
Señal Informativa General SIG-8 40 x 239 cm nombre de obras	Pza	14
Señal de Restricción SR 117 x 117 cm cinturón de seguridad	Pza	4
Señal de Restricción SR–13 117 x 117 cm tránsito lento a su derecha	Pza	4
Señal de Restricción SR–9 117 x 117cm velocidad 110 kph	Pza	2
Señal de Restricción SR–9 117 x 117 cm velocidad 80 kph	Pza	6
Señal Preventiva SP–6 117 x 117 cm curva derecha	Pza	20
Señal Preventiva SP–6 117 x 117 cm curva izquierda	Pza	20
Señal Preventiva SP-7 117 x 117 cm codo derecho	Pza	2
Señal Preventiva SP9-7 117 x 117 cm codo izquierdo	Pza	3
Señal Preventiva SP–8 117 x 117 cm curva inversa	Pza	11
Señal Preventiva SP- 10 117 x 117cm camino sinuoso	Pza	6
Señal de Información General SIG 117 x 117 cm zona de túnel a 150 m	Pza	2
Señal de Información General SIG 117 x 117 cm zona de túnel a 150 m	Pza	2
Recubrimiento de superficies con pintura color blanco reflejante, de 15 cm de ancho.	m	25,000
Recubrimiento de superficies, color blanco reflejante. Rayas en las orillas exteriores de la calzada de 15 cm de ancho.	m	112,500
Vialetas con reflejante OD-7 en 2 caras color amarillo en el sentido del tránsito y rojo en el contrasentido.	Pza	11,250
Vialetas con reflejante OD-6 Indicadores de Alineamiento de Cloruro de Polivinilo retráctiles.	Pza	1,250
Defensas metálicas de lámina galvanizada tipo AASTHO M-180, de 2 crestas.	m	15,740

Para el desarrollo del Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan fue empleada información publicada, por ejemplo en cartas del Instituto Nacional de Geografía (INEGI), así como información obtenida de observaciones de proyectos existentes en la zona y de autopistas existentes con la clasificación A4.

A diferencia de este trabajo, el desarrollo de un proyecto final realizado en la vida profesional requiere de información proporcionada por estudios de campo de las diferentes disciplinas revisadas en este trabajo, especialmente en el Capítulo III “Estudios Preliminares”. Así mismo para el desarrollo de un proyecto definitivo es necesario considerar otros estudios que escapen al alcance de este trabajo; como estudios de los núcleos de población cercanos y sus necesidades socioeconómicas, como puentes peatonales o infraestructura urbana, estudios de amortiguamiento de impacto ambiental más extensos y detallados con información recabada directamente en la zona de la autopista, etc.

Para el diseño de los elementos de la Autopista se aplicaron normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

El Anteproyecto desarrollado en este capítulo define las características de la Autopista Toluca–Naucalpan aportando elementos para el desarrollo posterior de un proyecto a detalle para los temas de Terracerías, Pavimentos, Drenajes, de las estructuras de la Autopista como Puentes y Entronques así como Túneles, finalmente el tema de Señalización. Los elementos mencionados anteriormente sirven como una definición de las necesidades mínimas que requerirá un proyecto de construcción real, así como un criterio para evaluar las características mínimas que debe tener una propuesta de concesión.

Una vez definidas las características generales de la Autopista Toluca–Naucalpan se cuenta con los elementos necesarios para determinar el importe aproximado del proyecto. El cual se estudia en el Capítulo V “Estudio Económico”.

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO.

Toda obra que es necesaria, deberá apegarse a un correcto planteamiento técnico, un tiempo para construirla y los recursos necesarios para llevarla a cabo. En el primer punto, se depende de la tecnología así como el desarrollo de los procesos constructivos. En relación al tiempo, se tiene que hacer una planeación adecuada a fin de administrar y balancear los tiempos de construcción y la asignación de los recursos. En referencia al costo (recursos), éste está ligado intrínsecamente con los elementos anteriores y adquiere una gran relevancia.

Durante la planeación del proyecto de construcción, la evaluación económica es una parte fundamental, ya que ésta determina cuál es el monto de los recursos económicos necesario para su realización así como los beneficios que producirá con fin de evaluar su utilidad, por lo cual es primordial la estimación del costo.

Un estimado de los costos representa una predicción proporcionada por el ingeniero de costos sobre la base de los datos disponibles. El grado de precisión requerido de los costos de construcción varía en las diferentes etapas del desarrollo del proyecto, desde valores muy generales en las etapas tempranas hasta valores altamente confiables para los presupuestos de control al inicio de la construcción. Dado que las decisiones tomadas en las primeras etapas del ciclo de vida de la construcción son más generales que las tomadas en las etapas más avanzadas, los costos de las etapas tempranas se espera que sean menos precisos que los hechos en las etapas avanzadas. Generalmente, la precisión de un estimado de costos reflejará la información disponible al momento de su elaboración.

Para efectos del presente trabajo, se realizaron dos tipos de estudios para evaluar el costo estimado de la construcción de la autopista en cuestión: el primero mediante la elaboración del sistema de precios unitarios y el segundo mediante la estimación de costos paramétricos, ambos expresados en pesos mexicanos.

Para el sistema de precios unitarios se utilizan los volúmenes de obra obtenidos en el Capítulo IV “Anteproyecto”; se irán describiendo paso a paso los componentes del mismo, pero solo se muestra el análisis y cálculo de cinco precios unitarios integrado por sus costos directos, costos indirectos, costos por financiamiento y costo por utilidad. Los precios unitarios que se utilizaron son análisis tipo para una obra de autopistas. La integración y valorización en costo de los volúmenes de obra obtenidos se muestran en la Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra” al finalizar el Tema V.1.2 “Integración de los Precios Unitarios”.

V.1 ELABORACIÓN DE CATÁLOGO DE CONCEPTOS.

Una vez que se tiene definida la descripción detallada de las características y condiciones mínimas que debe reunir el trabajo a realizar, esta servirá como base para la integración de un costo unitario. Al grupo de éstas características se les llaman especificaciones de obra, pudiendo ser generales o particulares y las cuales se deberán apegar en lo posible, a los sistemas, materiales y equipo de que se disponga en ese momento y para la zona determinada donde se llevarán a cabo los trabajos. Así también, deben contener las tolerancias que contemplen rangos adecuados de ejecución.

Por medio de las especificaciones, se definen las características y calidades requeridas para un producto, de esta forma, se pueden agrupar de acuerdo a sus características en conceptos de trabajo, asignándoseles una unidad de medición y realizando la cuantificación respectiva. A este conjunto de conceptos de trabajo se le conoce como Catálogo de Conceptos y es el que sirve de base para elaborar el presupuesto de obra.

El mínimo divisor de cualquier número entero, es la unidad, por lo cual se tratará de reducir cualquier producto o subproducto a sus componentes unitarios, utilizando para ello las unidades aceptadas en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Para asignar a un concepto la unidad correspondiente de peso, volumen, área o longitud, se toma en cuenta la unidad del componente integrante predominante, así como también la forma más fácil de realizar la medición del propio concepto.

Una vez que se elabora el catálogo de conceptos, se procede a la valorización de cada uno de los conceptos que lo integran. A esta valorización se le conoce como Análisis de Precios Unitarios y se integra por la suma de los costos directos, costos indirectos, cargo por financiamiento y el cargo por utilidad.

El catálogo de conceptos que se obtuvo para la autopista del presente estudio se encuentra en el Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”. Cabe mencionar que las cantidades de obra anotadas en el catálogo de conceptos, son aproximadas y se obtuvieron en el Capítulo IV “Anteproyecto” para cada una de las especialidades y divididas por partidas de obra, y si por necesidades propias de la obra o por cualquier otra causa fuese preciso efectuar menor o mayor volumen que el inicialmente considerado, el contratista se obliga a ejecutar los nuevos volúmenes sin modificar los precios unitarios originalmente pactados, por lo que únicamente se pagarán los volúmenes realmente ejecutados.

V.1.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

El precio unitario es el importe de la remuneración o pago total que debe cubrirse al contratista por unidad de concepto de obra terminado, ejecutado conforme lo indica el proyecto, las especificaciones de construcción y normas de calidad.

El precio unitario se integra con la suma de los costos directos, esto es, la mano de obra, la maquinaria y equipo y los materiales, y que corresponden al concepto de trabajo; los costos indirectos, el costo por financiamiento, el cargo por utilidad del contratista y los cargos adicionales si los hubiere.

La enumeración de los costos y cargos mencionados para el análisis, cálculo e integración de los precios unitarios, tiene por objeto cubrir en la forma más amplia posible, los recursos necesarios para realizar cada concepto de trabajo y deberán ser congruentes con los procedimientos constructivos, los programas de obra, los costos vigentes de los insumos en la zona que se llevarán a cabo los trabajos, sin considerar el Impuesto al Valor Agregado (IVA) (según la legislación que aplique en la zona donde se realizan los trabajos).

V.1.1.1 COSTO DIRECTO DE LA MANO DE OBRA.

El costo directo de la mano de obra es el que se obtiene del pago de los salarios reales al personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo el primer mando (cabo o jefe de cuadrilla). Dentro de este costo no se consideran las percepciones del personal técnico-administrativo, de control, supervisión y vigilancia, ya que estos corresponden a los costos indirectos.

El costo de la mano de obra se obtiene de la expresión:

$$Mo = Sr/R$$

Donde:

“Mo” Representa el costo por mano de obra.

“Sr” Representa el salario real del personal que interviene directamente en la ejecución de cada concepto de trabajo, por jornada de ocho horas e incluye todas las prestaciones derivadas de la Ley Federal del Trabajo, la Ley del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) y/o de los Contratos Colectivos de Trabajo en vigor.

Para obtener este rubro, se deben considerar los salarios tabulados “Sn” de las diferentes categorías y especialidades propuestas para los trabajos, de acuerdo a la zona o región donde se ejecuten los trabajos, el que deberá afectarse con un factor de salario real “Fsr”, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Sr = Sn * Fsr$$

“R” Representa el rendimiento, es decir, la cantidad de trabajo que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas. Para realizar la evaluación del rendimiento, se debe considerar el tipo de trabajo a desarrollar, las condiciones ambientales, topográficas y en general las condiciones que predominen en la zona o región donde se ejecuten.

“Fsr”	Representa el factor de salario real y se entiende como la relación de los días realmente pagados en un periodo anual, de enero a diciembre, divididos entre los días efectivamente laborados durante el mismo periodo, de acuerdo con la siguiente expresión: $Fsr = Ps*(Tp/Ti) + (Tp/Ti)$
“Ps”	Representa, en fracción decimal, las obligaciones obrero patronales derivadas de la Ley del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y de la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).
“Tp”	Representa los días realmente pagados durante un periodo anual.
“Ti”	Representa los días realmente laborados durante el mismo periodo anual.

Para su determinación, únicamente se deberán considerar aquellos días que estén dentro del periodo anual referido y que, de acuerdo con la Ley Federal del Trabajo y los contratos colectivos, resulten pagos obligatorios, aunque no sean laborables. Una vez que se determine el factor de salario real, éste permanecerá fijo hasta la terminación de los trabajos contratados, incluyendo los convenios que se celebren. En el cálculo del factor de salario real no deberán considerarse gastos de transportación, comedor, campamentos, herramientas de trabajo, alimentación en forma onerosa, despensa, premios por asistencia y puntualidad, viáticos y pasajes para trasladarse fuera del lugar habitual de trabajo. Cabe mencionar que el importe del o los conceptos anteriores que sean procedentes, deberán considerarse en el análisis de los costos indirectos de campo correspondiente.

Para realizar un ejemplo de este punto, se toma como referencia el “Catálogo de Costos Directos de Carreteras 2008” que emite la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), que en su página 9 indica los datos básicos para el análisis del factor de salario real y del cual se toman los salarios reales para tres categorías de personal de obra. Cabe mencionar que los valores seleccionados solo se toman como referencia y no debe considerarse como un cálculo definitivo, ya que se debe considerar aquellos días que estén dentro del período anual y que de acuerdo a la Ley sean obligatorios aunque no sean

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

laborables de cada proyecto en particular. De la misma forma, el procedimiento de cálculo que se ejemplifica en la Tabla V.1 “Análisis, Cálculo e Integración del Factor de Salario Real (Fsr)” no debe tomarse como definitivo, ya que existen otros procedimientos y varía según el autor.

**CUADRO V.1 “DATOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS
DEL FACTOR DE SALARIO REAL”**

NOMBRE DE LA DEPENDENCIA:		Cámara Mexicana de la	
No. LICITACIÓN:		Industria de la	
LUGAR: México, D.F.		Construcción	
OBRA: Catálogo de Costos Horarios de Carreteras 2008			
DATOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS DEL FACTOR DE SALARIO REAL			
DICAL	DIAS CALENDARIO		366.00
DIAGI	DIAS DE AGUINALDO		15.00
PIVAC	DIAS POR PRIMA VACACIONAL		1.50
	PRIMA DOMINICAL		-
Tp	TOTAL DE DIAS REALMENTE PAGADOS AL AÑO	SUMA:	382.50
DIDOM	DIAS DOMINGO		52.00
DIVAC	DIAS DE VACACIONES		6.00
DIFEO	DIAS FESTIVOS POR LEY		7.17
DIPEC	DIAS PERDIDOS POR CONDICIONES DE CLIMA (LLUVIA Y OTROS)		2.00
DIPCO	DIAS POR COSTUMBRE		3.00
DIPEN	DIAS POR PERMISOS Y ENFERMEDAD NO PROFESIONAL		3.00
DINLA	DIAS NO LABORADOS AL AÑO	SUMA:	73.17
TI	TOTAL DE DIAS REALMENTE LABORADOS AL AÑO (DICAL)-(DINLA)		292.83
Tp / TI	DIAS PAGADOS / DIAS LABORADOS		1.306219
FSBC	FACTOR DE SALARIO BASE DE COTIZACION (Tp/DICAL)		1.045082
	PARA CÁLCULO DE IMSS		

TABLA DE SALARIOS REALES

SALARIO MINIMO D.F. \$/día : 52.59

En la Tabla V.1 “Análisis, Cálculo e Integración del Factor de Salario Real (Fsr)” se realiza el cálculo para cuatro categorías de trabajo: Operador de Equipo Mayor (operador para tractor, motoconformadora y compactador), con un salario neto propuesto de 3,500.00 \$/semana equivalente a 500.00 \$/jornada cada uno, un Topógrafo, con un salario neto propuesto de 2,800.00 \$/semana equivalente a 400.00 \$/jornada y a un Cadenero, con un salario neto propuesto de 1,200.00 \$/semana equivalente a 172.00\$/jornada.

Del cálculo se puede observar que el cociente $(Tp/Ti) = (381.50/292) = 1.306507$ y es un valor constante, mientras que “Ps” depende directamente del salario nominal y su equivalencia con el salario mínimo vigente en la zona. Para efecto de realizar el cálculo, se tomó la zona “A” (Distrito Federal y Área Metropolitana de la Ciudad de México) con un importe de \$ 54.80 en enero de 2009. En este punto, se debe tomar nota que el Cuadro V.1 “Datos Básicos para el Análisis del Factor de Salario Real” considera el valor de \$ 52.59 que es el salario mínimo vigente en la zona A para el año 2008.

**TABLA V.1 “ANÁLISIS, CÁLCULO E INTEGRACIÓN
DEL FACTOR DE SALARIO REAL (Fsr)”**

DICAL	DIAS CALENDARIO	365.00
DIAGI	DIAS DE AGUINALDO	15.00
PIVAC	DIAS POR PRIMA VACACIONAL	1.50
	PRIMA DOMINICAL	3.00
	HORAS EXTRAS	-
Tp	TOTAL DE DIAS REALMENTE PAGADOS AL AÑO	SUMA: 384.50
DIDOM	DIAS DOMINGO	52.00
DIVAC	DIAS DE VACACIONES	6.00
DIFEO	DIAS FESTIVOS POR LEY	7.17
DIPEC	DIAS PERDIDOS POR CONDICIONES DE CLIMA (LLUVIA Y OTROS)	2.00
DIPCO	DIAS POR COSTUMBRE	3.00
DIPEN	DIAS POR PERMISOS Y ENFERMEDAD NO PROFESIONAL	3.00
DISIN	DIAS POR SINDICATO (CONTRATO COLECTIVO)	-
DINLA	DIAS NO LABORADOS AL AÑO	SUMA: 73.17
TI	TOTAL DE DIAS REALMENTE LABORADOS AL AÑO (DICAL)-(DINLA)	291.83
Tp / TI	DIAS PAGADOS / DIAS LABORADOS	1.317548
(Tp -Te) / TI	DIAS PAGADOS - TIEMPO EXTRA / DIAS LABORADOS	1.317548
FSBC	FACTOR DE SALARIO BASE DE COTIZACION (Tp/DICAL) para cálculo de IMSS	1.053425

TABLA DE SALARIOS REALES

SALARIO MINIMO D.F. \$/día : 54.80
Porcentaje de pagos (Otros cargos) 0.00%

Clave	Categorías	Salario Nominal \$	Tp / TI	Obligación Obrero Patronal Ps= IMSS e INFONAVIT	Ps x (Tp-Te)/TI	Fsr= Ps (Tp/TI)+ (Tp/TI)
A	B	C	D	E	E x D	(E x D) + D
1-05-12-04	Operador Equipo Mayor	500.00	1.317548	0.253878	0.334496	1.652044
1-14-02-00	Topógrafo	400.00	1.317548	0.257754	0.339603	1.657151
1-14-20-00	Cadenero	172.00	1.317548	0.283570	0.373617	1.691165

Una vez que se obtuvo el factor de salario propuesto para cada categoría, se realiza el producto de este último con el salario nominal respectivo con el fin de obtener el salario real. En la Tabla V.2 “Tabulador de Salarios Reales de Mano de Obra” se indica los valores que se obtuvieron.

TABLA V.2 "TABULADOR DE SALARIOS REALES DE MANO DE OBRA"

Clave	Categoría	Salario Nominal	Factor de Salario Real	Salario Real
1-05-12-04	Operador Equipo Mayor	500.00	1.652044	826.02
1-14-02-00	Topógrafo	400.00	1.657151	662.86
1-14-20-00	Cadenero	172.00	1.691165	290.88

Los rendimientos de la mano de obra son producto de la experiencia y pueden variar de acuerdo a las condiciones climatológicas de la región donde se realicen los trabajos y a la experiencia del personal que los lleva a cabo. Como un indicador de los rendimientos de mano de obra, existen publicaciones especializadas en los costos de construcción que de forma teórica obtiene los rendimientos para distintas actividades o trabajos a realizar.

Para ejemplificar el rendimiento teórico de la mano de obra, se analiza la cuadrilla de trabajo integrada por un Oficial y un Ayudante para realizar el corte, doblado, habilitado y armado del acero de refuerzo en varillas de límite elástico igual o mayor a una $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ en estructuras. Se muestra a continuación el ciclo de trabajo empleado:

- 1) Se fija el diámetro de las varillas que se va a analizar. Dado que el análisis no se refiere a un diámetro de varilla específico se hará el promedio de los rendimientos teóricos aproximados más usuales, esto es:
 - a) en cimentación, 170 kg/jor
 - b) en estructura, 160 kg/jor y
 - c) en estructura superior, 130 kg/jorlo que da como resultado un rendimiento promedio de 150 kg/jor.
- 2) Este rendimiento obtenido se utiliza para las actividades de corte y doblado y para el habilitado y armado.
- 3) Cada actividad, se ve afectada por un factor de corrección, el cual varía de acuerdo al autor y bajo las condiciones de trabajo en que se este laborando, para este cálculo se tomo el factor de 0.9
- 4) Se obtiene el rendimiento empleado en las diversas actividades que se describieron anteriormente y que para el ejemplo es la expresión:

$$\text{Rendimiento} = \text{Factor} * (\text{Corte} + \text{Doblado}) + \text{Factor} * (\text{Habilitado} + \text{Armado})$$

Sustituyendo los datos conocidos, se obtiene

$$\text{Rendimiento} = 0.9 \cdot (150 \text{ kg/jor}) + 0.9 \cdot (150 \text{ kg/jor}) = 270 \text{ kg/jor}$$

Cabe mencionar que para cualquier actividad, las condiciones son diferentes y dependen principalmente de la especialización del personal para realizar dichos trabajos por lo que se recomienda siempre realizar el análisis respectivo.

V.1.1.2 COSTO DIRECTO DE LA MAQUINARIA.

El costo directo de la maquinaria y equipo de construcción es el que se deriva del uso correcto de las máquinas o equipos adecuados y necesarios para la ejecución del concepto de trabajo de acuerdo a lo estipulado en las normas de calidad y especificaciones y conforme al programa de obra convenido.

El costo por máquina y equipo de construcción, es el que resulta de dividir el importe del costo horario de la hora efectiva de trabajo, entre el rendimiento de dicha maquinaria o equipo en la misma unidad de tiempo.

El costo de la maquinaria se obtiene de la expresión:

$$\text{MAQ} = \text{Phm} / \text{Rhm}$$

Donde:

“MAQ” Representa el costo horario por maquinaria o equipo de construcción.

“Phm” Representa el costo horario directo por hora efectiva de trabajo de la maquinaria o equipo de construcción, considerados como nuevos; para su determinación es necesario tomar en cuenta la operación y el uso adecuado de la máquina o equipo seleccionado, de acuerdo con sus características de capacidad y/o especialidad para desarrollar el concepto de trabajo. Este costo se integra por los costos fijos, consumos y el costo de operación, calculados por la hora efectiva de trabajo.

“Rhm” Representa el rendimiento horario de la maquinaria o equipo de construcción considerados como nuevos, dentro de su vida económica, en las condiciones particulares del trabajo por ejecutar, en las unidades correspondientes de medición por hora efectiva de operación, de acuerdo con los rendimientos que determinen los manuales de los fabricantes respectivos, así como las características ambientales de la zona donde vayan a realizarse los trabajos.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

El cálculo de estos costos se representa en la Tabla V.3 “Plantilla para el Cálculo del Costo Horario”. Cabe mencionar que este es un modelo de cálculo propuesto y varía según el autor, por lo que no debe considerarse como definitivo.

**TABLA V.3 “PLANTILLA PARA EL CÁLCULO DEL
COSTO HORARIO DE LA MAQUINARIA”**

EQUIPO NÚMERO.		DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO:	
DATOS GENERALES:			
TIPO DE COMBUSTIBLE :		☐ GASOLINA	☐ DIESEL ☐ OTRO
(Pm)	PRECIO DE LA MÁQUINA	\$ (HP)	POTENCIA NOMINAL HP
(Pn)	VALOR DE LAS LLANTAS	\$ (Fo)	FACTOR DE OPERACIÓN %
(Pa)	VALOR DE EQUIPO, ACC. O/Y PZAS. ESP.	\$ (HPop)	POTENCIA DE OPERACIÓN (HP x Fo) HP
(Vm)	VALOR DE LA MÁQUINA	\$ (Gh)	CANTIDAD DE COMBUSTIBLE LITROS/ HR.
(Vr)	VALOR DE RESCATE	\$ (Pc)	PRECIO DEL COMBUSTIBLE LITRO
(Ve)	VIDA ECONÓMICA	HORAS (C)	CAPACIDAD DEL CARTER LITROS
		(t)	HORAS ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE HORAS
(IC)	INDICADOR ECONOMICO PARA TASA DE INTERÉS ANUAL	(Ah)	CANTIDAD DE LUBRICANTE LITROS/HR.
(i)	TASA DE INTERÉS ANUAL	(Pa)	COSTO DEL LUBRICANTE LITRO
(Hea)	HORAS EFECTIVAS POR AÑO	(Vn)	VIDA DE LAS LLANTAS HORAS
		(Va)	VIDA DEL EQUIPO, ACC. Y/O PZAS. ESP. HORAS
(s)	PRIMA ANUAL PROMEDIO	(Ht)	HORAS EFECTIVAS POR TURNO HORAS
(Ko)	COEF. PARA MANTENIMIENTO MAYOR Y MENOR	(Sr)	SALARIOS POR TURNO TURNO
(Ga)	CONSUMO ENTRE CAMBIO DE LUB. =C/t	LITROS/HR.	
I.- CARGOS FIJOS :			
I.1)	DEPRECIACIÓN	$D = (Vm - Vr) /$	=
I.2)	INVERSIÓN	$Im = (Vm + Vr) i / 2 Hea$	=
I.3)	SEGUROS	$Sm = (Vm + Vr) s / 2 Hea$	=
I.4)	MANTENIMIENTO	$Mm = Ko \times D$	=
			(1) SUMA CARGOS FIJOS
II.- CARGOS POR CONSUMOS :			
II.1)	COMBUSTIBLES	$Co = Gh \times Pc$	=
II.2)	OTRAS FUENTES DE ENERGIA		=
II.3)	LUBRICANTES	$Lb = (Ah+Ga) Pa$	=
II.4)	LLANTAS	$N = Pn / Vn =$	=
II.5)	EQUIPO, ACC. Y/O PZAS. ESP.	$Ae = Pa / Va =$	=
			(2) SUMA CONSUMOS
III.- CARGOS POR OPERACIÓN :			
CATEGORÍAS		CANTIDAD	SALARIO REAL
			(Sr) =
III.1.- OPERACIÓN	$Po = Sr / Ht =$		(3) SUMA OPERACIÓN
			COSTO DIRECTO POR HORA (1) + (2) + (3) = \$

Los costos o Cargos Fijos (número I, de la Tabla V.3 “Plantilla para el Cálculo del Costo Horario de la Maquinaria”), son los correspondientes a depreciación, inversión, seguros y mantenimiento.

El costo de la depreciación (D) es el que resulta por la disminución del valor original de la maquinaria o equipo, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica. Se considera que la depreciación es lineal.

El costo de la inversión (Im) es el equivalente a los intereses del capital invertido en la maquinaria o equipo, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica (expresado en horas efectivas durante el año). La tasa de interés anual es propuesta pero se toma como referencia un indicador económico específico, como la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio en moneda nacional (TIIE) o los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES).

El costo por seguros (Sm) es el que cubre los riesgos a que esta sujeta la máquina o equipo por posibles siniestros que sufra como consecuencia de su uso. La prima anual promedio de seguros también es referida a un indicador específico del mercado de seguros.

El costo por mantenimiento (Mm) son los gastos correspondientes para conservar el equipo o maquinaria en buenas condiciones de operación durante toda su vida económica. Estos costos pueden ser por mantenimiento mayor (retirando el equipo del frente de trabajo y llevándolo a un taller especializado) o por mantenimiento menor (ajustes, reparaciones y cambios de repuesto que se efectúa en el frente de trabajo, así como el cambio de aceite de transmisión, hidráulicos, filtros, etc.). Se considera como un porcentaje de la depreciación (D); este factor depende del tipo de maquinaria o equipo y es del tipo estadístico.

Los costos o Cargos por Consumos (número II, de la Tabla V.3 “Plantilla para el Cálculo del Costo Horario”), son los correspondientes al uso de combustibles u otras fuentes de energía y, en su caso, lubricantes, llantas y piezas especiales.

El costo por combustibles (Co) es el que se origina por el consumo de gasolina o diesel para el funcionamiento de los motores de combustión interna de la maquinaria o equipo de construcción. Este consumo depende de la potencia nominal del motor, de un factor de operación de la maquinaria o equipo y de un

coeficiente determinado por la experiencia y varía de acuerdo al combustible que se use.

El costo por otras fuentes de energía, es el derivado por los consumos de energía eléctrica o de otros energéticos distintos a los señalados en el párrafo anterior.

El costo por lubricantes (Lb), es el derivado por el consumo y los cambios periódicos de aceites lubricantes de los motores y que está determinado por la capacidad del recipiente dentro de la máquina o equipo y los tiempos entre cambios sucesivos de aceites.

El costo por llantas (N) es el que corresponde al consumo por desgaste de las llantas durante la operación de la maquinaria o equipo de construcción, consideradas como nuevas. Este valor depende de la vida económica tomando en cuenta el uso y las condiciones de trabajo impuestas. Regularmente este valor se toma de estadísticas y recomendaciones del fabricante.

El costo por piezas especiales (Ae), corresponde al consumo por desgaste de las piezas especiales durante la operación de la maquinaria o equipo, bajo las condiciones de trabajo impuestas.

El costo o Cargos por Operación (Po) es el que resulta por el pago de salarios del personal encargado de la operación de la maquinaria o equipo, por hora efectiva de trabajo dentro del turno.

En caso de requerirse, debe tomarse en cuenta el costo por maquinaria o equipo en espera (el equipo permanece sin desarrollar trabajo alguno, en espera de entrar en actividad, considerando al operador) y en reserva (el equipo está inactivo y se considera para una posible contingencia). Estos casos dependen del procedimiento constructivo y de las condiciones particulares de trabajo.

Para el análisis del concepto "Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)", se considera el uso de un aparato de medición topográfico y de tres equipos, esto es, un equipo topográfico de precisión marca. TOP-CON, modelo GTS-300, año 2002, un compactador vibratorio marca Dynapac, modelo CA25A, año 1995, una motoconformadora marca Caterpillar, modelo 120G, año

1982 y un Tractor marca Komatsu, modelo D155A-2, año 1990. Aunque se menciona el año de fabricación de cada equipo, para el cálculo de los costos horarios, se considera el equipo como nuevo. Cada uno de estos equipos se integrará de acuerdo a sus características de los cargos fijos, cargos por consumos y cargos por operación. El análisis de los costos horarios de dichos equipos se muestran en la Tabla V.4 “Costo Horario del Equipo Topográfico de Precisión marca TOP-CON modelo GTS-300, año 2002”, Tabla V.5 “Costo Horario del Compactador Vibratorio marca Dynapac, modelo CA25A, año 1995, motor 110 HP Ancho Rodillo 2.13 m”, Tabla V.6 “Costo Horario de la Motoconformadora marca Caterpillar, modelo 120G, año 1982, de 120 HP. Hoja de 3.66 m*0.61 Velocidad 1a 4.2 km/hr, 2a. 6.4 km/hr” y finalmente en la Tabla V.7 “Costo Horario del Tractor marca Komatsu, modelo D155A-2, año 1990, de 320 HP con Cuchilla Recta de 8 m³ Peso 33.7 ton”. Cabe mencionar que este es un modelo de cálculo propuesto y no debe tomarse como definitivo. Existen otros mecanismos y factores de cálculo que varían de acuerdo al autor, aunque los principios básicos son los que se describieron en los párrafos anteriores.

En la Tabla V.4 “Costo Horario del Equipo Topográfico de Precisión marca TOP-CON, modelo GTS-300, año 2002” no se incluye el cargo por operación, debido a que este se considera dentro del análisis auxiliar correspondiente tal como se indica en la Tabla V.12 “Análisis de Costos Auxiliares”. Cabe mencionar que algunos autores consideran el cálculo del factor de operación dentro del costo horario, pero no es una regla general.

Cabe mencionar que la mayoría de los fabricantes de los equipos y maquinaria de construcción, realizan a los equipos que fabrican diversas pruebas a distintas condiciones de trabajo y operación, esto con el fin de obtener de una manera aproximada y lo más real posible, los rendimientos de los equipos fabricados en situaciones controladas, de fácil medición y así garantizar la producción requerida en obra, bajo las condiciones de trabajo que se presentaron durante la prueba, siendo de todas las variables que se presentan, la más relevante, el factor humano. De aquí se desprende la importancia de contar con la mano de obra capacitada que garantice el adecuado aprovechamiento del equipo en cuestión.

**TABLA V.4 “COSTO HORARIO DEL EQUIPO TOPOGRÁFICO
DE PRECISIÓN MARCA TOP-CON, MODELO GTS-300, AÑO 2002”**

DATOS GENERALES DEL EQUIPO				
Clave : 2-60-10-06	Año : 2002	Unidad : hr		
Costo Maquinaria Base....\$	125,000			
Costo Equipo Adicional....\$	0	Motor	Sin	
Valor de Rescate.....(Vr)	15%			
Valor de Adquisición..(Va) \$	125,000			
Valor de Rescate.....(Vr) \$	18,750	Horas Anuales (Ha):	1,200	
Vida Económica Hrs...(Ve):	4,800	Horas Llantas (Vn):	-	
Cantidad Llantas Máquina Base:	0	Costo por Llanta (Pn)	\$0.00	
Cantidad Llantas Equipo Adicional:	0	Costo por Llanta	\$0.00	
Vida Llantas Hrs.....(HVII) :	0	Costo Total	\$0.00	
Gh = Cantidad de combustible : 0 lt/hr				
Ah = Cantidad de aceite : 0 lt/hr				
Pc = Precio del combustible = \$0.00				
Pac = Precio del aceite hidráulico = \$0.00				
Seguros.....(s) %	3			
Tasa de Interés (i) %	18			
Mantenimiento (Q) %	0.85			
ANÁLISIS DE COSTOS				
I. CARGOS FIJOS				
Depreciación.....: D = (Va - Vr) / Ve =			\$22.14	
Inversión.....: I = i (Va + Vr) / 2Ha =			\$10.78	
Seguros: S = s (Va + Vr) / 2Ha =			\$1.80	
Mantenimiento.....: Q = Q x D =			\$18.82	
		Cargos Fijos	\$53.54	
II. CARGOS POR CONSUMOS				
Potencia Nominal..... (HP) :	110.00			
Combustible..... :	Co = Gh x Pc =		\$0.00	
Otras Fuentes de Energía.. :			\$0.00	
Lubricante Hidráulico... :	Lb = Ah x Pac =		\$0.00	
Llantas :	N = Pn / Vn =		\$0.00	
	Cargos por Consumos		\$0.00	
III. CARGOS POR OPERACIÓN				
Factor de Operación :	1			
SALARIO \$	0.00 / hr	Importe	\$0.00	
		Suma de Salarios	\$0.00	
Operación :	0.00 /(1 x8)			
	Cargos por Operación		\$0.00	
	COSTO DIRECTO POR HORA		\$53.54	

TABLA V.5 “COSTO HORARIO DEL COMPACTADOR VIBRATORIO MARCA DYNAPAC, MODELO CA25A, AÑO 1995, MOTOR 110 HP ANCHO RODILLO 2.13 m”

DATOS GENERALES DEL EQUIPO					
Clave : AMAPE-011	Año : 1995	Unidad : hr			
Costo Maquinaria Base....\$	950,000				
Costo Equipo Adicional....\$	0	Motor	Diesel		
Valor de Rescate.....(Vr)	20%				
Valor de Adquisición..(Va) \$	940,200				
Valor de Rescate.....(Vr) \$	188,040	Horas Anuales (Ha):	1,600		
Vida Económica Hrs...(Ve):	16,000	Horas Llantas (Vn):	2,000		
Cantidad Llantas Máquina Base:	1	Costo por Llanta (Pn)	\$9,800.00		
Cantidad Llantas Equipo Adicional:	0	Costo por Llanta	\$0.00		
Vida Llantas Hrs.....(HVII) :	0	Costo Total	\$9,800.00		
Gh = Cantidad de combustible : 11 lt/hr					
Ah = Cantidad de aceite : 0.165 lt/hr					
Pc = Precio del combustible = \$6.00					
Pac = Precio del aceite hidráulico = \$45.00					
Seguros.....(s) %	3				
Tasa de Interés (i) %	18				
Mantenimiento (Q) %	0.90				
ANALISIS DE COSTOS					
I. CARGOS FIJOS					
Depreciación.....: D =	$(Va - Vr) / Ve =$			\$47.01	
Inversión.....: I =	$i (Va + Vr) / 2Ha =$			\$63.46	
Seguros: S =	$s (Va + Vr) / 2Ha =$			\$10.58	
Mantenimiento.....: Q =	$Q \times D =$			\$42.31	
	Cargos Fijos			\$163.36	
II. CARGOS POR CONSUMOS					
Potencia Nominal..... (HP) :	110.00				
Combustible..... :	$Co = Gh \times Pc =$			\$66.00	
Otras Fuentes de Energía.. :				\$0.00	
Lubricante Hidráulico... :	$Lb = Ah \times Pac =$			\$7.43	
Llantas :	$N = Pn / Vn =$			\$4.90	
	Cargos por Consumos			\$78.33	
III. CARGOS POR OPERACIÓN					
Factor de Operación :	1				
1-05-12-04 SALARIO \$	826.02	/ hr	Importe	\$826.02	
			Suma de Salarios	\$826.02	
Operación :	826.02 / (1 x8)				
	Cargos por Operación			\$103.25	
	COSTO DIRECTO POR HORA			\$344.94	

**TABLA V.6 “COSTO HORARIO DE LA MOTOCONFORMADORA
MARCA CATERPILLAR, MODELO 120G, AÑO 1982, DE 120 HP,
HOJA DE 3.66 m*0.61 VELOCIDAD 1a 4.2 km/hr, 2a. 6.4 km/hr”**

DATOS GENERALES DEL EQUIPO					
Clave : AMAPE-024	Año : 1982	Unidad : hr			
Costo Maquinaria Base....\$	1,640,000				
Costo Equipo Adicional....\$	0	Motor	Diesel		
Valor de Rescate.....(Vr)	20%				
Valor de Adquisición..(Va) \$	1,616,600				
Valor de Rescate.....(Vr) \$	323,320	Horas Anuales (Ha):	1,500		
Vida Económica Hrs...(Ve):	15,000	Horas Llantas (Vn):	2,000		
Cantidad Llantas Máquina Base:	1	Costo por Llanta (Pn)	\$23,400.00		
Cantidad Llantas Equipo Adicional:	0	Costo por Llanta	\$0.00		
Vida Llantas Hrs.....(HVII) :	0	Costo Total	\$23,400.00		
Gh = Cantidad de combustible : 12 lt/hr					
Ah = Cantidad de aceite : 0.18 lt/hr					
Pc = Precio del combustible = \$6.00					
Pac = Precio del aceite hidráulico = \$45.00					
Seguros.....(s) %	3				
Tasa de Interés (i) %	18				
Mantenimiento (Q) %	0.75				
ANÁLISIS DE COSTOS					
I. CARGOS FIJOS					
Depreciación.....: D =	$(Va - Vr) / Ve =$			\$86.22	
Inversión.....: I =	$i (Va + Vr) / 2Ha =$			\$116.40	
Seguros: S =	$s (Va + Vr) / 2Ha =$			\$19.40	
Mantenimiento.....: Q =	$Q \times D =$			\$64.67	
		Cargos Fijos		\$286.69	
II. CARGOS POR CONSUMOS					
Potencia Nominal..... (HP) :	120.00				
Combustible..... :	$Co = Gh \times Pc =$			\$72.00	
Otras Fuentes de Energía.. :				\$0.00	
Lubricante Hidráulico... :	$Lb = Ah \times Pac =$			\$8.10	
Llantas :	$N = Pn / Vn =$			\$11.70	
		Cargos por Consumos		\$91.80	
III. CARGOS POR OPERACIÓN					
Factor de Operación :	1				
1-05-12-04 SALARIO \$	826.02	/ hr	Importe	\$826.02	
			Suma de Salarios	\$826.02	
Operación :	$826.02 / (1 \times 8)$				
		Cargos por Operación		\$103.25	
		COSTO DIRECTO POR HORA		\$481.74	

TABLA V.7 “COSTO HORARIO DEL TRACTOR MARCA KOMATSU, MODELO D155A-2, AÑO 1990, DE 320 HP CON CUCHILLA RECTA DE 8 m³ PESO 33.7 ton”

DATOS GENERALES DEL EQUIPO					
Clave : AMAPE-02	Año : 1990	Unidad : hr			
Costo Maquinaria Base....\$	4,750,000				
Costo Equipo Adicional....\$	0	Motor	Diesel		
Valor de Rescate.....(Vr)	20%				
Valor de Adquisición..(Va) \$	4,750,000				
Valor de Rescate.....(Vr) \$	950,000	Horas Anuales (Ha):	1,500		
Vida Económica Hrs...(Ve):	12,000	Horas Llantas (Vn):	-		
Cantidad Llantas Máquina Base:	1	Costo por Llanta (Pn)	\$0.00		
Cantidad Llantas Equipo Adicional:	0	Costo por Llanta	\$0.00		
Vida Llantas Hrs.....(HVII) :	0	Costo Total	\$0.00		
Gh = Cantidad de combustible : 32 lt/hr					
Ah = Cantidad de aceite : 0.48 lt/hr					
Pc = Precio del combustible = \$6.00					
Pac = Precio del aceite hidráulico = \$45.00					
Seguros.....(s) %	3				
Tasa de Interés (i) %	18				
Mantenimiento (Q) %	0.75				
ANÁLISIS DE COSTOS					
I. CARGOS FIJOS					
Depreciación.....: D = (Va - Vr) / Ve =					\$316.67
Inversión.....: I = i (Va + Vr) / 2Ha =					\$342.00
Seguros: S = s (Va + Vr) / 2Ha =					\$57.00
Mantenimiento.....: Q = Q x D =					\$237.50
		Cargos Fijos			\$953.17
II. CARGOS POR CONSUMOS					
Potencia Nominal..... (HP) :	320.00				
Combustible..... :	Co = Gh x Pc =				\$192.00
Otras Fuentes de Energía.. :					\$0.00
Lubricante Hidráulico... :	Lb = Ah x Pac =				\$21.60
Llantas :	N = Pn / Vn =				\$0.00
	Cargos por Consumos				\$213.60
III. CARGOS POR OPERACIÓN					
Factor de Operación :	1				
1-05-12-04 SALARIO \$	826.02	/ hr	Importe		\$826.02
			Suma de Salarios		\$826.02
Operación :	826.02 / (1 x 8)				
	Cargos por Operación				\$103.25
	COSTO DIRECTO POR HORA				\$1,270.02

A manera de indicador, en la Tabla V.8 “Rendimientos de Trabajo” se muestra el rendimiento teórico para el Tractor marca Komatsu, modelo D155A-2, año 1990, en diversas actividades de trabajo. Estos rendimientos fueron tomados de una publicación especializada en los costos de construcción pesada, publicada en el año 2002, son indicativos y no deben considerarse como definitivos. Estos rendimientos se obtienen al analizar el ciclo de trabajo de la actividad en cuestión, esto es el lapso de tiempo que se emplea para realizar dicha actividad por la unidad de obra seleccionada.

TABLA V.8 “RENDIMIENTOS DE TRABAJO”

Actividad	Unidad	Rendimiento teórico
Desmonte en selva o bosque densidad 100% de vegetación	ha/hr	0.13
Despalme en material tipo "A", desperdiciando el material	m ³ /hr	284.25
Corte en escalones	m ³ /hr	277.78
Excavación en material tipo "B", en cortes y adicionales debajo de la subrasante	m ³ /hr	227.28

Para ejemplificar el rendimiento teórico del Tractor marca Komatsu, modelo D155A-2, en la actividad del “Despalme en material tipo "A", desperdiciando el material” que se describe en la Tabla V.8 “Rendimientos de Trabajo” se muestra a continuación el ciclo de trabajo empleado:

- 1) Se fijan las condiciones de trabajo y el área de análisis, esto es, en una longitud de 40 m, para el ancho de la cuchilla que tiene una capacidad de empuje de hasta 8 m³ de material suelto, la velocidad promedio según el fabricante es de 12,750 m/hr
- 2) El ciclo incluye la ida y el regreso del equipo hasta el punto de partida
- 3) Existe un tiempo muerto entre la ida y regreso del equipo
- 4) La actividad en sus diversos puntos, se ve afectada por factores de corrección, los cuales varían de acuerdo al autor y bajo las condiciones de trabajo en que se este operando el equipo, para este cálculo se tomo el factor de 0.24.
- 5) Se obtiene el tiempo empleado en las diversas actividades que se describieron anteriormente y que para el ejemplo es la expresión

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción/2 ciclos}}{\frac{\text{Longitud}}{(\text{Factor*Velocidad})} + \text{Tiempo Muerto}}$$

Sustituyendo los datos conocidos, se obtiene

$$\text{Rendimiento} = \frac{8 \text{ m}^3/2 \text{ ciclos}}{\frac{40 \text{ m}}{(0.24*12,750 \text{ m/hr})} + 0.001 \text{ hr}}$$

- 6) Finalmente, se obtiene que el rendimiento de la actividad “Despalme en material tipo “A”, desperdiciando el material” para el Tractor marca Komatsu, modelo D155A-2 año 1990 es de 284.25 m³/hr o bien, se puede expresar en cantidad con el valor de 0.0035 hr/ m³

Cabe mencionar que para cualquier actividad, las condiciones son diferentes y se debe hacer el análisis respectivo.

V.1.1.3 COSTO DIRECTO DE LOS MATERIALES.

El costo directo de los materiales es el que se realiza para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, que cumpla con las normas de calidad y las especificaciones generales y particulares de construcción requerida.

El costo de los materiales se obtiene de la expresión:

$$\text{MAT} = \text{Pm} * \text{Cm}$$

Donde:

“MAT” Representa el costo por materiales

“Pm” Representa el costo básico, unitario y vigente de mercado, que cumpla con las normas de calidad especificadas para el concepto de trabajo de que se trate, procurando que sea el más económico por unidad de material, puesto en el sitio de los trabajos. El costo básico se integra sumando el precio de adquisición, el flete, maniobras, almacenaje y mermas aceptables durante su manejo. En el caso que

se usen materiales producidos en obra, la determinación del precio unitario básico será motivo del análisis respectivo.

“Cm” Representa el consumo de materiales por unidad de medida del concepto de trabajo. Este consumo se determinara de acuerdo con las cantidades que deban utilizarse según el proyecto, las normas de calidad y especificaciones generales y particulares de construcción que se determinen como necesarias, considerando los desperdicios mínimos.

Para el análisis del concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos compactado al cien por ciento (100 %)", se considera el uso de agua para la compactación y los materiales para la cuadrilla topográfica, esto es:

a) Para la compactación:

Agua suministrada en pipas (m^3) = $0.0199 m^3 \cdot 120.00 \$ / m^3 = 2.39 \$ / m^3$

b) Para la cuadrilla de topografía:

Estadal (Pza) = $0.06250 pza / jor \cdot 825.72 \$ / pza = 51.61 \$ / jor$

Madera de pino de tercera (Pt) = $22 Pt / jor \cdot 4.75 \$ / Pt = 104.50 \$ / jor$

Cal (Ton) = $0.2 ton / jor \cdot 990 \$ / jor = 198.00 \$ / jor$

V.1.1.4 COSTOS INDIRECTOS.

El Costo Indirecto (CI) corresponde a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos, correspondientes a la administración de oficinas de campo y los de oficinas centrales, y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, construcción de instalaciones generales necesarias para realizar conceptos de trabajo, el transporte de maquinaria o equipo de construcción, imprevistos y, en su caso, prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

Para la determinación de estos costos, se debe considerar que el costo de las oficinas centrales comprenderá únicamente los gastos necesarios para dar apoyo técnico y administrativo a la intendencia de obra encargada de los trabajos.

Los costos indirectos se expresan como un porcentaje del costo directo. Dicho porcentaje se calcula sumando los importes de los gastos generales que resulten aplicables y dividiendo esta suma entre el Costo Directo (CD) total de la obra que se trate.

Para el análisis, cálculo e integración de los costos indirectos correspondientes a los de administración de oficinas de campo y los de oficinas centrales, se consideran en forma enunciativa más no limitativa, los que se mencionan en la Tabla V.9 “Formato de Cálculo e Integración de los Costos Indirectos”. Cabe mencionar que este es un modelo de cálculo propuesto, en el cual a manera de ejemplo se expresa en porcentaje un desglose de las partidas de costos indirectos más relevantes, el cual no debe tomarse como cálculo definitivo.

1) Administración Central	3.37%
1.1) Honorarios, Sueldos y Prestaciones	2.72%
1.2) Depreciación, Mantenimiento y Renta	0.24%
1.3) Servicios	0.00%
1.4) Gastos de Oficina	0.41%
2) Administración de Campo	9.38%
2.1) Honorarios, Sueldos y Prestaciones	5.59%
2.2) Depreciación, Mantenimiento y Renta	0.63%
2.3) Servicios	0.35%
2.4) Fletes y Acarreos	2.12%
2.5) Gastos de Oficina	0.39%
2.4) Trabajos Previos y Auxiliares	0.30%
3) Seguros y Fianzas	3.64%
Total de Indirectos =	16.39%

Para el análisis del concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)”, no se realiza un cálculo o desglose del Costo Indirecto (CI), pero se considera que este valor es igual a 16.39 %, tal como se representó en el ejemplo anterior.

**TABLA V.9 "FORMATO DE CÁLCULO E INTEGRACIÓN
DE LOS COSTOS INDIRECTOS"**

CONCEPTO	IMPORTES POR ADMINISTRACIÓN	
	CENTRAL	CAMPO
<u>HONORARIOS, SUELDOS Y PRESTACIONES</u>		
A) PERSONAL DIRECTIVO	1.00%	1.70%
B) PERSONAL TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO	0.50%	1.80%
C) CUOTA PATRONAL DEL SEGURO SOCIAL E INFONAVIT PARA LOS CONCEPTOS A Y B	0.45%	1.05%
D) PRESTACIONES QUE OBLIGA LA LEY FEDERAL DEL TRABAJO PARA LOS CONCEPTOS A Y B	0.17%	0.39%
E) PASAJES Y VIÁTICOS PARA LOS CONCEPTOS A Y B	0.60%	0.65%
F) LOS QUE DERIVEN DE LA SUSCRIPCIÓN DE CONTRATOS DE PARA LOS CONCEPTOS A Y B		
(SUBTOTALES) \$ =	2.72%	5.59%
<u>DEPRECIACIÓN, MANTENIMIENTO Y RENTAS</u>		
A) EDIFICIOS Y LOCALES	0.06%	
B) LOCALES DE MANTENIMIENTO Y GUARDA	0.04%	0.16%
C) EQUIPOS, MUEBLES Y ENSERES	0.05%	0.15%
D) DEPRECIACIÓN O RENTA Y OPERACIÓN DE VEHÍCULOS	0.09%	0.20%
E) CAMPAMENTOS		0.12%
(SUBTOTALES) \$ =	0.24%	0.63%
<u>SERVICIOS</u>		
A) CONSULTORES, ASESORES, SERVICIOS Y LABORATORIOS		0.35%
B) ESTUDIOS E INVESTIGACIONES		
(SUBTOTALES) \$ =	0.00%	0.35%
<u>FLETES Y ACARREOS</u>		
A) EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN		2.00%
B) PLANTAS Y ELEMENTOS PARA INSTALACIONES		0.12%
C) CAMPAMENTOS Y MOBILIARIO		
(SUBTOTALES) \$ =	0.00%	2.12%
<u>GASTOS DE OFICINA</u>		
A) PAPELERÍA, COPIAS Y DUPLICADOS	0.09%	0.09%
B) CORREOS, FAX, TELÉFONOS, TELÉGRAFOS, RADIO	0.12%	0.18%
C) EQUIPO DE COMPUTACIÓN	0.09%	0.00%
D) LUZ, GAS Y OTROS CONSUMOS	0.11%	0.12%
E) GASTOS DE LA LICITACIÓN		
(SUBTOTALES) \$ =	0.41%	0.39%
<u>SEGUROS Y FIANZAS</u>		
A.- PRIMAS POR SEGUROS		
B.- PRIMAS POR FIANZAS	3.64%	
(SUBTOTALES) \$ =	3.64%	0.00%
<u>TRABAJOS PREVIOS Y AUXILIARES</u>		
A.- CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CAMINOS DE ACCESO		
B.- MONTAJES Y DESMANTELAMIENTO DE EQUIPO		
C.- CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES GENERALES		
1.- DE CAMPAMENTOS		0.30%
2.- DE PLANTAS Y ELEMENTOS PARA INSTALACIONES		
(SUBTOTALES) \$ =	0.00%	0.30%
COSTOS TOTALES DE INDIRECTOS \$ =	7.01%	9.38%
COSTOS INDIRECTOS % = COSTOS INDIRECTOS/COSTOS DIRECTOSx100 = 16.39%		

A manera de referencia, en la Tabla V.10 “Porcentajes de Costos Indirectos” se indican los porcentajes teóricos de dichos costos usados comúnmente. Estos valores son indicativos y no deben considerarse como definitivos.

TABLA V.10 “PORCENTAJES DE COSTOS INDIRECTOS”

Tipo de Costo	Máximo	Intermedio	Mínimo
Costo Indirecto	18%	15%	10%
Costo por Financiamiento	1.8%	0.9%	0%
Costo por Utilidad	10%	8%	6%

V.1.1.5 COSTO POR FINANCIAMIENTO.

El Costo por Financiamiento (CF) está representado por un porcentaje de la suma de los costos directos e indirectos y corresponde a los gastos derivados por la inversión de recursos propios o contratados que se realicen para dar cumplimiento al programa de ejecución de los trabajos calendarizados por periodo mensual.

El costo por financiamiento permanecerá constante durante la ejecución de los trabajos

Para determinar el costo por financiamiento, se deberá considerar para su análisis, que los ingresos se integren por los anticipos otorgados y del importe de las estimaciones deduciendo la amortización de los anticipos concedidos, y que se integren los egresos por los gastos que impliquen los costos directos e indirectos. Los costos directos deben ser acordes con los programas de ejecución y el plazo indicado para la realización de los trabajos.

El porcentaje del costo por financiamiento se obtendrá de la diferencia que resulte entre los ingresos y egresos, afectado por la tasa de interés propuesta, dividida entre el costo directo más los costos indirectos y multiplicados por 100.

Se deberá fijar la tasa de interés y el indicador económico que se aplica, el cual no podrá ser cambiado o sustituido durante la vigencia de los trabajos.

Para el análisis, cálculo e integración del costo por financiamiento, se consideran en forma enunciativa más no limitativa, los que se mencionan en la Tabla V.11 “Formato de Cálculo e Integración del Costo por Financiamiento”. Cabe mencionar que este es un modelo de cálculo propuesto.

ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES

Para el análisis del concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)”, no se realizará un cálculo o desglose del costo por financiamiento, pero se considerará que es igual a 1.5 %.

**TABLA V.11 "FORMATO DE CÁLCULO E
INTEGRACIÓN DEL COSTO POR FINANCIAMIENTO"**

CONCEPTO	MES				TOTAL
	1	2	3	4	
EGRESOS					
MATERIALES	17.00%	27.20%	23.80%	0.00%	68.00%
MANO DE OBRA	3.00%	4.80%	4.20%	0.00%	12.00%
EQUIPO	5.00%	8.00%	7.00%	0.00%	20.00%
COSTO DIRECTO	25.00%	40.00%	35.00%	0.00%	100.00%
COSTO INDIRECTO	4.10%	6.56%	5.74%	0.00%	16.39%
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO	29.10%	46.56%	40.74%	0.00%	116.39%
EGRESOS ACUMULADOS	29.10%	75.65%	116.39%	116.39%	
INGRESOS					
ESTIMACIONES DE OBRA		29.10%	46.56%	40.74%	116.39%
AMORTIZACIÓN DEL ANTICIPO		-2.91%	-4.66%	-4.07%	-11.64%
ESTIMACIONES CON ANTICIPO AMORTIZADO		26.19%	41.90%	36.66%	104.75%
ANTICIPO (10 %)	11.64%				11.64%
INGRESOS ACUMULADOS	11.64%	37.83%	79.73%	116.39%	
DIFERENCIA ENTRE INGRESOS Y EGRESOS ACUMULADOS	-17.46%	-37.83%	-36.66%	0.00%	
COSTO FINANCIAMIENTO PARCIAL (INTERESES) TASA = 19.56% ANUAL	-0.28%	-0.62%	-0.60%	0.00%	-1.50%
COSTOS FINANCIAMIENTO ACUMULADOS	-0.28%	-0.90%	-1.50%	-1.50%	

INDICADOR ECONÓMICO (TASA DE INTERÉS): 1.63% MENSUAL

PORCENTAJE DE FINANCIAMIENTO= COSTO DE FINANCIAMIENTO FINAL x 100 /
(COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO) = 1.50 %

V.1.1.6 COSTO POR UTILIDAD.

El Costo por Utilidad (CU), es la ganancia que se recibe por la ejecución de los trabajos y es fijado por el propio ejecutor y estará representado por un porcentaje sobre la suma de los costos directos, indirectos y de financiamiento.

Esto es: $CU \% = CU / (CD + CI + CF) * 100$

Donde:

“CU %” Representa el porcentaje de costo por utilidad

“CU” Representa el costo por utilidad

“CD”	Representa el costo directo
“CI”	Representa el costo indirecto
“CF”	Representa el costo por financiamiento

Este cargo, deberá considerar las deducciones correspondientes al Impuesto Sobre la Renta (ISR) y la Participación de los Trabajadores en las Utilidades (PTU) de las empresas y aunque muchas veces no es necesario el desglose, este costo se obtiene de la expresión:

$$U = U \text{ Neta} / (1 - (\text{ISR} - \text{PTU}))$$

Donde:

“U”	Representa a la utilidad
“U Neta”	Representa la utilidad neta al ejecutor
“ISR”	Representa el Impuesto Sobre la Renta, y
“PTU”	Representa la Participación de los Trabajadores en las Utilidades

En ocasiones se hace necesario reflejar el costo por cargos adicionales, derivados de un impuesto o un derecho que se origine por motivo de los trabajos y que no forman parte de los costos directos e indirectos, ni por financiamiento, ni del cargo de utilidad.

Estos cargos se adicionan al análisis de precio después de la utilidad, y son aquellos que emiten las autoridades competentes, como impuestos locales y federales y gastos de inspección y supervisión.

Para el análisis del concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)", no se realizará un cálculo o desglose del costo por utilidad, pero se considerará que es igual a 9 %.

V.1.2 INTEGRACIÓN DE LOS PRECIOS UNITARIOS.

Una vez definido claramente el catálogo de conceptos, se procederá a realizar el análisis del total de los precios unitarios de los conceptos de trabajo, determinados y estructurados con costos directos, indirectos, de financiamiento, con cargo por utilidad y cargos adicionales, donde se deberá incluir los materiales a utilizar con sus correspondientes consumos y costos, y de mano de obra, de la maquinaria o

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

equipo de construcción requerido y en general todos aquellos elementos necesarios para realizar el trabajo, con sus correspondientes rendimientos y costos. Los costos se expresan en pesos mexicanos.

Si se utilizan cuadrillas o cualquier otro costo unitario básico, en la integración de los precios unitarios, se deberá presentar su análisis correspondiente.

Para el análisis del concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)", se analiza un costo auxiliar para la cuadrilla de topografía, cuyo cálculo se indica en la Tabla V.12 “Análisis de Costos Auxiliares”.

TABLA V.12 “ANÁLISIS DE COSTOS AUXILIARES”

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimiento	P.U.	Total
1-14-02-00	Topógrafo	Jor	1.0000	1.0000	\$ 662.86	\$ 662.86
1-14-20-00	Cadenero	Jor	2.0000	0.5000	\$ 290.88	\$ 581.76
2-60-10-02	Estadal	Pza	0.0625	16.0000	\$ 825.72	\$ 51.61
2-60-10-06	Equipo Topográfico de Precisión marca TOP-CON MOD. GTS-300	hr	4.0000	0.2500	\$ 53.54	\$ 214.16
3-48-05-10	Madera de pino de tercera	Pt	22.0000	0.0455	\$ 4.75	\$ 104.50
3-10-12-05	Cal	ton	0.2000	5.0000	\$ 990.00	\$ 198.00
2-90-00-01	Herramienta menor	(%)mo	0.0300	33.3333	\$ 1,244.62	\$ 37.34
2-50-01-00	Equipo de seguridad	(%)mo	0.0500	20.0000	\$ 1,244.62	\$ 62.23
						\$1,912.46

Una vez que se realizó el análisis del total de los conceptos a costo directo, se debe realizar una explosión de insumos, esto es, obtener el total de los insumos básicos que intervienen en el catálogo de conceptos y que son necesarios para realizar los trabajos, obteniendo la participación y, en caso de ser necesario, realizar un ajuste en cuanto a costos y/o cantidades de trabajo. Esta explosión de insumos es la suma de todos costos directos de la mano de obra, de la herramienta, de la maquinaria y de los materiales.

Para el análisis del concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por

ciento (100 %)", se realiza el cálculo correspondiente de la explosión de insumos, tal como se indica en la Tabla V.13 "Explosión de Insumos".

A manera de ejemplo, se obtiene la participación de la motoconformadora marca Caterpillar modelo 120G año 1982 conforme a los siguientes pasos:

- a) Identificar el Rendimiento propuesto, esto es 15.5 m³/hr
- b) Identificar la Cantidad de obra a ejecutar, esto es, 141,240 m³
- c) Realizar el cociente Cantidad/Rendimiento, esto es, 141,240 m³/15.5 m³/hr, lo que da como resultado 9,112.80 hr de motoconformadora.
- d) Realizar el producto Cantidad Total * Costo, esto es 9,112.80 hr*481.74 \$/m³
- e) Realizar los mismos pasos para cada insumo y agruparlos de acuerdo al tipo correspondiente.

TABLA V.13 "EXPLOSIÓN DE INSUMOS"

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	%
Materiales						
2-60-10-02	Estadal	Pza	8.83	\$825.72	\$7,289.04	0.04
3-02-02-04	Agua suministrada en pipas	m3	2,813.50	\$120.00	\$337,620.10	1.96
3-10-12-05	Cal	ton	28.25	\$990.00	\$27,965.52	0.16
3-48-05-10	Madera de pino de tercera	Pt	3,107.28	\$4.75	\$14,759.58	0.09
Total de Materiales					\$387,634.24	2.26
Mano de Obra						
1-14-02-00	Topógrafo	Jor	141.24	\$662.86	\$93,622.35	0.54
1-14-20-00	Cadenero	Jor	282.48	\$290.88	\$82,167.78	0.48
Total de Mano de Obra					\$175,790.13	1.02
Herramienta						
2-50-01-00	Equipo de seguridad	(%)mo	0.05	\$175,790.13	\$8,789.51	0.05
2-90-00-01	Herramienta menor	(%)mo	0.03	\$175,790.13	\$5,273.70	0.03
Total de Herramienta					\$14,063.21	0.08
Equipo						
2-60-10-06	Equipo Topográfico de Precisión marca TOP-CON MOD. GTS-300	hr	564.96	\$53.54	\$30,247.96	0.18
AMAPE-011	Compactador vibratorio marca Dynapac modelo CA25A, motor 110 HP ancho rodillo 2.134 m. vel. max. trabajo 6 km/h.	hr	7,433.46	\$344.94	\$2,564,098.11	14.92
AMAPE-024	Motoconformadora marca Caterpillar modelo 120G de 120 HP, hoja de 3.66 m*0.61 vel. 1a 4.2 km/h, 2a. 6.4 km/h	hr	9,112.80	\$481.74	\$4,390,002.58	25.54
AMAPE-025	Tractor marca Komatsu modelo D155A-1 de 320 HP con cuchilla recta de 8 m ³ peso 33.7 ton.	hr	7,577.53	\$1,270.02	\$9,623,609.57	56.00
Total de Equipo					\$16,607,958.22	96.64
TOTAL DEL REPORTE					\$17,185,445.80	100

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Las cantidades de obra derivadas de la explosión de insumos deberán ser congruentes con el programa general de ejecución de los trabajos.

De los datos que se muestran en la Tabla V.13 “Explosión de Insumos”, se puede observar que la maquinaria tiene la mayor participación (96.64 %) del concepto de trabajo mientras que los materiales (2.26 %) y la mano de obra (1.02 %) tienen menor impacto. Hay que recordar que el costo de operación esta incluido en el costo horario de la maquinaria (V.1.1.2 Costo directo de la maquinaria).

Una vez que se obtenga el costo directo total, se procede a realizar el cálculo de los costos indirectos, de financiamiento, el cargo por utilidad y cargos adicionales.

Para el análisis de precios unitarios, se considera el modelo que se muestra en la Tabla V.14 “Formato para el Análisis de Precios Unitarios”.

Cabe mencionar que este es un modelo propuesto para el cálculo y no debe considerarse como definitivo.

**TABLA V.14 "FORMATO PARA EL ANÁLISIS
DE PRECIOS UNITARIOS"**

Clave:			Unidad:	
Concepto:			Cantidad:	
Insumo	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Materiales (1)				
			Suma de materiales \$	
Mano de obra (2)				
			Suma de mano de obra \$	
Maquinaria (3)				
			Suma de maquinaria \$	
			Costo Directo = 1 + 2 + 3 = \$	
Factores de Indirectos, Financiamiento y Utilidad			Porcentaje	Importe
Costo Indirecto = % CI x (CD)				
Costo por Financiamiento = % CF x (CD + CI)				
Cargo por Utilidad = % CU x (CD + CI + CF)				
Cargo Adicional: CA1				
Precio Unitario = (CD + CI + CF + CU + CA)			Total PU \$	

Finalmente, para el concepto “Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)”, se realiza la integración y análisis del precio unitario, cuyo cálculo se indica en la Tabla V.15 “Análisis de Precio Unitario: Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases, Por Unidad de Obra Terminada (PUOT): De sub-bases Cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100 %)”.

Para este análisis de precio unitario, se observa que la maquinaria es el rubro más importante, por lo que se deduce que la maquinaria debe tener un análisis detallado y congruente con el programa de utilización de la maquinaria. Cabe mencionar que cada proyecto es diferente y debe analizarse bajo cada condición en particular. Este ejemplo es un modelo y no debe tomarse como definitivo.

Cabe mencionar que para este ejercicio se considera el análisis de precio unitario con sus respectivos factores de indirectos, pero para el costo estimado de los trabajos a nivel de anteproyecto, el importe de dichos trabajos se considera únicamente el valor a costo directo.

De la misma forma, se seleccionaron cuatro conceptos representativos de las partidas de obra para realizar el análisis de precio unitario correspondiente.

Debido a que el presente estudio no tiene como alcance el análisis de dichos precios unitarios paso a paso, solo se mostrara la integración de los mismos.

Estos precios se muestran en la Tabla V.16 “Análisis de Precio Unitario correspondiente a OD-6 Indicadores de Alineamiento de polivinilo de cloruro retráctiles”; en la Tabla V.17 “Análisis de Precio Unitario correspondiente al Recubrimiento de superficies, por unidad de obra terminada: De pavimento: Color blanco reflejante, de 15 cm de ancho (longitud efectiva)”; en la Tabla V.18 “Análisis de Precio Unitario correspondiente al “Concreto hidráulico, sin incluir cimbra, colado en seco De $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ ” y finalmente en la Tabla V.19 “Análisis de Precio Unitario correspondiente al Acero de refuerzo por unidad de obra terminada, Varillas de limite elástico igual o mayor de $4,000 \text{ kg/cm}^2$ ”.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Estos conceptos están valorizados en el Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”.

**TABLA V.15 “ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO: OPERACIÓN DE
MEZCLADO, TENDIDO Y COMPACTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE
SUB-BASES O BASES POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA (PUOT): DE
SUB-BASES CUANDO SE EMPLEEN DOS (2) MATERIALES PÉTREOS
COMPACTADO AL CIENTO POR CIENTO (100 %)”**

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Materiales					
3-02-02-04	Agua suministrada en pipas	m ³	0.0199	\$ 120.00	\$ 2.39
Total de Materiales					\$ 2.39
Equipo					
AMAPE-025	Tractor Komatsu D155A-1 año 1990 de 320 HP con cuchilla recta de 8 m3 peso 33.7 ton.	hr	0.0537	\$ 1,270.02	\$ 68.14
AMAPE-024	Motoconformadora CAT 120G año 1982 de 120 HP. hoja de 3.66 m*0.61 vel. 1a 4.2 Km/h, 2a. 6.4Km/h	hr	0.0645	\$ 481.74	\$ 31.08
AMAPE-011	Compactador vibratorio Dynapac CA25A año 1995, motor 110 HP ancho rodillo 2.134 m. vel. max. trabajo 6 km/h.	hr	0.0526	\$ 344.94	\$ 18.15
Total de Equipo					\$ 117.37
Auxiliares					
6-05-03-05	Cuadrilla No. 5 (1 Topógrafo + 2 Cadenero)	Jor	0.0010	\$ 1,912.46	\$ 1.91
Total de Auxiliares					\$ 1.91
				Costo Directo	\$ 121.67
				Indirectos (16.39 %)	\$ 19.94
				Subtotal	\$ 141.61
				Financiamiento (1.5 %)	\$ 2.12
				Subtotal	\$ 143.73
				Utilidad (9 %)	\$ 12.94
				Precio Unitario	\$ 156.67
CIENTO CINCUENTA Y SEIS PESOS 67/100 M.N.					

En los análisis de precios, se debe verificar constantemente cuál elemento es el que tiene mayor participación para elaborar una estrategia de mercado, negociar mejores precios de los insumos por volumen, compra o arrendamiento de maquinaria, e incluso seleccionar el personal más adecuado para la realización de los trabajos.

TABLA V.16 “ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO: OD-6 INDICADORES DE ALINEAMIENTO DE POLIVINILO DE CLORURO RETRÁCTILES”

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Materiales					
OD-6	Indicadores de Alineamiento de PVC retráctil	pza	1.0000	\$ 22.00	\$ 22.00
Total de Materiales					\$ 22.00
Auxiliares					
6-30-02-10	Concreto hecho en obra f'c= 100 kg/cm ²	m ³	0.0020	\$ 978.59	\$ 1.96
6-05-02-30	Cuadrilla No. 1 (1 Oficial + 1 Ayudante)	Jor	0.0063	\$ 981.55	\$ 6.13
Total de Auxiliares					\$ 8.09
				Costo Directo	\$ 30.09
				Indirectos (16.39 %)	\$ 4.93
				Subtotal	\$ 35.02
				Financiamiento (1.5 %)	\$ 0.53
				Subtotal	\$ 35.55
				Utilidad (9 %)	\$ 3.20
				Precio Unitario	\$ 38.75
TREINTA Y OCHO PESOS 75/100 M.N.					

TABLA V.17 “ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO 59: RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES, POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA DE PAVIMENTO: COLOR BLANCO REFLEJANTE, DE 15 CM DE ANCHO (LONGITUD EFECTIVA)”

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Materiales					
3-64-04-14	Pintura para señalamiento vial	lt	0.0473	\$ 64.00	\$ 3.02
3-64-04-10	Microesfera de vidrio	kg	0.1890	\$ 15.00	\$ 2.84
Total de Materiales					\$ 5.86
Equipo					
2-30-78-05	Máquina pintarrayas, 45 H.P.	hr	0.0500	\$ 111.60	\$ 5.58
Total de Equipo					\$ 5.58
Auxiliares					
6-05-02-30	Cuadrilla No. 1 (1 Oficial + 1 Ayudante)	Jor	0.0036	\$ 981.55	\$ 3.51
Total de Auxiliares					\$ 3.51
				Costo Directo	\$ 14.95
				Indirectos (16.39 %)	\$ 2.45
				Subtotal	\$ 17.40
				Financiamiento (1.5 %)	\$ 0.26
				Subtotal	\$ 17.66
				Utilidad (9 %)	\$ 1.59
				Precio Unitario	\$ 19.25
DIECINUEVE PESOS 25/100 M.N.					

**TABLA V.18 “ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO 86: CONCRETO
HIDRÁULICO, SIN INCLUIR CIMBRA, COLADO EN SECO
DE f'c = 100 kg/cm²”**

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Materiales					
3-02-02-04	Agua	m ³	0.1000	\$ 90.00	\$ 9.00
3-22-31-02	Canalón	pza	0.0417	\$ 200.00	\$ 8.33
Total de Materiales					\$ 17.33
Auxiliares					
6-30-02-10	Concreto hecho en obra f'c= 100 kg/cm ²	m ³	1.0500	\$ 978.59	\$ 1,027.52
6-05-02-30	Cuadrilla No. 1 (1 Oficial + 1 Ayudante)	Jor	0.1429	\$ 981.55	\$ 140.22
Total de Auxiliares					\$ 1,167.74
Equipo					
2-20-54-02	Vibrador chicote/Gasolina	de hr	3.1720	\$ 9.77	\$ 30.99
Total de Equipo					\$ 30.99
Costo Directo					\$ 1,216.06
Indirectos (16.39 %)					\$ 199.31
Subtotal					\$ 1,415.37
Financiamiento (1.5 %)					\$ 21.23
Subtotal					\$ 1,436.60
Utilidad (9 %)					\$ 129.29
Precio Unitario					\$ 1,565.89
UN MIL QUINIENTOS SESENTA Y CINCO PESOS 89/100 M.N.					

**TABLA V.19 “ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO 104: ACERO DE REFUERZO:
POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA VARILLAS DE LIMITE ELÁSTICO fy
IGUAL O MAYOR DE 4,000 kg/cm²”**

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Materiales					
3-18-02-00	Acero de refuerzo fy=4,000 kg/cm ²	kg	1.0750	\$ 8.80	\$ 9.46
3-18-06-05	Alambre recocido del # 16	kg	0.0250	\$ 9.63	\$ 0.24
Total de Materiales					\$ 9.70
Auxiliares					
6-05-02-30	Cuadrilla No. 1 (1 Oficial + 1 Ayudante)	Jor	0.0037	\$ 981.55	\$ 3.64
Total de Auxiliares					\$ 3.64
Equipo					
2-20-22-04	Cortadora de varilla	hr	0.0033	\$ 15.22	\$ 0.05
Total de Equipo					\$ 0.05
Costo Directo					\$ 13.39
Indirectos (16.39 %)					\$ 2.19
Subtotal					\$ 15.58
Financiamiento (1.5 %)					\$ 0.23
Subtotal					\$ 15.81
Utilidad (9 %)					\$ 1.42
Precio Unitario					\$ 17.23
DIECISIETE PESOS 23/100 M.N.					

Finalmente, siguiendo el mismo procedimiento y realizando el análisis de conceptos para cada uno de los conceptos del catálogo de conceptos de trabajo y cantidades de obra obtenidos en el Capítulo IV “Anteproyecto”, se obtiene la valorización del anteproyecto por el sistema de precios unitarios.

A esta primera valorización se le denomina “Antepresupuesto”, dado que no corresponde al proyecto definitivo.

Los conceptos de obra, generalmente se agrupan en partidas de trabajo de acuerdo al frente de trabajo. Para el presente estudio se tiene cinco partidas: Terracerías, Obras de Drenaje, Pavimentos, Señalamiento, Infraestructura y Túneles tal como se muestran en la Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”, la moneda esta expresada en pesos mexicanos.

TABLA V.20 (1/22) “CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA”

No.	Descripción	Importe
	RESUMEN POR PARTIDAS DE OBRA	
	TERRACERIAS	366,036,159.74
	OBRAS DE DRENAJE	41,122,135.64
	PAVIMENTOS	171,228,534.23
	SEÑALAMIENTO	3,894,854.00
	INFRAESTRUCTURA (PUENTES, PASOS VEHICULARES SUPERIORES E INFERIORES)	565,775,836.06
	TÚNELES	141,576,681.98
	MONTO DE ESTA HOJA	\$ 1,289,634,201.65
	MONTO ACUMULADO	\$ 1,289,634,201.65

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (2/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
TERRACERÍAS					
DESMONTE					
1	Desmonte, por unidad de obra terminada.	ha	54,00	27.130,44	1.465.043,76
CORTES					
	Despalme, desperdiciando el material, por unidad de obra terminada:				
2	De cortes	m³	191.407,00	10,76	2.059.539,32
3	Para desplante de terraplenes	m³	203.714,00	10,76	2.191.962,64
	Excavaciones, por unidad de obra terminada:				
	En cortes y adicionales abajo de la subrasante:				
4	Cuando el material se utilice para la formación de terraplenes	m³	6.224.645,00	18,54	115.404.918,30
5	Cuando el material se desperdicie	m³	-	18,54	-
	Abriendo cajas para desplante de terraplenes:				
6	Cuando el material se utilice para la formación de terraplenes	m³	8.419,00	32,15	270.670,85
	Cuando el material se desperdicie				
	Excavación de escalones de liga en los taludes de los terraplenes				
PRÉSTAMOS					
	Excavaciones de préstamos, por unidad de obra terminada:				
	De banco:				
7	En material tipo "A"	m³	-	14,21	-
8	En material tipo "B"	m³	-	15,56	-
9	En material tipo "C"	m³	-	74,52	-
TERRAPLENES					
	Compactación, por unidad de obra terminada:				
	Del terreno natural en el área de desplante de los terraplenes:				
10	Para noventa por ciento (90%)	m³	144.205,00	5,67	817.642,35
	De la cama de los cortes				
11	Para noventa y cinco por ciento (95%)	m³	31.315,00	10,45	327.241,75
	Formación y compactación, por unidad de obra terminada:				
	De terraplenes adicionados con sus cuñas de sobreancho:				
12	Bandeado (85%)	m³	-	35,31	-
13	Para noventa por ciento (90%)	m³	4.230.579,00	36,54	154.585.356,66
MONTO PARCIAL				\$	277.122.375,63
MONTO ACUMULADO				\$	277.122.375,63

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (3/22) “CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA”					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
14	Para noventa y cinco por ciento (95%)	m³	194.388,00	38,43	7.470.330,84
15	Para cien por ciento (100%) en capa subrasante.	m³	111.323,00	44,24	4.924.929,52
	De la capa superior de los terraplenes, cuya parte inferior fue construida con material no compactable				
16	Para noventa y cinco por ciento (95%)	m³	-	35,20	-
	De terraplenes de relleno para formar la subrasante en los cortes en que se haya ordenado excavación adicional:				
17	Para noventa y cinco por ciento (95%)	m³	414.622,00	38,43	15.933.923,46
18	Para cien por ciento (100%) en capa subrasante	m³	112.701,00	44,24	4.985.892,24
19	Escarificado, acamellonado, tendido y compactado a (100 %)	m³	-	44,24	-
ACARREOS PARA TERRACERÍAS					
	Sobreacarreo de los materiales producto de la excavaciones de cortes, adicionales abajo de la subrasante, ampliación y/o abatimiento de taludes, rebajes en la corona de corte y/o				
	terraplenes existentes, escalones, despalmes, préstamos de banco, derrumbes, canales y del agua empleada en compactaciones:				
	Para distancias hasta de cinco (5) estaciones de veinte (20)				
20	metros, es decir, hasta cien (100) metros	m³-est	282.184,00	2,34	660.310,56
	Para distancias hasta de cinco (5) hectómetros, es decir, hasta quinientos (500) metros:				
21	Para el primer hectómetro, es decir, los primeros cien (100) metros	m³-hm	2.806.043,00	10,78	30.249.143,54
	Para la distancia excedente al primer hectómetro, es decir, a los primeros cien (100) metros, incremento por cada hectómetro				
22	adicional al primero	m³-hm-ad	561.813,00	2,24	1.258.461,12
23	Para los primeros quinientos (500) metros, es decir, cinco (5) hectómetros	m³-5hm	1.158.923,00	13,09	15.170.302,07
MONTO PARCIAL				\$	80.653.293,35
MONTO ACUMULADO				\$	357.775.668,98

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (4/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	Para la distancia excedente a los primeros quinientos (500) metros,				
24	es decir cinco (5) Hm incremento por cada Hm adicional a los primeros cinco (5) Hm	m ³ -hm-ad	350.337,00	1,78	623.599,86
	Para cualquier distancia, de materiales de préstamo de banco para				
	la construcción de la capa subrasante y para completar la				
	construcción del cuerpo del terraplén:				
25	Para el primer kilómetro	m ³	619.080,00	11,17	6.915.123,60
26	Para los kilómetros subsecuentes	m ³ -km	124.015,00	5,82	721.767,30
	Sobreacarreo de materiales producto de excavaciones de cortes, por				
	unidad de obra terminada, para distancias mayores a dos (2)				
	kilómetros:				
27	Para el primer kilómetro	m ³	-	11,17	-
28	Para los kilómetros subsecuentes	m ³ -km	-	5,82	-
MONTO PARCIAL				\$	8.260.490,76
MONTO TERRACERIAS				\$	366.036.159,74
	OBRAS DE DRENAJE				
	EXCAVACIÓN PARA ESTRUCTURAS				
	Excavaciones para estructuras, de acuerdo con su clasificación, a cualquier profundidad				
	Excavado con máquina, en seco:				
29	En material tipo "A"	m ³	9.745,35	24,51	238.858,53
30	En material tipo "B"	m ³	5.129,13	36,85	189.008,44
31	En material tipo "C"	m ³	2.222,62	74,52	165.629,64
	ZAMPEADOS				
	Zampeados a cualquier altura, por unidad de obra terminada				
31	De mampostería de tercera clase, junteados con mortero cemento				
32	De concreto hidráulico, simple de f'c = 150 kg/cm ²	m ³	145,85	1.663,70	242.650,65
	CONCRETO HIDRAULICO				
	Concreto hidráulico, por unidad de obra terminada				
	colado en seco:				
33	De f'c = 100 kg/cm ² (en plantilla)	m ³	726,37	1.533,00	1.113.525,21
34	De f'c = 150 kg/cm ²	m ³	8.161,44	2.867,53	23.403.174,04
MONTO PARCIAL				\$	25.352.846,51
MONTO ACUMULADO				\$	25.352.846,51

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (5/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
35	De f'c = 200 kg/cm ²	m ³	1.470,09	2.952,51	4.340.455,43
36	De f'c = 280 kg/cm ²	m ³	-	3.071,43	-
37	De f'c = 350 kg/cm ²	m ³	-	3.644,25	-
38	Concreto ciclópeo de f'c = 150 kg/cm ²	m ³	1.103,25	1.533,00	1.691.282,25
	ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO				
	Acero de refuerzo, por unidad de obra terminada:				
39	Varillas de limite elástico igual o mayor de 4,000 kg/cm ²	kg	115.281,57	17,23	1.986.301,45
	ALCANTARILLAS TUBULARES DE CONCRETO				
	Tubería de concreto, por unidad de obra terminada:				
	Reforzado de f'c = 280 kg/cm ²				
36	De 090 cm de diámetro				
37	De 105 cm de diámetro				
38	De 120 cm de diámetro				
	Reforzado de f'c = 350 kg/cm ²				
39	De 150 cm de diámetro				
40	De 274 cm de diámetro				
	TRABAJOS DIVERSOS				
	Guarniciones de concreto hidráulico				
	Coladas en el lugar de f'c = 150 kg/cm ² , de 145 cm ² de sección (bordillo de				
	15 cm base mayor y 10 cm de altura, según proyecto tipo), con agregado				
41	de tamaño máximo de 19 mm (3/4")				
	Recubrimiento de cunetas y contracunetas				
	Cunetas:				
40	Con concreto hidráulico simple colado en el lugar, de f'c = 200 kg/cm ²	m ²	-	209,18	-
	Contracunetas:				
41	Con concreto hidráulico simple colado en el lugar, de f'c = 200 kg/cm ²	m ²	-	158,05	-
42	Barrera central separadora tipo New Jersey o Similar	m	11.700,00	662,50	7.751.250,00
MONTO PARCIAL				\$	15,769,289.13
MONTO OBRAS DE DRENAJE				\$	41,122,135.64
	PAVIMENTOS				
	PRÉSTAMOS				
	Excavaciones de préstamos, por unidad de obra terminada: De banco:				
MONTO PARCIAL				\$	0.00
MONTO ACUMULADO				\$	0.00

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (6/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
43	En material tipo "B"	m³	376.348,50	15,56	5.855.982,66
44	En material tipo "C"	m³	68.491,50	74,52	5.103.986,58
	Para cualquier distancia, de materiales de préstamo de banco para la construcción de la capa subrasante y para completar la construcción del cuerpo del pavimento.				
45	Para el primer kilómetro	m³	285.120,00	11,17	3.184.790,40
46	Para los kilómetros subsecuentes	m³-km	1.425.600,00	5,82	8.296.992,00
	Para cualquier distancia, de materiales de mezcla asfáltica para la construcción de la carpeta asfáltica				
	construcción del cuerpo del terraplén:				
47	Para el primer kilómetro	m³	78.639,00	11,17	878.397,63
48	Para los kilómetros subsecuentes	m³-km	393.195,00	5,82	2.288.394,90
	SUB-BASE Y BASES				
	Operación de mezclado, tendido y compactación en la construcción de Sub-bases o bases por unidad de obra terminada:				
	De sub-bases cuando se empleen dos (2) materiales pétreos				
49	Compactado al noventa y cinco por ciento (95%)	m³	143.880,00	148,67	21.390.639,60
50	De sub-bases cuando se empleen dos (2) materiales pétreos Compactado al cien por ciento (100%)	m³	141.240,00	156,67	22.128.070,80
	MATERIALES ASFÁLTICOS				
	Materiales asfálticos, por unidad de obra terminada:				
	Emulsiones asfálticas empleadas en riegos:				
51	Emulsión catiónica en riego de impregnación	lt	4.465.197,00	3,85	17.191.008,45
52	Emulsión catiónica en riego de liga	lt	482.724,00	3,85	1.858.487,40
	Cementos asfálticos empleados en carpetas de concreto asfáltico, por unidad de obra terminada				
53	Cemento asfáltico AC-20, asfalto modificado con polímero tipo 1:	kg	10.444.500,00	2,98	31.124.610,00
	RIEGO DE IMPREGNACIÓN:				
54	Barrido de la superficie por tratar	ha	69,96	2.528,43	176.888,96
				MONTO PARCIAL \$	119,478,249.38
				MONTO ACUMULADO \$	119,478,249.38

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (7/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO				
55	Impregnación de la base	lt	4.465.197,00	3,85	17.191.008,45
56	Riego de sello	lt	637.560,00	3,85	2.454.606,00
	Carpeta de concreto asfáltico compactado al noventa y cinco por ciento (95%), incluyendo acarreo, cemento asfáltico numero 6 o AC-20 modificado con polímeros SBS o similar, por unidad de obra terminada:				
57	Del banco que elija el contratista	m³	69.630,00	450,00	31.333.500,00
	RIEGO DE SELLO:				
	Riego de sello, por unidad de obra terminada: Utilizando el Material Pétreo 3-A				
58	Del banco que elija el contratista	m³	9.009,00	85,60	771.170,40
MONTO PARCIAL \$					51.750.284,85
MONTO PAVIMENTOS \$					171.228.534,23
	SEÑALAMIENTO				
	Recubrimiento con pintura				
	Recubrimiento de superficies, por unidad de obra terminada: De pavimento:				
59	Color blanco reflejante, de 15 cm de ancho (longitud efectiva)	m	25.000,00	19,25	481.250,00
	M - 8 Rayas en las orillas exteriores de la calzada:				
60	Color blanco reflejante, de 15 cm de ancho (longitud efectiva)	m	112.500,00	19,25	2.165.625,00
	TRABAJOS DIVERSOS				
	Defensas metálicas de lámina galvanizada tipo AASTHO M - 180, incluyendo sus accesorios, por unidad de obra terminada				
61	De 2 crestas, sencilla	m	-	-	-
62	De 3 crestas, sencilla	m	-	-	-
	Señales restrictivas:				
63	SR-9 Velocidad 110 Kph. De 86 x 86 cm	pza	8,00	975,40	7.803,20
64	SR-13 Conserve su derecha. De 86 x 86 cm	pza	6,00	975,40	5.852,40
65	SR - Cinturón de Seguridad: De 117 x 117	pza	5,00	1.325,60	6.628,00
	Señales informativas: De identificación:				
MONTO PARCIAL \$					2.667,158.60
MONTO ACUMULADO \$					2.667,158.60

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (8/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
66	SII - 14 Kilometraje con ruta, de 30 x 120 cm con escudo	pza	25,00	875,00	21.875,00
67	SII - 15 Kilometraje sin ruta, de 30 x 76 cm sin escudo	pza	53,00	547,50	29.017,50
	De recomendación:				
68	SIR de 86 x 300 cm leyendas varias	pza	20,00	1.354,00	27.080,00
69	SIR de 40 x 239 cm, guarde su distancia.	pza	-	1.052,00	-
70	OD - 12 Indicador de curvas peligrosas. De 60 x 90 cm.	pza	-	975,40	-
	General				
71	SIG - 8 Puentes de 40 X 239 cm	pza	26,00	1.052,00	27.352,00
	De servicios				
72	SIS - Túnel	pza	2,00	547,50	1.095,00
73	SID - 13 Reducción y ampliación de carriles a 750 m. De 152 x 244 cm	pza	-	3.587,60	-
	Señales de Protección.				
74	SP - 6 Curvas a la izquierda y derecha. De 86 x 86 cm	pza	39,00	975,40	38.040,60
75	SP - 10 Camino sinuoso De 86 x 86 cm	pza	8,00	975,40	7.803,20
	SP - 7 Codo derecho o izquierdo				
76	De 117 x 117	pza	6,00	1.325,60	7.953,60
	SP- 8 Curva inversa				
77	De 117 x 117	pza	-	1.325,60	-
	Violetas: Con reflejante OD-7 en 2 caras, por unidad de obra terminada				
78	Amarillo en el sentido del transito y rojo en el contrasentido	pza	11.250,00	45,60	513.000,00
	Con reflejante OD-7 en 1 cara, por unidad de obra terminada:				
79	Blanco en una cara	pza	-	45,60	-
80	OD-6 Indicadores de Alineamiento de polivinilo de cloruro retráctiles	pza	1.250,00	38,75	48.437,50
	Defensa metálica de lámina galvanizada tipo AASTHO M-180 con accesorios				
81	por unidad de obra terminada De 2 crestas, sencilla	m	15.740,00	32,15	506.041,00
MONTO PARCIAL \$					1,227,695.40
MONTO SEÑALAMIENTO \$					3,894,854.00
	INFRAESTRUCTURA (PUENTES, PASOS VEHICULARES SUPERIORES E INFERIORES).				
	PILOTES COLADOS EN EL LUGAR				
MONTO PARCIAL \$					0.00
MONTO ACUMULADO \$					0.00

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (9/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	Pilastrones de concreto hidráulico colados en el lugar, incluyendo el acero de refuerzo por unidad de obra terminada:				
82	De $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, de $11,310 \text{ cm}^2$ de sección (120 cm de diámetro)	m	441,40	3.617,06	1.596.570,28
	SUBESTRUCTURA				
	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS				
	Excavaciones para estructuras, de acuerdo con su clasificación,				
	a cualquier profundidad:				
	Excavado, por unidad de obra terminada, cualesquiera que sean su clasificación				
83	y profundidad	m ³	22.613,20	100,49	2.272.400,47
	RELLENOS DE ESTRUCTURAS.				
84	De excavaciones para estructuras, por unidad de obra terminada	m ³	15.410,00	130,95	2.017.939,50
	Zampeados a cualquier altura, por unidad de obra terminada				
	De suelo - cemento				
85	Para materiales mezclados en el lugar	m ³	3.195,00	283,82	906.804,90
	CONCRETO HIDRAULICO				
	Concreto hidráulico, sin incluir cimbra, colado en seco:				
86	De $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$	m ³	1.008,95	1.565,89	1.579.904,72
	Concreto hidráulico $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, por unidad de obra terminada:				
87	En cabezales, orejas, columnas, aleros, diafragmas, pantallas, bancos y topes	m ³	46.504,40	2.742,80	127.552.268,32
88	En zapatas y contratraves	m ³	2.291,60	2.742,80	6.285.400,48
89	En zapatas de pilas	m ³	14.080,20	2.742,80	38.619.172,56
90	En columnas de caballetes y pilas	m ³	9.413,40	3.002,97	28.268.157,80
91	En muros de contención	m ³	-	3.562,44	-
	ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO				
	Acero de refuerzo, por unidad de obra terminada:				
92	Varillas de límite elástico igual o mayor de $4,000 \text{ kg/cm}^2$	kg	4.858.578,00	17,23	83.713.298,94
				MONTO PARCIAL \$	292,811,917.97
				MONTO ACUMULADO \$	292,811,917.97

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (10/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
93	Acero estructural A-36	kg	-	36,26	-
94	Apoyos integrales de neopreno por unidad de obra terminada ASTM-D2240, dureza Shore 60 (ft = 100 kg/cm ²)	dm ³	-	188,39	-
SUPERESTRUCTURA					
CONCRETO HIDRÁULICO					
	Concreto hidráulico, por unidad de obra terminada:				
	Simple, colado en seco:				
	De f'c = 250 kg/cm ²				
95	En losas	m ³	8.698,52	2.742,80	23.858.300,66
	Trabes presforzadas por unidad de obra terminada				
96	De f'c = 350 kg/cm ²	m ³	11.955,80	4.499,93	53.800.263,09
97	De f'c = 400 kg/cm ²	m ³	-	4.582,29	-
	En losas tipo cajón				
98	De f'c = 100 kg/cm ²	m ³	-	4.380,83	-
99	De f'c = 150 kg/cm ²	m ³	-	4.510,21	-
100	De f'c = 250 kg/cm ²	m ³	63,70	4.826,97	307.477,99
101	De f'c = 300 kg/cm ²	m ³	-	5.039,35	-
102	De f'c = 350 kg/cm ²	m ³	-	5.217,45	-
103	De f'c = 400 kg/cm ²	m ³	-	5.299,80	-
ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO					
	Acero de refuerzo por unidad de obra terminada				
104	Varillas de límite elástico igual o mayor de 4,000 kg/cm ²	kg	1.911.498,00	17,23	32.935.110,54
105	Acero estructural A-36 (placas, tuercas y rondanas) por unidad de obra terminada	kg	12.346,80	36,26	447.694,97
	Estructura fabricada y montada por unidad de obra terminada				
	Estructura soldada				
106	Varillas galvanizadas con roscas en sus extremos en losa y tabletas	kg	3.600,00	37,54	135.144,00
107	Ductos de plástico de 2.50 X 1.54 m	pza	-	40,69	-
108	Ductos de plástico de 2.50 X 1.84 m	m	-	48,61	-
109	Ductos de plástico de 2.50 X 1.99 m	m	-	52,58	-
110	Ductos de poliuretano de 2.0 cm de espesor	m	-	35,40	-
111	Ducto de tubo de polivinilo de cloruro de 1" Ø x 30 cm de largo	pza	-	2,78	-
112	Tapón cartón comprimido de 3.0 cm de Ø	pza	-	4,56	-
MONTO PARCIAL				\$	111,483,991.25
MONTO ACUMULADO				\$	404,295,909.22

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (11/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
113	Tubo de polivinilo de cloruro de 75 mm diámetro para drenes	pza	380,00	24,01	9.123,80
114	Tubo de polivinilo de cloruro de 88 mm diámetro para drenes	m	-	26,05	-
115	Tubo de acero de 3.2 cm de Ø	m	1.203,71	134,73	162.175,85
116	Tubo de acero de 2.5 cm de Ø	m	534,52	99,72	53.302,33
	Acero de presfuerzo, por unidad de obra terminada:				
117	Torones de 1.27 cm de diámetro, límite de ruptura igual o mayor que 19,000 kg/cm ²	kg	589.502,00	75,10	44.271.600,20
118	Acero de presfuerzo torones de 1.27 L.R. 11,000 kg/cm ²	kg	-	75,10	-
	Cables galvanizados de 1.27 cm de diámetro				
119	Tipo Cascabel, serie G-37 con alma de acero, LR>31.4 ton/cable para izaje	kg	7.341,44	56,85	417.360,86
120	Drenes duraplex de 75 mm diámetro o similar	kg	655,00	35,64	23.344,20
121	Dren de tubo de 10 cm diámetro	m	-	38,37	-
	CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO				
	Carpeta de concreto asfáltico, por unidad de obra terminada sobre losa:				
	Del (los) banco(s) que elija el contratista (incluyendo acarreos)				
122	Mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado incluyendo riego de liga.	m ³	262,70	450,00	118.215,00
	APOYOS				
123	Apoyos de neopreno, por unidad de obra terminada	dm ³	3.804,80	188,39	716.786,27
	Juntas de dilatación por unidad de obra terminada.				
	Metálicas:				
124	De acero estructural A - 36	kg	1.032,00	36,26	37.420,32
125	Sikaflex 1-A ó similar de 4 cm de espesor	dm ²	1.039,20	74,50	77.420,40
126	Cartón asfaltado de 4 cm de espesor	m ²	47,80	110,80	5.296,24
127	Cartón asfaltado de 2 cm de espesor	m ²	183,60	57,55	10.566,18
128	Cartón asfaltado de 1 cm de espesor	m ²	-	32,15	-
129	Junta tipo Wosd - 100 o similar	m	-	87,45	-
				MONTO PARCIAL \$	45,902,611.65
				MONTO ACUMULADO \$	450,198,520.87

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (12/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
130	Barra Dywidag con rosca en sus extremos	kg	-	65,40	-
131	Tipo JCM x 2822	m	-	64,32	-
132	Tipo FREY MEX T-50	m	241,40	165,34	39.913,08
	PARAPETOS				
	CONCRETO HIDRÁULICO				
	Concreto hidráulico, por unidad de obra terminada				
	Simple, colado en seco:				
133	De f'c = 250 kg/cm ² en guarniciones y parapetos	m ³	2.907,10	2.968,51	8.629.755,42
	ACERO PARA CONCRETO HIDRÁULICO				
	Acero de refuerzo, por unidad de obra terminada:				
134	Varillas de límite elástico igual o mayor de 4.000 kg/cm ²	kg	221.918,00	17,23	3.823.647,14
	ESTRUCTURAS DE ACERO				
135	Pernos 2.54 cm diámetro con tuerca	pza	2.675,00	12,54	33.544,50
136	Pernos 3.81 cm diámetro con tuerca	kg	7.387,00	18,85	139.244,95
137	Parapetos de acero para calzada (T-34.3.1), por unidad de obra terminada	m	-	427,34	-
	ACCESOS				
	PRÉSTAMOS				
	Excavaciones de préstamos, por unidad de obra terminada:				
138	De cualquier banco, Incluyendo acarreos	m ³	345.670,00	100,49	34.736.378,30
	Excavaciones para estructuras, de acuerdo con su clasificación, a cualquier profundidad:				
	Excavado, por unidad de obra terminada, cualesquiera que sean su clasificación				
139	y profundidad	m ³	1.924,00	100,49	193.342,76
	TERRAPLENES				
	Formación y compactación, por unidad de obra terminada:				
	De terraplenes adicionados con sus cuñas de sobreancho:				
140	Para noventa y cinco por ciento (95%)	m ³	319.690,00	38,43	12.285.686,70
	SUBBASE Y BASES				
	Subbases o bases, por unidad de obra terminada:				
				MONTO PARCIAL \$	59,881,512.85
				MONTO ACUMULADO \$	510,080,033.72

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (13/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	Del (los) banco(s) que elija el contratista (incluyendo acarreos)				
141	Subbase compactada al cien por ciento (100%):	m³	25.980,00	156,66	4.070.026,80
142	Suelo-cemento proporción 1:8 espesor de 0.80 m	m³	768,00	687,54	528.030,72
	RIEGO DE IMPREGNACIÓN:				
143	Barrido de la superficie por tratar	ha	6,98	2.528,43	17.648,44
	CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO				
	Carpeta de concreto asfáltico, por unidad de obra terminada				
	Del (los) banco(s) que elija el contratista (incluye acarreos y cemento asfáltico)				
144	Mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado incluyendo riego de liga.	m³	1.924,00	450,00	865.800,00
	MATERIALES ASFALTICOS				
	Materiales asfálticos, por unidad de obra terminada:				
	Empleados en riegos:				
145	Catiónica, en riego de impregnación	lt	43.507,50	6,40	278.448,00
	Cementos asfálticos empleados en concreto asfáltico, por unidad de obra terminada:				
146	Para mezclas asfálticas en caliente.	kg	346.320,00	6,50	2.251.080,00
	CONCRETO HIDRAULICO				
	Concreto hidráulico, por unidad de obra terminada				
	colado en seco:				
147	De f'c= 250 kg/cm² en losa de acceso	m³	1.034,00	2.968,51	3.069.439,34
148	De f'c= 250 kg/cm² en guarniciones según proyecto No T.34.1, incluye pintura vinílica	m³	503,60	2.968,51	1.494.941,64
149	De f'c= 250 kg/cm² en postes según proyecto No T.34.1, incluye pintura vinílica	m³	156,20	2.968,51	463.681,26
	ACERO PARA CONCRETO HIDRAULICO				
	Acero de refuerzo por unidad de obra terminada:				
MONTO PARCIAL \$					13,039,096.20
MONTO ACUMULADO \$					523,119,129.92

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (14/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
150	Varillas de límite elástico igual o mayor de 4,000 kg/cm ²	kg	192.239,00	17,23	3.312.277,97
151	Acero estructural galvanizado	kg	71.159,00	36,26	2.580.225,34
152	Tubo de acero galvanizado	kg	132.636,00	43,65	5.789.561,40
153	electromalla soldada 6x6 8/8	kg	-	27,22	-
TRABAJOS DIVERSOS					
	Lavaderos:				
	De concreto hidráulico, por unidad de obra terminada,				
154	de f'c =100 kg/cm ² con agregado de tamaño máximo de 19 mm (3/4")	m ³	-	1.565,89	-
155	de f'c =150 kg/cm ² con agregado de tamaño máximo de 19 mm (3/4")	m ³	481,70	2.106,96	1.014.922,63
	Defensas metálicas de lámina galvanizada tipo AASTHO M - 180,				
	incluyendo sus accesorios, por unidad de obra terminada				
156	De 2 crestas, sencilla	m	39.848,00	751,85	29.959.718,80
MONTO PARCIAL \$					42.656.706,14
MONTO INFRAESTRUCTURA \$					565.775.836,06
TÚNELES					
PORTAL NAUCALPAN					
157	Desmante, el precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	ha	0,53	10.150,47	5.379,75
158	Despalme, el precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	2.105,88	5,96	12.551,04
159	Excavación a cielo abierto, en material tipo "C". El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, barrenación, explosivos y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	140.434,26	48,87	6.863.022,29
MONTO PARCIAL \$					6.880.953,08
MONTO ACUMULADO \$					6.880.953,08

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (15/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
160	Extracción de material de excavación a cielo abierto. Incluye el primer kilómetro. El precio unitario incluye todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	140.434,26	8,77	1.231.608,46
161	Acarreos subsecuentes de material, de excavación. El precio unitario incluye todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³-km	702.171,32	3,52	2.471.643,05
162	Barrenación en roca de 10 cm de diámetro para anclas en taludes de 10.0 m. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	360,20	198,00	71.319,60
163	Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 38 mm de diámetro, de 10.0 m de longitud. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	360,20	96,25	34.669,25
164	Barrenación en roca de 7.5 cm de diámetro para drenaje ciegos de 15 m de longitud. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	180,48	187,00	33.749,76
	PORTAL TOLUCA				
165	Desmonte. El precio unitario incluye todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	ha	0,70	10.150,47	7.105,33
				MONTO PARCIAL \$	3,850,095.45
				MONTO ACUMULADO \$	10,731,048.53

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (16/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
166	Despalme. El precio unitario incluye todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	2.790,40	5,96	16.630,78
167	Excavación a cielo abierto, en material tipo "C". El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, barrenación, explosivos y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	109.934,06	48,87	5.372.477,51
168	Extracción de material de excavación a cielo abierto. Incluye el primer kilómetro. El precio unitario incluye todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	549.670,29	8,77	4.820.608,44
169	Acarreos subsecuentes de material, de excavación. El precio unitario incluye todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³-km	549.670,29	3,52	1.934.839,42
170	Barrenación en roca de 10 cm de diámetro para anclas en taludes de 10.0 m. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	1.200,60	198,00	237.718,80
171	Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 38 mm de diámetro, de 10.0 m de longitud. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	1.200,68	96,25	115.565,45
MONTO PARCIAL				\$	12,497,840.40
MONTO ACUMULADO				\$	23,228,888.93

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (17/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
172	Barrenación en roca de 7.5 cm de diámetro para drenaje ciegos de 15 m de longitud. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en obra y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	421,80	187,00	78.876,60
TÚNEL					
173	Excavación en roca, en sección de 130 a 140 m ² . El precio unitario es medido a la línea B e incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, barrenación y explosivos, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	131.196,52	8,77	1.150.593,48
174	Extracción de derrumbes en cualquier clase de material a cielo abierto, no imputable a la Contratista. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	13.119,64	5,72	75.044,34
175	Extracción de derrumbes en cualquier clase de material a cielo abierto, imputable a la Contratista. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	13.119,64	9,39	123.193,42
176	Extracción de material de excavación incluye el primer kilómetro. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada..	m ³	131.196,52	8,77	1.150.593,48
MONTO PARCIAL \$					2,578,301.32
MONTO ACUMULADO \$					25,807,190.25

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (18/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
177	Acarreos subsecuentes de material, de excavación. El precio unitario incluye suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³ -km	655.982,00	3,52	2.309.056,64
178	Barrenación en roca de 75 mm de diámetro para anclas en bóveda de 8.0 m de longitud. El precio unitario incluye suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	159.600,00	1,98	316.008,00
179	Suministro y colocación e inyección de anclas de fricción de varilla corrugada de 25 mm de diámetro, de 8.0 m de longitud. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	159.600,00	17,05	2.721.180,00
180	Concreto lanzado de 5 a 10 cm de espesor y f'c = 200 kg/cm ² , en zonas puntuales del túnel. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	1.913,60	63,25	121.035,20
181	Suministro, habilitado y colocación de malla electrosoldada de 6-6/10-10 en zonas puntuales del túnel. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a	m ²	1.913,60	24,20	46.309,12
MONTO PARCIAL \$					5,513,588.96
MONTO ACUMULADO \$					31,320,779.21

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (19/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.				
182	Suministro, transporte, habilitación y colocación de marcos de acero para ademe del túnel. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	ton	240,60	23.650,00	5.690.190,00
183	Concreto simple para rellenos y reposición de caídos de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	15.057,20	935,00	14.078.482,00
184	Concreto reforzado para revestimiento del túnel, túneles falsos y cimentaciones de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	26.284,96	2.848,73	74.878.754,10
185	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo de cualquier diámetro, El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	ton	481,04	7.150,00	3.439.436,00
MONTO PARCIAL				\$	98,086,862.10
MONTO ACUMULADO				\$	129,407,641.31

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (20/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	OBRAS HIDRÁULICAS				
186	Excavación de zanjas, en material tipo III, para obras de drenaje. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	1.285,59	48,87	62.826,78
187	Extracción de material de excavación incluye el primer kilómetro. El precio unitario incluye el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	1.311,92	8,77	11.505,54
188	Relleno fluido para firmes y rellenos de f'c = 100 kg/cm². El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	2.108,48	605,00	1.275.630,40
189	Concreto reforzado para registro en portal Salina Cruz f'c = 200 kg/cm². El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	5,70	1.045,00	5.956,50
190	Tubo STRUPAC de 40 cm de diámetro para sub-dren. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a	m	1.360,00	214,19	291.298,40
MONTO PARCIAL \$					1,647,217.62
MONTO ACUMULADO \$					131,054,858.93

Esta tabla continúa en la siguiente página.

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (21/22) "CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA"					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
	entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.				
191	Tubo STRUPAC de 20 cm de diámetro para unir coladera pluvial con tubo STRUPAC de 40 cm. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m	21,06	99,00	2.084,94
192	Concreto reforzado para murete "contracunetas" de f'c = 200 kg/cm ² . El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	1.776,07	935,00	1.660.625,45
193	Mampostería para lavadero, junteada con mortero arena cemento 1 a 6. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	18,51	4.494,80	83.198,75
PAVIMENTO					
194	Concreto simple para pavimento en túnel de f'c = 300 kg/cm ² . El precio unitario incluye todos los materiales puestos en el lugar de la obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m ³	4.002,61	2.035,00	8.145.311,35
MONTO PARCIAL \$					9,891,220.49
MONTO ACUMULADO \$					140,946,079.42

Esta tabla continúa en la siguiente página.

**ANTEPROYECTO DE UNA AUTOPISTA
DE CUATRO CARRILES**

Esta tabla viene de la página anterior.

TABLA V.20 (22/22) “CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y CANTIDADES DE OBRA”					
No	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (\$)	Importe (\$)
195	Suministro, habilitado y colocación de pasa-juntas de acero. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y en general todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	ton	11,93	7.150,00	85.299,50
196	Concreto asfáltico para pavimento. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	m³	728,48	171,93	125.247,57
197	Asfalto FM-1 para riego de liga, sello e impregnación con emulsión catiónica RR-2K a razón de 1.3 m²/lit. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra terminada.	lt	11.207,32	8,48	95.038,07
198	Materiales pétreos para sub-base. El precio unitario incluye todos los materiales puestos en obra, el suministro de la energía eléctrica para todos los equipos, ventilación, iluminación y todo lo necesario para la correcta ejecución de esta actividad a entera satisfacción de la Dependencia por unidad de obra.	m³	4.807,95	67,60	325.017,42
				MONTO PARCIAL \$	630,602.56
				MONTO TÚNELES \$	141.576.681,98

Finalmente, del resumen por partidas de obra, se observa que la Infraestructura (formada por puentes, pasos vehiculares superiores y pasos vehiculares inferiores) junto con túneles tienen una gran relevancia, ya que juntas representan un 55 % de todo el presupuesto. Este punto se analiza en el tema V.3.2 “Adecuación del Presupuesto”.

V.2 COSTOS PARAMÉTRICOS.

El costo paramétrico es la estimación preliminar del costo, basado en una unidad de medida como puede ser los metros cuadrados o metros lineales de construcción multiplicado por un índice, el cual está definido por el costo por unidad de medida dependiendo del tipo de construcción en un tiempo y lugar determinado. En este capítulo se pretende calcular el costo estimado de la autopista de cuatro carriles tomando como base proyectos de autopistas ya realizadas recientemente en la República Mexicana.

V.2.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVO.

La estimación de los costos de construcción en las etapas tempranas de un proyecto es una actividad indispensable. Sin embargo, en estas etapas es común que no se cuente con toda la información necesaria para elaborar un estimado de costos por el método tradicional de los precios unitarios, de manera que es preciso recurrir a los métodos aproximados. Uno de estos métodos aproximados se conoce como la estimación paramétrica de costos, la cual, basándose en unas pocas características distintivas de la obra permite calcular un costo aproximado de la misma. Un requisito indispensable del anterior método es disponer de una buena base de información estadística de proyectos similares, aunque se reconoce que dicha información no se puede obtener fácilmente. Con el fin de cubrir esta deficiencia, y para efectos de la presente tesis, se ha desarrollado este trabajo, en el que se describe el diseño y la aplicación de una metodología para la recolección y análisis de datos de proyectos de construcción y/o ampliación de autopistas realizados recientemente en la República Mexicana, para poder obtener los parámetros de costo que permitieran estimar los costos de construcción de los proyectos durante sus etapas iniciales.

En las etapas tempranas de los proyectos es común que se presente alguna de las dos situaciones siguientes.- por un lado es posible que no se cuente con un diseño detallado del proyecto, por lo que no se cuenta con la información suficiente para hacer un estimado de costos detallado utilizando el método de los precios unitarios, y por otro lado, es posible que aunque se tenga el diseño detallado del proyecto, no se disponga del tiempo necesario para aplicar la

metodología de los precios unitarios y adicionalmente sólo se requiera tener un costo aproximado del proyecto. En cualquiera de los dos casos anteriores lo adecuado sería el uso de un método de estimación de costos que permita calcular un costo del proyecto con una buena aproximación a su costo final, disponiendo de pocos datos del proyecto y en un tiempo reducido. Existen varios métodos para la estimación de costos durante las etapas tempranas de un proyecto que satisfacen los requerimientos planteados anteriormente, entre los que se encuentra el método paramétrico que se usa comúnmente para preparación de estimados preliminares o de orden de magnitud y a menudo se usan para verificar estimados de alto nivel como los estimados a precio alzado o los estimados definitivos. El método paramétrico ofrece entre otras cosas una buena precisión de los estimados comparado con el método de los precios unitarios, así como la posibilidad de realizar el estimado en un tiempo muy corto. El principio de este tipo de estimados de costos es que los proyectos tienen algunas características clave, que se conocen como parámetros, que están fuertemente correlacionados con el costo del proyecto y el método toma en cuenta esta correlación para obtener un estimado del costo del proyecto. Un requisito importante para utilizar el método paramétrico en la estimación de costos es contar con información estadística amplia, obtenida del análisis cuidadoso de una buena cantidad de proyectos realizados en el pasado bajo condiciones económicas y de ubicación geográfica muy similares entre sí. Dado que en la actualidad no existe la práctica de analizar los proyectos pasados para obtener la información necesaria para aplicar el método paramétrico, el presente trabajo tiene como objetivo recopilar unos cuantos datos de proyectos realizados recientemente en la República Mexicana, los cuales serán analizados para proponer los parámetros más convenientes a utilizar en los estimados de costos de la construcción de autopistas.

V.2.2. ELECCIÓN DE PARÁMETROS.

Para obtener los valores de los parámetros de costos de construcción para su aplicación en el cálculo de estimados de costos durante la etapa de planeación de los proyectos de autopistas, se procederá a obtener los estimados detallados de proyectos realizados entre febrero de 2008 y marzo de 2009. Los proyectos se

componían de terracerías, obras de drenaje, pavimentos, estructuras, obras complementarias y señalamiento, con tramos de construcción entre 10 y 16 km que cumplían con las especificaciones establecidas en los Reglamentos de Construcciones correspondientes.

Los estimados detallados de estos tramos carreteros que se obtuvieron fueron elaborados utilizando el método de los precios unitarios.

Una vez que se contó con los estimados detallados de los tramos carreteros, se procedió a analizar la composición de las partidas en que fueron agrupados los conceptos que integraban cada uno de los estimados detallados.

Posteriormente se eligieron aquellas partidas que pudieran ser utilizadas como parámetros de costos, esto es, que fueran fácilmente identificables y cuantificables en las etapas tempranas de un proyecto.

Una vez seleccionadas las partidas representativas con sus unidades de medida de los estimados detallados se procedió a reestructurar todos los estimados detallados de manera que se consideraran sólo éstas en los estimados y que cada una de ellas estuviera integrada por los conceptos de obra correspondientes.

Como los proyectos fueron realizados en diferentes tiempos, los costos de los insumos utilizados para calcular sus estimados detallados también correspondían a diferentes tiempos por lo que sería necesario fijar una fecha de referencia y actualizar los costos de los insumos a esa fecha seleccionada. En el presente estudio no se consideró el efecto tiempo, aunque cabe mencionar que todos los costos de los insumos se deben ajustar para la fecha de referencia, y proceder a recalcular los montos de cada uno de los proyectos analizados, tanto de los estimados detallados totales, como de sus partidas y de los conceptos que formaban cada uno de ellos. Finalmente, se debe realizar el cálculo del costo por unidad de cada una de las partidas de acuerdo a las unidades seleccionadas.

Finalmente, con los costos por unidad de las partidas calculados en cada uno de los proyectos, se procedió a calcular el costo por unidad de cada partida representativo de todos los proyectos estudiados, haciendo un promedio simple de los costos por unidad obtenidos previamente. Estos costos son los que se consideran en este estudio como los costos paramétricos de los proyectos de

construcción de autopistas y que pueden ser usados para estimar los costos de construcción de los mismos durante la etapa de planeación. Cabe mencionar que este estudio es a manera de ejemplo y de ninguna manera debe considerarse como representativo.

V.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.

Se analizan dos proyectos de construcción de autopistas cuyos estimados de costos se realizaron utilizando la técnica de los precios unitarios y fueron elaborados y ganados en la licitación pública nacional correspondiente, como se muestra en la Tabla V.21 “Ejemplo de Proyectos Analizados para el Estudio Paramétrico” y están disponibles en el sistema Compranet, el cual es un portal de Internet donde se publican todas las convocatorias de obra públicas y de servicios relacionados con las mismas a nivel federal y/o estatal en la República Mexicana, en su modalidad de licitación pública, invitación restringida o adjudicación directa. Cabe mencionar que de estos dos proyectos que se denominaran P1 y P2, sólo en el proyecto P2 hay una infraestructura (puentes, pasos vehiculares superiores e inferiores), túneles, y obras inducidas, que la hace perfectamente comparable con respecto al tramo de estudio, por lo que para el proyecto P1 se realizará una selección y adecuación de las partidas a fin de hacer una comparativa lo más apegada a la realidad.

**TABLA V.21 “EJEMPLO DE PROYECTOS ANALIZADOS
PARA EL ESTUDIO PARAMÉTRICO”**

Proyecto	Nombre	Tramo	Longitud (km) *	Fecha
P1	Modernización del acceso sur de Culiacán del km 192+300 al km 208+300	km 192+300 al km 208+300	16	Febrero 2008
	Licitación 00009045-038-07	Importe sin IVA: \$ 234,860,037.01		
P2	Autopista Perote–Corral Falso en el estado de Veracruz del km 49+312 al 78+965	km 49+312 al km 78+965	29.65	Marzo 2009
	Licitación 00009016-043-08	Importe sin IVA: \$ 1,060,581,814.43		

* se refiere a la longitud de construcción

Del análisis de los dos proyectos se seleccionaron como representativas las partidas que se presentan en la Tabla V.22 “Partidas Representativas de los Proyectos de Construcción de Autopistas en la República Mexicana”. Junto con cada una de las partidas seleccionadas, se presenta la unidad en que se cuantificará la partida y los conceptos del estimado detallado del proyecto que deben ser incluidos en cada una de ellas. La unidad seleccionada es el kilómetro (km), dada la facilidad de cálculo, pero debe asegurarse que el ancho de carpeta sea el mismo o bien aplicar un factor de corrección.

Para obtener los costos por unidad de medida de las partidas en cada uno de los proyectos, se utilizaron los costos actualizados de todas las partidas (para el presente estudio no se realizó dicha actualización de costos) y los volúmenes de las partidas en sus proyectos correspondientes en la unidad de medida seleccionada. Los costos actualizados de las partidas de los proyectos se muestran en la Tabla V.23 “Importes por Partidas”. Los volúmenes de las partidas en cada proyecto se muestran en la Tabla V.24 “Volúmenes de las Partidas de los Proyectos P1 y P2” y se consideran de forma lineal para el tramo en cuestión, por longitud de construcción expresada en kilómetros. Finalmente, los costos por unidad de medida de las partidas, se obtiene de dividir el costo actualizado entre su volumen correspondiente, y se muestran en la Tabla V.25 “Costos por Unidad de Medida de las Partidas”.

TABLA V.22 “PARTIDAS REPRESENTATIVAS DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE AUTOPISTAS EN LA REPUBLICA MEXICANA”

Núm.	Partida	Unidad	Conceptos
1	Terracerías	km	Desmontes, cortes, préstamo de material de banco, acarreos y formación de terraplén
2	Drenaje	km	Zampeados, guarniciones, cunetas, obras de drenaje en general y barrera central
3	Pavimentos	km	Obtención de agregados, fabricación y tendido de la carpeta asfáltica, riegos.
4	Señalamiento	km	Defensa metálica de dos crestas, postes, señalamiento horizontal y vertical.
5	Infraestructuras	km	Puentes y Pasos vehiculares desglosados en concreto, acero de refuerzo, cimbra, etc.
6	Túneles	km	Excavación, acarreos, relleno, concreto hidráulico, barrenación, anclaje.

TABLA V.23 “IMPORTES POR PARTIDAS”

Partida	Unidad	Proyecto P1	Proyecto P2
Terracerías	km	\$ 65,760,810.36	\$ 188,351,990.11
Drenaje	km	\$ 11,743,001.85	\$ 59,370,257.22
Pavimentos	km	\$ 119,778,618.88	\$ 112,633,356.02
Señalamiento	km	\$ 9,394,401.48	\$ 12,894,951.68
Infraestructuras	km	\$ 28,183,204.44	\$ 538,626,525.68
Túneles	km	\$ -	\$ 148,704,733.72
Suma:		\$ 234,860,037.01	\$ 1,060,581,814.43

**TABLA V.24 “VOLUMENES DE LAS PARTIDAS
DE LOS PROYECTOS P1 Y P2”**

Partida	Unidad	Proyecto P1	Proyecto P2
Terracerías	km	16.00	29.65
Drenaje	km	16.00	29.65
Pavimentos	km	16.00	29.65
Señalamiento	km	16.00	29.65
Infraestructuras	km	16.00	29.65

Finalmente, los costos paramétricos se obtienen del promedio simple de los costos por unidad de las partidas correspondientes de cada uno de los proyectos que se presentan en las Tabla V.25 “Costos por Unidad de Medida de las Partidas”. Los resultados se muestran en la Tabla V.26, “Costos Paramétricos de los Proyectos P1 y P2” y corresponden al periodo de febrero de 2008 y marzo de 2009 (para el presente estudio no se realizó actualización de costos).

El costo paramétrico promedio por unidad obtenido para la construcción de autopistas es de 25,224,398.34 \$/km

Este costo considera que el cargo financiero será menor, es decir que el aporte de los recursos será constante y no se hará bajo algún esquema de inversión o concesión, los cuales están fuera del alcance del presente estudio económico.

TABLA V.25 “COSTOS POR UNIDAD DE MEDIDA DE LAS PARTIDAS”

Partida	Unidad	Proyecto P1	Proyecto P2
Terracerías	km	\$ 4,110,050.65	\$ 6,352,512.31
Drenaje	km	\$ 733,937.62	\$ 2,002,369.55
Pavimentos	km	\$ 7,486,163.68	\$ 3,798,764.12
Señalamiento	km	\$ 587,150.09	\$ 434,905.62
Infraestructuras	km	\$ 1,761,450.28	\$ 18,166,156.01
Túneles	km	\$ - - - - -	\$ 5,015,336.72
Promedio:		\$ 14,678,752.32	\$ 35,770,044.33

**TABLA V.26 “COSTOS PARAMÉTRICOS DE
LOS PROYECTOS P1 Y P2”**

Partida	Costo Paramétrico (\$/km)
Terracerías	\$ 5,231,281.48
Drenaje	\$ 1,368,153.59
Pavimentos	\$ 5,642,463.90
Señalamiento	\$ 511,027.86
Infraestructuras	\$ 9,963,803.15
Túneles	\$ 2,507,668.36
Promedio:	\$ 25,224,398.34

Finalmente, para obtener el costo estimado para la construcción del tramo en proyecto, del km 0+000 al km 33+670, cuya longitud es de 33.67 km, se multiplica esta última por el costo paramétrico promedio, es decir:

$$33.67 \text{ km} \times 25,224,398.34 \text{ \$/km} = \$ 849,305,492.11$$

Los resultados que se obtienen en el presente estudio, permiten calcular un estimado aproximado de los costos de las autopistas con una mínima cantidad de información, puesto que únicamente se requiere conocer la longitud del tramo a construir. Con estos datos se puede estimar tanto el costo total del proyecto como el costo de cada una de las partidas de la misma. A manera de resumen por partidas para el tramo del proyecto, los resultados se muestran en la Tabla V.27, “Costos Paramétricos del Anteproyecto” y cuyo valor para efecto de identificarlo en la comparativa de costos, se le denominara “C1”.

**TABLA V.27 “COSTOS PARAMÉTRICOS DEL
ANTEPROYECTO”**

Partida	Costo Paramétrico (C1)
Terracerías	\$ 176,137,247.43
Drenaje	\$ 46,065,731.38
Pavimentos	\$ 189,981,759.51
Señalamiento	\$ 17,206,308.05
Infraestructuras	\$ 335,481,252.06
Túneles	\$ 84,433,193.68
Total:	\$ 849,305,492.11

Dado que los costos de los parámetros corresponden a un periodo de tiempo, el estimado de costo que se obtenga para un nuevo proyecto también corresponderá a esa fecha, por lo que si se desea tener el estimado de costo para otra fecha será necesario actualizar el costo para la fecha que se desee. Para hacer la actualización del costo del proyecto de una manera rápida se pueden utilizar algunos de los índices generales que se manejan en la Republica Mexicana, tales con el índice nacional de precios, la inflación de precios durante el período. En el caso de la inflación aunque se puede usar la inflación general, también se puede usar la inflación específica para el sector de la construcción. Este último puede proporcionar valores más precisos.

Finalmente, con respecto a los valores de los costos paramétricos para la construcción de autopistas que se obtuvieron, únicamente se deben considerar como resultados preliminares dado el carácter exploratorio de la investigación.

V.3 PRESUPUESTO.

El presupuesto es el elemento económico que determina el posible costo de ejecución del proyecto, con las implicaciones de beneficio social e impacto ambiental tanto en la región como a las poblaciones que intercomunicara, por lo que se debe ser cuidadoso al determinarlo. Para el presente trabajo, se seleccionaron dos indicadores, la determinación del presupuesto mediante la formulación de un catálogo de conceptos de trabajo y cantidades de obra (Tabla

V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”), con sus correspondientes análisis de precios unitarios a costo directo (ya que el presente estudio sólo es a nivel anteproyecto) y la determinación del presupuesto mediante costos paramétricos. Dado el carácter del anteproyecto, se puede seleccionar alguna de las opciones anteriores según las circunstancias, siendo los costos paramétricos una selección rápida y de forma preliminar y la formulación del catálogo de conceptos de trabajo y cantidades de obra una determinación del costo más precisa, pero cuya elaboración implica más tiempo.

A continuación se realizara una comparativa de ambos procedimientos y se analizará la diferencia entre ambos.

V.3.1 COMPARACIÓN DE PRESUPUESTOS.

Comparando el costo paramétrico “C1” obtenido en la Tabla V.27, “Costos Paramétricos del Anteproyecto” y el resumen de partidas de la Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”, cuyo valor para efecto de identificarlo en la comparativa de costos, se le denominara “C3” se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla V.28 “Comparativa de Presupuestos”.

TABLA V.28 “COMPARATIVA DE PRESUPUESTOS”

Partida	Costo Paramétrico (C1)	Catálogo de Conceptos (C3)	C3/C1
Terracerías	\$ 176,137,247.43	\$ 366,036,159.74	208%
Drenaje	\$ 46,065,731.38	\$ 41,122,135.64	89%
Pavimentos	\$ 189,981,759.51	\$ 171,228,534.23	90%
Señalamiento	\$ 17,206,308.05	\$ 3,894,854.00	23%
Infraestructuras	\$ 335,481,252.06	\$ 565,775,836.06	169%
Túneles	\$ 84,433,193.68	\$ 141,576,681.98	168%
Total:	\$ 849,305,492.11	\$ 1,289,634,201.65	152%

De forma preliminar, al hacer el cociente del Costo Paramétrico “C1” entre el costo “C3” de la Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra” se observa una diferencia importante entre ambos resultados, por lo que es

necesario realizar una adecuación de dichos valores. Dicha variación es el cociente del costo “C1” con el costo “C3” y tiene un valor de 152 %

V.3.2 ADECUACIÓN DEL PRESUPUESTO.

Analizando los resultados de la Tabla V.25 “Costos por Unidad de Medida de las Partidas”, se observa que las partidas tienen un comportamiento equivalente, excepto Infraestructuras y Puentes, ya que el proyecto P1 no cuenta con ellos. En el Capítulo IV “Anteproyecto”, se determinó que estos elementos son una parte fundamental del presente trabajo, por lo que se debe hacer una adecuación al costo paramétrico “C1” obtenido en la Tabla V.27, “Costos Paramétricos del Anteproyecto”.

De la Tabla V.25 “Costos por Unidad de Medida de las Partidas” y dado que el Proyecto P1 no es representativo, se puede optar por calcular un factor de corrección para la partida de Infraestructuras y Puentes en base a las estructuras existentes o a una unidad de obra representativa (concreto hidráulico, acero de refuerzo, claro de las estructuras, etc.) o no considerarlo en la integración del costo paramétrico; para el presente estudio se optó por esta última opción.

De esta forma, de la Tabla V.25 “Costos por Unidad de Medida de las Partidas” se toma el costo estimado por unidad de longitud del proyecto P2 y se multiplica por la longitud del anteproyecto objeto del presente estudio, es decir:

$$33.67 \text{ km} \times 35,770,044.33 \text{ \$/km} = \$ 1,204,377,392.60$$

Realizando el mismo procedimiento de cálculo para las partidas representativas, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla V.29 “Costo Paramétrico Corregido” cuyo valor para efecto de identificarlo en la comparativa de costos, se le denominará “C2”.

Estos resultados se comparan con el costo “C3” del resumen de partidas del Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”, y se obtiene la Tabla V.30 “Comparativa del Costo Preliminar del Anteproyecto”.

De la comparativa, se puede observar que la diferencia más relevante es en el rubro de las terracerías con un 171 %, en segundo lugar los pavimentos con un 134 %. Estas diferencias se originan por los espesores de relleno en el terraplén,

la distancia de acarreo de dichos materiales desde el banco de obtención hasta el punto de utilización.

TABLA V.29 “COSTO PARAMÉTRICO CORREGIDO”

Partida	Costo Paramétrico C2
Terracerías	\$ 213,889,089.48
Drenaje	\$ 67,419,782.75
Pavimentos	\$ 127,904,387.92
Señalamiento	\$ 14,643,272.23
Infraestructuras	\$ 611,654,472.86
Túneles	\$ 168,866,387.36
Promedio:	\$ 1,204,377,392.60

En la misma comparativa se observa que el rubro de infraestructura prácticamente no tiene variación, con un 92 %, que es lo que se buscó al realizar el factor de corrección del costo paramétrico.

TABLA V.30 “COMPARATIVA DEL COSTO PRELIMINAR DEL ANTEPROYECTO”

Partida	Costo Paramétrico Corregido (C2)	Catálogo de Conceptos (C3)	C3/C2
Terracerías	\$ 213,889,089.48	\$ 366,036,159.74	171%
Drenaje	\$ 67,419,782.75	\$ 41,122,135.64	61%
Pavimentos	\$ 127,904,387.92	\$ 171,228,534.23	134%
Señalamiento	\$ 14,643,272.23	\$ 3,894,854.00	27%
Infraestructuras	\$ 611,654,472.86	\$ 565,775,836.06	92%
Túneles	\$ 168,866,387.36	\$ 141,576,681.98	84%
Total:	\$ 1,204,377,392.60	\$ 1,289,634,201.65	107%

Con estos resultados, al hacer el cociente del Costo Paramétrico Corregido “C2” y el costo “C3” de la Tabla V.20 “Catálogo de Conceptos de Trabajo y Cantidades de Obra”, se observa que la diferencia entre ambos valores ya es menor y se encuentra dentro de un rango aceptable (menor al 10 %), por lo que el costo estimado del proyecto es de \$ 1,289,634,201.65 (Un mil doscientos ochenta y

nueve millones seiscientos treinta y cuatro mil doscientos un pesos 65/100 M.N.) a Costo Directo; la moneda expresada es en pesos mexicanos.

Finalmente, con respecto al valor del costo obtenido para el anteproyecto de la autopista objeto del presente estudio, este únicamente se debe considerar como resultado preliminar dado el carácter exploratorio de la investigación.

V.3.3 PROGRAMA DE OBRA.

A la par, e incluso antes que se determine el costo del proyecto, se debe realizar la programación de los procesos productivos, mediante la adecuada selección de las actividades principales, su variación en el tiempo (inicio, fin y duración) y la interacción entre dichas actividades, esto con el fin de identificar las actividades críticas, optimizar recursos y terminar la obra en los tiempos establecidos. Si se cuenta con una adecuada planeación de los trabajos, será posible contar con los elementos para la adecuada toma de decisiones que no repercutan en un posible sobre costo de los trabajos.

Para elaborar el programa de obra, primeramente se deben identificar las actividades principales a realizar así como su tiempo estimado de ejecución. A continuación se debe indicar y ligar la secuencia de dichas actividades, a fin de determinar cual actividad se ejecuta de forma simultánea, cuál es antecesora y cuál es predecesora. Al llegar a este punto, será posible fijar la holgura de dichas actividades, es decir la cantidad de tiempo que puede retrasar una actividad sin afectar el tren de proceso. De esta forma se obtiene la “Ruta Crítica”, que es la secuencia de actividades, cuya holgura total es cero.

El principal fin que se persigue al realizar la programación de obra, es optimizar los recursos, evitar que la mano de obra sufra variaciones, terminar en el tiempo pactado y sobre todo, que las erogaciones no tengan máximos que afecten el flujo de los recursos económicos.

Para ejemplificar este punto, se seleccionan unos conceptos de obra para la construcción de terraplenes y muros de contención de concreto hidráulico reforzado y se elabora el programa de obra respectivo mediante el sistema de Diagrama de Gantt.

Se fija el tiempo inicial de las actividades y una vez hecha la selección y agrupando los conceptos por partidas de obra, se hace la liga entre dichas actividades, asignándoles el tiempo de ejecución con base a los rendimientos propuestos. De esta forma, las actividades posteriores se “trasladan” en el tiempo hasta que se llega a la última actividad, fijándose así la terminación de los trabajos. Analizando la secuencia de las actividades se observa la ruta crítica de los trabajos y se señala comúnmente en color rojo, con el fin de identificarla

Cabe mencionar que al elaborar los programas, estos se encuentran sujetos a la experiencia y criterio personal del ingeniero, por lo que la duración de las actividades puede variar de una apreciación a otra.

Una vez fijados los tiempos, se dibujan mediante barras cuyo tamaño es proporcional a la duración de los trabajos de cada actividad. En la actualidad existen programas de aplicación para equipo de computación, tales como el “Microsoft Project”, “Primavera Project Planner”, etc. que brindan una mejor apreciación y rapidez en la elaboración de los programas de obra.

En la Tabla V.31 “Programa de la Ejecución de los Trabajos” se muestra dichas actividades graficadas mediante el sistema de Diagramas de Gantt, el cual se elaboró en el programa de aplicación para equipo de computación “Opus”.

De este programa, se puede concluir que la actividad crítica en el muro de contención en la cimbra y descimbra del muro; el acero de refuerzo presenta una pequeña holgura y el concreto está ligado a la cimbra del muro. La actividad crítica en el terraplén es el relleno en pateo. Una vez que se determina las actividades críticas, se debe proceder a realizar una planeación de los recursos que intervienen en la misma, tanto en personal, materiales y equipos.

En el programa de obra también se pueden indicar los avances y de esta forma se puede realizar un seguimiento por periodo de tiempo. Si se da un adecuado seguimiento, los programas podrán retroalimentarse y dar los elementos necesarios para una adecuada toma de decisión.

Se debe recordar que este programa es un ejemplo y no debe considerarse como definitivo.

TABLA V.31 “PROGRAMA DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS”

No	Descripción	Feb	Mar	Abr
	CONSTRUCCIÓN DE TERRACERIAS Y MUROS DE CONTENCIÓN			
	CONSTRUCCIÓN DE TERRACERIAS Y MUROS DE CONTENCIÓN			
	MCL MUROS DE CONTENCIÓN			
01	DESPALME DE TERRENO CON UN ESPESOR DE 0.20 M DE ALTURA.			
02	EXCAVACION EN CEPA DE TERRENO SANO TIPO II, DE 0.00 A 2.00 M.			
03	FABRICACION DE PLANTILLA DE CONCRETO SIMPLE			
04	ACARREO EN CAMIÓN DE MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN.			
05	ACERO DE REFUERZO F'Y=4,200 KG./CM2., DEL N°. 3 (3/8").			
06	ACERO DE REFUERZO F'Y=4,200 KG./CM2., DEL N°. 4 (1/2").			
07	CIMBRA Y DESCIMBRA ACABADO APARENTE EN MUROS.			
08	CONCRETO PREMEZCLADO, EN MURO DE CONCRETO, F'C=250 KG./CM2.			
09	IMPERMEABILIZACION SUPERFICIAL DE MURO.			
10	RELLENO CON TEZONTLE 3/4" PARA CONSTRUCCION DE FILTRO.			
11	TUBOS DE PVC DE 3" PARA DREN DE MUROS.			
12	TUBO PERFORADO DE ALBAÑAL DE 6" PARA DREN DE MURO.			
	TRP TERRAPLÉN			
13	RELLENO CON MATERIAL DE BANCO HASTA UNA ALTURA DE 5.00 M.			
14	RELLENO EN PATEO DEL AREA FEDERAL PARA ACCESO AL PREDIO.			
15	RIEGO DE IMPREGNACION PARA SELLO.			

V.3.4 CONTRATOS MÁS USUALES.

Debido a la magnitud y al tamaño de la inversión para la construcción de proyectos carreteros, casi siempre el contratante es el Gobierno, por lo que bajo su responsabilidad puede contratar la realización de dichas obras. Dado que esta parte conlleva una responsabilidad para el contratante y la contratista, es necesario mencionar de forma enunciativa los instrumentos legales que intervienen en la construcción de obra.

Son tres las formas de contratación que están regidas en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas:

- 1) Licitación pública,
- 2) Invitación a cuando menos tres personas, o
- 3) Adjudicación directa.

Al amparo de la misma Ley, los contratos de obras públicas y de servicios relacionados con las mismas podrán ser cualquiera de los siguientes tres tipos:

- 4) Sobre la base de precios unitarios, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total que deba cubrirse al contratista se hará por unidad de obra terminada en un tiempo determinado;
- 5) A precio alzado, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total de los trabajos que deba cubrirse al contratista será fijo por los trabajos terminados y ejecutados en el plazo establecido.

Para la celebración de estos contratos, se deben definir por lo menos cinco actividades principales, y

- 6) Mixtos, cuando contengan una parte de los trabajos sobre la base de precios unitarios y otra, a precio alzado.

Finalmente, con este punto se da por terminado el Capítulo V “Estudio Económico”, dado que se alcanzaron los objetivos previstos al inicio del presente capítulo. Cabe mencionar que pueden existir otros formatos y consideraciones al integrar los análisis de precios unitarios presentados en este capítulo.

A continuación, en el Capítulo VI “Conclusiones”, se muestran los resultados encontrados durante el desarrollo del presente estudio, así como la problemática encontrada y las soluciones propuestas para cada situación en particular.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Las vías de comunicación terrestres que comunican las metrópolis de la Ciudad de México y la de Toluca se encuentran con congestionamiento vial sobre todo en las horas pico por la explosión demográfica que se tiene en la Región Norponiente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, por lo que se requiere de una ruta de comunicación terrestre que reduzca los tiempos de traslado de una región a otra.

Se desarrolla un Anteproyecto de Autopista de Cuatro Carriles dentro del Estado de México que va a comunicar a Toluca con el Municipio de Naucalpan, con la finalidad de que el Aeropuerto de la Capital del Estado de México tenga mayor demanda de transporte de pasajeros y de carga.

El Anteproyecto de Autopista de Cuatro Carriles se desarrolla para que sirva de base en el proceso de una concesión, por lo cual se presentan los parámetros de ubicación y técnicos para que su concesión sea atractiva para los inversionistas interesados en dicho desarrollo.

El Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan, se desarrolla en gabinete, tomando la información existente de otros proyectos y la información Federal que obra en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno del Estado de México.

El Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan se diseñó como vialidad terrestre segura, rápida, cómoda y moderna aplicando las normas vigentes para los desarrollos de la infraestructura vial de la República Mexicana.

Una vez descrito el tema de “Antecedentes” se inicia con la cuestión de elección de ruta el cual se trata en el Capítulo II “Elección de Ruta” es una de las actividades más importantes en la elaboración de un proyecto carretero, puesto que de un buen análisis en esta etapa depende que la ejecución del proyecto y la obra no se vea afectado por imprevisto que impliquen un sobre costo elevado

cuando se tenga que modificar el proyecto, como sucede cuando la ruta pasa por alguna falla geológica, afecta a poblaciones bien establecidas, la topografía del lugar se encuentra muy accidentada, etc. Provocando en ocasiones que el proyecto no se pueda realizar o se tenga que modificar en gran parte el trazo del camino.

La Autopista Toluca–Naucalpan será una vía de comunicación alterna para la transportación de bienes y servicios en la zona norponiente de la ciudad de México, hacia el occidente del Estado de México. Fomentando el dinamismo del desarrollo urbano e industrial así mismo esta vía contribuirá a mejorar el aprovechamiento del aeropuerto de la ciudad de Toluca que en la actualidad, no cuenta con una vía directa que lo comunique con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

En el Capítulo III “Estudios Preliminares” se hace un estudio de gabinete para la realización del Anteproyecto de la Autopista de Cuatro Carriles, y para esto es necesario realizar estudios preliminares básicos para la realización de un anteproyecto carretero como son el estudio geotécnico, hidrológico y de impacto ambiental.

La zona en estudio se localiza dentro de la provincia del eje neovolcánico, formada por cadena montañosa principalmente por rocas ígneas extrusivas.

Atreves del estudio geotécnico es factible el desarrollo del proyecto de la autopista en la ruta seleccionada y se debe tener especial cuidado a la hora de desarrollar el proyecto ejecutivo con los bancos de préstamo que son uno de los costos más importantes de la construcción.

Uno de los elementos que causa mayores problemas a los caminos es el agua, ya que disminuye la resistencia de los suelos, presentándose así fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamientos.

Las obras de drenaje sirven para captar, conducir y alejar del camino el agua que puede causar problemas por lo que se concluye que un buen drenaje es el alma de los caminos. En el estudio hidrológico se determinó que las áreas de aportación en su mayoría son pequeñas y requieren obras de drenaje menores por lo que se

instalan tubos de concreto. También se observa la existencia de arroyos y ríos para los cuales se proyectan obras mayores (puentes)

Por explosión demográfica y por la acción del hombre, la superficie terrestre se ha deteriorado; en consecuencia en cualquier proyecto de infraestructura es necesario hacer un estudio de Impacto Ambiental.

Para estimar si el Anteproyecto de Autopista de Cuatro Carriles Toluca–Naucalpan va a cambiar la zona donde se proyecta, se realizó un estudio general con apego a la información existente de la región donde se proyectó la Autopista Toluca–Naucalpan.

Del estudio se concluye que llevando a cabo las recomendaciones de impacto ambiental no habrá una variación significativa en el ecosistema donde se proyecta la autopista. Los impactos ambientales son de reducidas proporciones, el más significativo es el desmonte y fragmentación de la zona central del Sistema Ambiental Regional (SAR), y aún este afecta poco el Área Nacional Protegida (ANP) involucrada ya que esta se encuentra muy deteriorada por la acción del hombre por lo anterior puede afirmarse que aún considerando los impactos ambientales enunciados así como los beneficios ambientales y económicos, el anteproyecto propuesto es conveniente.

Por lo anterior se hace énfasis que en la elaboración del proyecto ejecutivo se deberá hacer un estudio más a detalle el cual podrá tomar como antecedentes el presente trabajo.

Los trabajos del Capítulo IV “Anteproyecto” iniciaron con el diseño del trazo vertical y horizontal de la ruta elegida para la Autopista Toluca–Naucalpan. Los resultados de este primer proceso son las características geométricas de importancia en el costo final del camino. Estas características se definieron a través de un proceso iterativo, con base a dos elementos: las características correspondientes al tipo del camino, definidas por especificaciones y normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), y la optimización del trazo al minimizar los volúmenes de movimientos de tierra (con topografía obtenida de cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)). Para el cálculo

de movimientos de tierra el método empleado fue el análisis de la curva masa, y la herramienta empleada fue la aplicación de programa "SISCAR" (Diseñado para MS-DOS que corresponden a las siglas de MicroSoft Disk Operating System. Sistema operativo de disco de Microsoft). El desarrollo de un buen diseño requiere del dominio de la normatividad aplicable y las habilidades del ingeniero para proponer la solución óptima de perfiles de la Autopista.

En la sección de pavimentos se propuso un pavimento flexible para el Anteproyecto de Autopista, porque es la solución más generalizada debido al bajo costo en su inversión inicial. Existen varios métodos para diseñar un pavimento flexible, en este trabajo se aplicó el propuesto por el Instituto Norteamericano del Asfalto. Por tratarse de un Anteproyecto no se cuenta con información de campo, por lo cual el cálculo se basó en las recomendaciones de este método para las características para una vida útil de 20 años. Con estas consideraciones se propuso un pavimento compuesto por una carpeta de concreto asfáltico de 10 cm una base hidráulica de 20 cm y una sub-base hidráulica de 20 cm.

La información estudiada en el Capítulo III "Estudios Preliminares", con relación a las características hidráulicas de la ruta elegida, define la necesidad de emplear obras de drenaje menor: losas, tubos y bóvedas. El tramo con topografía montañosa del Anteproyecto presenta barrancas de profundidad mayor a siete metros y en muchos de los puntos la pendiente transversal al trazo obliga el uso preferente de tubos y bóvedas. En la zona montañosa del Anteproyecto ubicada en el tramo km 10+000 al km 32+800, es común la necesidad de construir alcantarillas a profundidades mayores a los ocho metros debajo de la rasante de la autopista. Aunque las obras de drenaje predominantes son tubos y bóvedas, en algunos tramos se puede hacer uso de losas, preferentemente en los tramos cercanos a las áreas pobladas como ocurre en los tramos km 0+000 al km 5+000 y en el tramo km 30+000 al km 33+670.

Con relación a las obras de drenaje mayor (puentes) las condiciones de la ruta elegida requiere de doce estructuras con claro en el rango de 59 m a 270 m. De acuerdo a cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el área del Anteproyecto, los suelos están constituidos principalmente por productos

de alteración de andesitas y basaltos con suficiente capacidad de carga para construir una cimentación a base de zapatas aisladas. La profundidad máxima de los accidentes topográficos observados es de 53 m (para el puente localizado en el km 30+400) y el rango más frecuente va de 15 m a 20 m. Estos rangos de claro y de altura de pilas son comunes en proyectos carreteros y para resolverlos se aplica el uso de superestructuras de trabes preesforzadas de diseño tipo y no requiere la consideración de puentes de diseño especial. En el caso de los Pasos Inferior Vehicular (PIV) se requiere de ocho estructuras y para los Pasos Superior Vehicular (PSV) se requiere de seis estructuras. Estas dos categorías de estructuras con diseño tipo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En la ruta elegida se detectó la necesidad de tres entronques a desnivel para comunicar las zonas urbanas aledañas. Dos de ellos ubicados en los extremos de la Autopista: en Xonacatlán km 0+000 y en Naucalpan km 33+100. El tercero se requiere para dar acceso a la población de Santa Ana en el km 5+700. En todos los casos la solución al trazo geométrico así como los puentes necesarios (entronques a desnivel) se resuelven adecuando proyectos existentes a estas zonas.

En la ruta elegida se detectó la necesidad de incluir dos túneles para dar continuidad y reducir la longitud de la Autopista Toluca–Naucalpan. Estas estructuras se ubican en el km 29+880 con longitud de 130 m y en el km 30+720 con una longitud de 470 m. En este trabajo se presenta una sección típica para dar espacio a una Autopista A4 de 21 m de corona. Sin embargo un proyecto de túneles requiere de exploraciones de campo especializadas; así mismo, para el momento en el cual se realizó este trabajo la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) está revisando el capítulo de Túneles de sus especificaciones de diseño. Por los motivos expuestos la revisión de túneles se hizo basado en una geometría por lo cual es probable se omita de manera involuntaria alguna consideración que defina un Anteproyecto de este tipo.

Finalmente en el Anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan se incluyó un análisis de las necesidades de señalización vertical y señalización horizontal. Las plantas de señalamientos se realizaron de acuerdo a las Normas del Manual de 1986 de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT).

Tomando en cuenta los temas expuestos anteriormente y en base a consideraciones de gabinete se concluye que un proyecto ejecutivo posterior deberá contener al menos las características y las estructuras consideradas. Así mismo, en el trabajo se generaron catálogos de conceptos y cantidades de obra para dar magnitud a un proyecto definitivo posterior.

Con objeto de obtener la valorización del costo del proyecto, se realiza una estimación del costo mediante el análisis y cálculo de precios unitarios a las cantidades de obra obtenidas en el Capítulo IV “Anteproyecto” y se valida con una comparación por costos paramétricos de proyectos equivalentes ya ejecutados.

Para este proyecto, se agrupan los conceptos en cinco partidas de trabajo: Terracerías, Obras de Drenaje, Pavimentos, Señalamiento, Infraestructura y Túneles. La valorización por el sistema de precios unitarios es por un total de \$ 1,289,634,201.65 (Un mil doscientos ochenta y nueve millones seiscientos treinta y cuatro mil doscientos un pesos 65/100 M.N.) en pesos mexicanos.

Al analizar el comportamiento de las partidas, se observa que la infraestructura y los túneles tienen una participación en conjunto del 55 % del presupuesto.

Con el fin de validar este monto estimado de los trabajos, se calculan los costos paramétricos de dos proyectos ya realizados que sean equivalentes. Se realizó un primer cálculo que dio como resultado un importe de \$ 849,305,492.11 (Ochocientos cuarenta y nueve millones trescientos cinco mil cuatrocientos noventa y dos pesos 11/100 M.N.) en pesos mexicanos. Este valor se comparó con el obtenido por el sistema de precios unitarios y se observó una diferencia significativa en terracerías, infraestructura y túneles. Debido a la importancia de estas partidas en el tramo de la Autopista Toluca–Naucalpan, se hace una adecuación, esto es, considerar únicamente el proyecto que tiene mayor participación de infraestructura y túneles para obtener un nuevo costo paramétrico que sea comparable con el proyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan.

De esta adecuación, se obtiene un resultado por \$ 1,204,377,392.60 (Un millón doscientos cuatro millones trescientos setenta y siete mil trescientos noventa y dos pesos 60/100 M.N.), con un costo estimado por unidad de longitud de 35,770,044.33 \$/km.

Comparando el valor obtenido mediante el análisis y cálculo de precios unitarios con el obtenido mediante una adecuación de costos paramétricos, se observa que entre ambos existe una diferencia aceptable del 7 %, por lo que nuestras hipótesis para realizar el presupuesto son válidas dentro del rango establecido.

Por lo anterior, se considera que el presupuesto obtenido mediante el análisis y cálculo de precios unitarios es económicamente conveniente.

El costo estimado definitivo por unidad de longitud es 38,302,174.09 \$/km.

Del estudio económico, se concluye:

- 1) La estimación de los costos paramétricos es aceptable como una primer valorización del anteproyecto, siempre y cuando los proyectos tengan características semejantes y sean comparables.
- 2) Para realizar el calculo por costos paramétricos, es conveniente contar con el mayor numero de datos estadísticos o proyectos realizados.
- 3) La estimación de los costos por medio del análisis y cálculo de precios unitarios por unidad de obra para la Autopista Toluca–Naucalpan dio como resultado un valor total de \$ 1,289,634,201.65 en pesos mexicanos.
- 4) En el anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan, la infraestructura y túneles tienen una participación relevante.
- 5) Finalmente, el valor del costo obtenido para la construcción del anteproyecto de la Autopista Toluca–Naucalpan se debe considerar como un resultado preliminar dado el carácter exploratorio de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Estructuración de Vías Terrestres.
Fernando Olivera Bustamante.
Compañía Editorial Continental.
México. 1998

40 años del Instituto de Ingeniería 1956 a 1996
Roberto Llanas Fernández
Cecilia Concepción Mandujano Gordillo
Talleres de Sigma Servicios Editoriales S.C.
México. 1996

Manual del Ingeniero, por la Academia Hutte de Berlín, Tomo III
Gustavo Gili S.A.
España. 1980

Manual Geométrico de Carreteras
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
México. 2001

Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico
Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
México. 1984

Mecánica de Suelos. Tomo II,
Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso,
Editorial Limusa,
México. 1984.

Fundamentos de la Geología Física.
Leet y Judson,
Editorial Limusa,
México. 1982.

La Geotecnia en la Planeación, Proyecto y Construcción de Carreteras (Tesis)
Luis Ramos Jiménez y Enrique Ramos Jiménez
UNAM, Escuela de Estudios Superiores Aragón
Mexico. 1994

Manual del Ingeniero Civil. Tomo III.
S. Merritt Frederick,
Editorial Mc Graw Hill,
México. 1993.

Impacto Ambiental.

Vázquez González Alba; Valdez Enrique César.

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
México. 1994.

Apuntes de Hidráulica II. (A la fecha convertido en libro)

Sotelo Ávila Gilberto

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
México. 1993

Evolución de las Cimentaciones de Puentes Construidos en México

Fundación ICA, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos

Universidad Autónoma del Estado de México

México. 2001

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Carreteras, Ferrocarriles y
Aeropistas

Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo

Editorial LIMUSA

México. 1977

Proyección de un Camino a través del programa SISCAR (Memoria de
desempeño profesional)

Enrique López Gonzales

UNAM, Facultad de Estudios Superiores Acatlán

México 2006

Normas de Proyecto de Nuevos Puentes

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

México. 2001

Costo y Tiempo en Edificación

Carlos Suárez Salazar

Limusa

México. 1996

Costos de Construcción Pesada, Volumen 2

Leopoldo Varela Sánchez

Bimsa

México, 2002

Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas

Diario Oficial de la Federación

México. 2002

Catálogo de Costos Directos de Carreteras 2008
Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
México, 2008

FUENTES DE INFORMACIÓN EN INTERNET

http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia

Enciclopedia de los Municipios de México

<http://www.cmic.org/cmhc/boletin/15oct03/111preguntas/111-21-38.htm>

Página de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC)

<http://www.construaprende.com/>

Construaprende.com: Sitio en línea para consulta y cursos de Ingeniería Civil se consultó la tesis “Traza y construcción de carreteras”

www.canalconstrucción.com

www.geocities.com

www.inegi.org.mx

Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

<http://www.prommsa.net/hub.cfm/prefabricados/index.htm>

<http://www.compranet.gob.mx/>

Sistema electrónico de contrataciones gubernamentales