



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PRACTICAS DE DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE  
OBRAS CARRETERAS EN MÉXICO"

Caso de estudio: Carretera México – Tuxpan, tramo El Tejocotal.

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTAN:

**JOSÉ JUAN LÓPEZ HERNÁNDEZ  
ISRAEL BADILLO RAMÍREZ**

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. LUIS FERNANDO ZARATE Y ROCHA

MÉXICO, D.F.

2006





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Agradecimientos de José Juan López Hernández.

A mis padres:

HUMBERTO MERCED LÓPEZ NAVARRO,  
ANTONIA HERNÁNDEZ MUNDO.

Con cariño, amor, admiración, respeto y agradecimiento, por todo el apoyo y amor incondicional recibido de su parte, sin importar lo buen o mal hijo que haya sido, pues sin ellos no fuera lo que soy ahora, ni tampoco sería tan feliz. Un tesoro invaluable para siempre y por siempre.

A mi hermana.

MARÍA DEL SOCORRO LÓPEZ HERNÁNDEZ.

Con cariño, por sus puntos de vista, apoyo y consejos; por los buenos y malos momentos.

A la memoria de mi abuela.

MARÍA DEL SOCORRO MUNDO MENDOZA.

Por ser como una segunda Mamá.

A la memoria de mi abuela.

ANCELMA NAVARRO WENCES.

Por su amor para mi persona, en el corto tiempo que la conocí.

Agradezco ampliamente a mis amigos y colegas:

ING. EFRÉN MARCELINO GUTIERREZ LÓPEZ.

ING. ÁNGEL ÁVILA MENDOZA.

ING. ALEJANDRO CESAR ÁNGEL DUPUY PEÑA.

FERNANDO HERNÁNDEZ DORANTES.

ISRAEL BADILLORAMÍREZ.

Por su apoyo y comprensión y, por todas las juergas que tuvimos.

A mis amigos de toda la vida:

MARIO EDGAR HERNÁNDEZ GUEVARA.

RICARDO CONDE ROBREDO.

Por su amistad incondicional hacia mi persona.

A mi director de tesis y su colaborador.

ING. LUIS FERNANDO ZARATE Y ROCHA.

ING. RODRIGO MORALES.

A mis maestros e instituciones de estudio, en especial a la “UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO”,. La mejor.

Agradecimientos de Israel Badillo Ramírez.

A mis padres:

Con cariño, amor, admiración, respeto y agradecimiento, por todo el apoyo y amor incondicional recibido de su parte, pues sin ellos no fuera lo que soy ahora, ni tampoco estaría en esta situación tan especial en mi vida. Un tesoro invaluable para siempre y por siempre en agradecimiento a sus esfuerzos.

CAYETANO BADILLO RIVERA.  
AUDELIA RAMÍREZ ESPINO.

A mis hermanos:

Por su apoyo incondicional en las malas y buenas, así como sus consejos.

SILVIA BADILLO RAMÍREZ.  
NOE BADILLO RAMÍREZ.  
AIDÉ BADILLO RAMÍREZ.  
SAÚL BADILLO RAMÍREZ.  
CRISTÓBAL BADILLO RAMÍREZ.

Agradezco ampliamente a mis amigos y colegas:

ING. EFRÉN MARCELINO GUTIERREZ LÓPEZ.  
ING. AMELIA CASTO LAGUNA.  
ING. JOSE RAÚL SERVOT BENÍTEZ.  
ING. ÁNGEL ÁVILA MENDOZA.  
JOSÉ JUAN LÓPEZ HERNÁNDEZ.

Por su valiosa orientación y apoyo en los logros obtenidos en esta excursión de mi vida.

A mi director de tesis y su colaborador:

ING. LUIS FERNANDO ZARATE ROCHA.  
ING. RODRIGO MORALES.

A la “UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO”. Y todas la Instituciones que incursioné para obtener este logro.

## ÍNDICE.

<b>ÍNDICE.</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCION.</b> .....	<b>7</b>
<b>I. GENERALIDADES DE LA INGENIERÍA TEÓRICA E INGENIERÍA EXPERIMENTAL.</b> .....	<b>11</b>
I.1. Definiciones y antecedentes. ....	11
I.2. Desarrollo de la Ingeniería Teórica y Experimental en México. ....	14
I.3. Campos de acción de la Ingeniería Civil. ....	17
I.4. Modelos Experimentales. (Ejemplo de una presa) ....	20
I.5. Ingeniería carretera en México. ....	23
<b>II. GENERALIDADES DE LAS OBRAS CARRETERAS.</b> .....	<b>31</b>
II.1. El camino. ....	31
II.2. Fases de un camino. ....	32
II.3. Clasificación de las carreteras. ....	34
II.4. Elementos de configuración geométrica de un camino. ....	36
II.5. Pavimentos flexibles. ....	60
II.6. Pavimentos rígidos. ....	65
<b>III. LA PLANEACIÓN.</b> .....	<b>68</b>
III.1. Niveles de planeación. ....	69
III.2. Metodología en la planeación más común. ....	72
III.3. Planeación de una carretera. ....	75
III.4. Costos de carreteras. ....	79
III.5. Volumen y tipo de tránsito. ....	81
III.6. Consideraciones sobre el medio ambiente en la planeación de las obras carreteras. ....	87
III.7. Impactos que ocasionan las infraestructuras carreteras. ....	91
III.8. Proceso actual de planeación. ....	92
<b>IV. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.</b> .....	<b>101</b>
IV.1. Clasificación de suelos y rocas. ....	105
IV.2. Pruebas de laboratorio. ....	116
<b>V. DETERMINACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO A PARTIR DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.</b> .....	<b>126</b>
V.1. Puntos importantes en campo y laboratorio para la planeación y desarrollo del proyecto, previo a la construcción de la obra carretera. ....	126
V.2. Casos de experiencias de campo y experimentales con obras carreteras en servicio; como base del proyecto y de la construcción. ....	133

<b>VI. CONCEPTOS PARA EL DISEÑO.....</b>	<b>169</b>
VI.1. Estándar de Proyecto.....	169
VI.2. Análisis estadístico sobre la ocurrencia de accidentes en curvas de diferente radio.....	174
VI.3. Proyecto geométrico.....	180
<b>VII. PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OBRA.....</b>	<b>201</b>
VII.1. Descripción general del proyecto. ....	202
VII.2. Descripción de las actividades. ....	203
VII.3. Descripción de las obras. ....	204
VII.4. Ejecución del proyecto. ....	205
VII.5. Métodos y normas corporativas. ....	211
VII.6. Control de calidad.....	226
VII.7. Cierre de proyecto. ....	227
<b>VIII. PROCESO CONSTRUCTIVO.....</b>	<b>229</b>
VIII.1. Generalidades. ....	229
VIII.2. Preoperativos. ....	229
VIII.3. Construcción de terracerías y pavimentos. ....	231
VIII.4. Obras de drenaje menor.....	235
Agregados para concreto hidráulico para obras de drenaje, bóvedas, cajas, muros de contención, obras complementarias y pavimentación.....	235
VIII.5. Construcción de la capa de base. ....	237
VIII:6. Obras complementarias y tratamientos. ....	239
Colocación del cercado.....	239
VIII.7. Construcción para pasos inferiores vehiculares. ....	249
VIII.8. Señalamiento para la protección de las obras.....	250
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>252</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>255</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>284</b>

## **INTRODUCCION.**

En nuestro país las carreteras han sido durante décadas el principal medio de desplazamiento y la vía principal para distribuir la producción nacional. Al conectar a los diversos pueblos y comunidades con las grandes ciudades, y al fortalecer la integración del país, las carreteras han sido detonantes de las diversas actividades que se desarrollan en toda la Republica.

Hoy, ante el mundo cada vez más integrado, que intercambia más bienes y servicios, y que demanda la integración de todas las regiones al dinamismo económico, la importancia de las carreteras se ha incrementado, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía nacional y, también, el desarrollo social. Por ello se han definido e implementado estrategias para impulsar la modernización tanto de los ejes troncales carreteros de importancia nacional, como la realización de nuevas obras con un impacto regional y nacional que benefician directamente a los centros sociales y económicos del país.

Estas estrategias, desde luego, forma parte de una visión integral de desarrollo para nuestro sistema de transportes. Una estrategia que alienta la inversión de los particulares en los puertos, aeropuertos y ferrocarriles, permitiendo al estado liberar recursos para avanzar en obras prioritarias que tienen un mayor impacto social, como nuestras carreteras.

Como parte del Plan Nacional de Desarrollo y del Programa Nacional de Comunicaciones y Transportes, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes ha impulsado un conjunto de acciones para ampliar y modernizar la cobertura de la infraestructura carretera, apoyando al desarrollo nacional y fortaleciendo la integración de zonas de producción y consumo.

Así, el Sistema Nacional de Carreteras sigue consolidándose como el principal medio para el desplazamiento de personas y bienes a través de todo el país, constituyéndose además como el instrumento primordial para su integración social, económica y cultural. La estadística del transporte demuestra la importante participación del sistema carretero troncal, en la agilización de las cadenas de producción y distribución de mercancías en el territorio nacional, así como en la atención de las actividades de exportación y del turismo. Por su parte, la red de carreteras alimentadoras permite completar las cadenas e integrar a las localidades rurales, proporcionando su desarrollo.

Para apoyar y expandir la movilización de personas y mercancías a lo largo de todo el territorio nacional, el programa carretero se centra en la modernización y el mantenimiento de carreteras, otorgando prioridad a la red básica nacional y a la integración de los 10 ejes troncales principales con carreteras de altas

especificaciones técnicas, dadas por el empleo de buena ingeniería elemental y especializada. Al otorgar esta prioridad, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes busca ofrecer al público caminos más modernos y más seguros, que permitan disminuir los tiempos de recorrido, los costos del transporte y la incidencia de accidentes carreteros.

Predecir el futuro desarrollo de un país no es tarea fácil. A pesar de ello, dado el papel y las características del sistema nacional de carreteras es seguro pensar que los 10 principales ejes troncales seguirán constituyendo la columna vertebral del sistema de transporte carretero de México y que en el futuro será necesario continuar la labor de modernización de estos corredores para que ofrezcan un sistema carretero seguro, eficiente y bien articulado al público usuario.

Por ello, la estrategia de otorgar una alta prioridad a los diez ejes troncales y a proyectos necesarios para modernizarlos y expandir su cobertura territorial con carreteras de altas especificaciones debe continuar durante los siguientes años, sin que interfiera de manera negativa el elemento político del país a los cambios de gobierno.

La interrelación entre el sistema carretero y el desarrollo regional también debe enfatizarse para evitarse la concentración o la dispersión extremas de la población y las actividades económicas. En la medida en que la estructura carretera del país crezca y se modernice, la economía del mismo se afianzará de mejor manera y se fomentará el desarrollo general de las varias poblaciones del territorio nacional, este desarrollo incluye el empleo, la economía, la educación, la cultura, el bienestar social en general, etc.

En ese contexto, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha identificado un conjunto de proyectos viables que podrán ser desarrollados durante el período 2001-2010; Algunos de estos proyectos se encuentran concluidos o en etapa de construcción en estos momentos, sin embargo hay que esperar que dichos planes se cumplan, dado el carácter del ámbito político en el que se encuentra el país en la antesala del cambio de gobierno para el año 2007.

Además del plan carretero para el año 2010, existe otro plan que abarcara un periodo del año 2011 al 2020. Evidentemente, la naturaleza específica de dicho programa carretero variará dependiendo de las condiciones y prioridades económicas, sociales y políticas que el país se fije en estas primeras décadas del tercer milenio.

Como consenso de lo anterior se tiene que la infraestructura carretera constituye uno de los principales motores para el crecimiento y desarrollo sano y sostenido de un país. Su sola existencia facilita, en gran medida, que la cobertura y la calidad de los servicios básicos como la educación y la salud sean mejoradas sustancialmente. También son el sustento de numerosas cadenas de producción y distribución de mercancías y servicios, impulsa la competitividad de las industrias, reduce costos de producción y distribución, genera economías de escala y apoya

los sectores generadoras de divisas, provocando no tan solo derrama económica, sino a su vez generación de empleos.

En este contexto, las vías terrestres ocupan un lugar particularmente destacado, pues su existencia favorece la integración de la cultura y la identidad nacional y de ella depende, además, la posibilidad de que se lleven a cabo otras obras de gran impacto social.

Sin embargo, sin importar las situaciones por las que atraviere el país en el futuro, es importante desarrollar una ingeniería más especializada y moderna que nos permita realizar las obras cada vez a un mejor tiempo, con mayor funcionalidad y a menores costos, así como carreteras más seguras, que permitan un excelente desarrollo no tan sólo regional, sino también a nivel nacional.

Con el fin de implementar lo anterior es de primordial importancia fijar parámetros de calidad cada vez mejores, tomando en cuenta, claro esta, los mejores antecedentes técnicos existentes. Como punto primordial en las obras de ingeniería se encuentra, una buena planeación general del proyecto a realizarse, con el fin de evitar errores, perdidas de tiempo, perdidas de dinero y aún más importante, posibles pérdidas humanas por errores en la ingeniería implementada.

La ingeniería de caminos se encuentra en franca evolución continua. Aun cuando muchas de las técnicas utilizadas son las mismas en la actualidad que las que se usaron en tiempos pasados, sin embargo, hay técnicas que han evolucionado drásticamente como es el caso del diseño de nuevos productos para los pavimentos y nuevas técnicas de colocación. En la actualidad existen evoluciones importantes como son los Intelligent Vehicle Highway Systems (IVHS)(Sistemas de Caminos para Vehículos Inteligentes) y los Paviment Management Systems (PMS) (Sistemas de Administración de Pavimentos), Sistemas electrónicos de seguridad y vigilancia en carreteras, etc.

Es importante sin embargo, considerar de manera importante los principios fundamentales de la ingeniería de caminos y sus aplicaciones prácticas basadas en una experiencia de largo tiempo, hayan evolucionado o no. Ante ello es importante tomar de manera muy seria todas las etapas de planeación y construcción del proyecto, sin dejar fuera la importancia de la experimentación e los procesos de la ingeniería en donde intervengan, ya que gracias a ello, la planeación de los proyectos, el control de las obras y la seguridad y buen fin de las mismas se puede asegurar.

De ahí que a lo largo del tiempo, la ingeniería se encuentra ligada y fundamentada en la experimentación, la cual ha dado frutos al ser un detonante importante en la evolución de la Ingeniería en general.

Con la implementación de todas las bases de la ingeniería se ha podido evolucionar, el caso de la Ingeniería Civil, no es la excepción, ya que día con día la Ingeniería Civil ha demostrado una gran capacidad de adaptación y evolución a

las necesidades de la humanidad; en nuestro país funciona como uno de los detonantes económicos más importantes, por ello nuestra ingeniería no puede quedar atrás, en la globalización mundial, y ha demostrado dicha evolución al satisfacer las necesidades de México de manera adecuada a los tiempos en que vivimos.

En lo personal creemos que la Ingeniería Civil en México es de gran calidad y que su evolución seguirá tan vertiginosa como hasta ahora lo ha sido, siendo un orgullo para México y más aún a los que forman parte de esta bella disciplina como Ingenieros. Tocando a las nuevas generaciones continuar con el empuje que esta disciplina a logrado y necesita, para seguir siendo una disciplina con excelente calidad, no tan sólo en México, sino también a nivel mundial.

Cerramos esta introducción, deseando que realmente existan las condiciones necesarias para que los ingenieros tengan los medios para desarrollarse adecuadamente y cumplir con las necesidades de desarrollo que la Ingeniería de nuestro país (México) requiere y exige.

# I. GENERALIDADES DE LA INGENIERÍA TEÓRICA E INGENIERÍA EXPERIMENTAL.

## I.1. Definiciones y antecedentes.

Como punto de partida en el desarrollo de la exposición gráfica y escrita sobre la función de la ingeniería experimental en las vías de comunicación, tomaremos la definición de Ingeniería y de las ramas en que ésta se divide:

### INGENIERIA

ES EL USO RACIONAL QUE EL HOMBRE HACE DE LOS ELEMENTOS DE LA NATURALEZA, PARA REALIZAR UNA OBRA POR MEDIO DE SU EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTOS TEORICOS, ASI COMO DE SU INGENIO.

### EXPERIMENTAL

INVESTIGA O VERIFICA A TRAVES DE PRUEBAS FISICAS, LO QUE SE DESCONOCE, SE SUPONE O SE CALCULA, PARA PROYECTAR Y REALIZAR UNA OBRA.

### TEORICA

PROYECTA, CALCULA Y REALIZA UNA OBRA DENTRO DE UN PROCESO BASADO EN LEYES FISICO-MATEMATICAS.

Cuadro No. I.1.

Estas tres definiciones son de carácter general y comprenden todas las ramas de la Ingeniería (Civil, Militar, Mecánica, Eléctrica, etc.).

Como lo expresa la definición de Ingeniería, el hombre hace uso de los elementos de la naturaleza, ya sea tomándolos en un estado original o después de haberlos sujetado a diversos procesos de elaboración o transformación, con la finalidad de realizar con ellos una obra, valiéndose de los elementos: su experiencia y sus conocimientos teóricos.

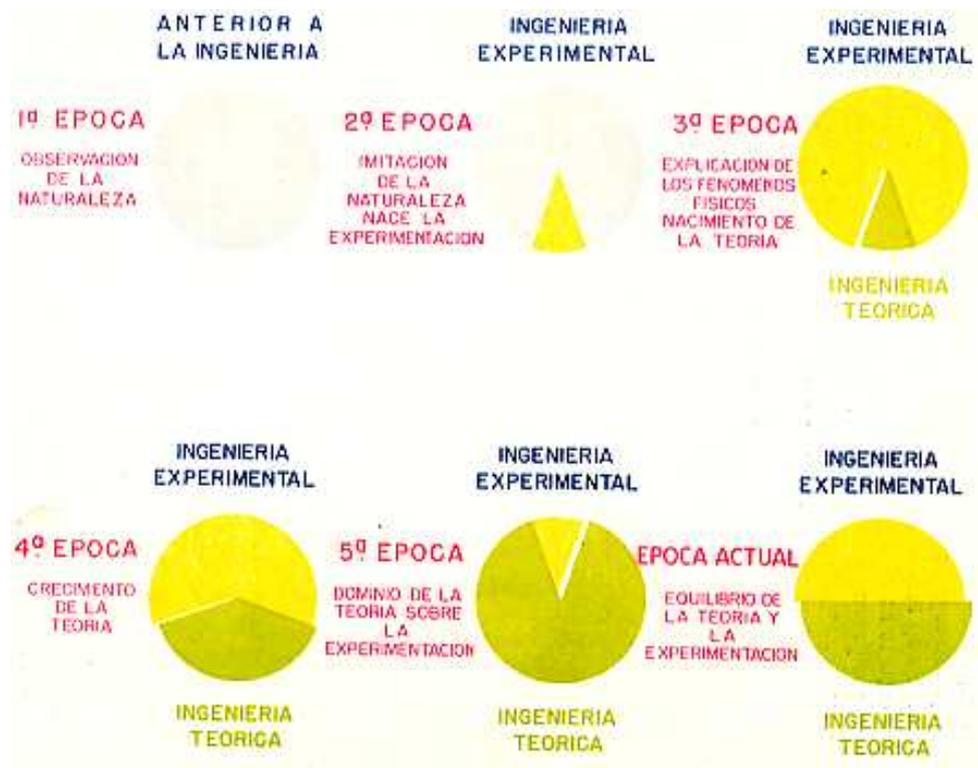


Figura No. I.1

La primera época corresponde a la del hombre primitivo, el cual vivió en forma semejante a los animales salvajes, alimentándose con lo que la naturaleza espontáneamente le ofrecía, y protegiéndose al abrigo de los árboles o de las cavernas. En esta época, el espíritu creador del hombre no había aparecido; contempló la naturaleza y la aprovechó para su subsistencia sin realizar una obra propia.

La siguiente época es la que corresponde al nacimiento de la Ingeniería en su más elemental esencia. En ella, el hombre empieza a concebir sus primeras obras imitando a la naturaleza, como resultado de la observación y conocimientos que de la misma ha tenido, siendo este por lo tanto, el principio de la Ingeniería Experimental.

Más tarde, con la experiencia adquirida por el hombre en sus primeras obras y de la observación continua y repetida de los fenómenos físicos, buscó o descubrió, dada su capacidad mental, las causas o leyes que regían aquellos fenómenos, dando con esto nacimiento a la teoría.

El ensanchamiento de los conocimientos humanos a través de los siglos, tuvieron como consecuencia natural el crecimiento de la teoría alimentada por la observación y comprobación de las leyes físicas que rigen los fenómenos naturales y el comportamiento de las obras ya realizadas.

El crecimiento de la teoría en los últimos tiempos adquirió grandes proporciones. El desarrollo de las matemáticas y de la física ha tenido como consecuencia el enorme desarrollo de la teoría, a un grado tal que hizo casi desaparecer la experimentación como punto de partida de toda obra. Esta quedaba reducida a simples coeficientes de trabajo, exponentes experimentales, etc., que más que valores cercanos a la realidad, se concretaban a meras suposiciones.

La Ingeniería Experimental, representa la experiencia adquirida por el hombre en el éxito o en el fracaso de sus propias obras. Sin embargo, ni el éxito real o aparente, ni el fracaso parcial o absoluto, podían asegurar, en el mayor número de los casos, que en el futuro el error se corrigiera plenamente. Después de un fracaso por defecto en los cálculos o previsiones, que tiene como consecuencia la pérdida parcial o total de una obra, la tendencia natural en el Ingeniero fue la de asegurar su estabilidad al repetirla, y esto lo llevó al exceso de aumentar desproporcionadamente los coeficientes de seguridad o las previsiones, asegurando el éxito estructural a expensas de un error económico.

La imposibilidad, en el campo económico, de llevar a cabo una repetición de la misma obra para poder realizar una experimentación extensa sobre ella, dio origen a la experimentación en el elemento o en el modelo; es decir, la investigación y el ensayo en el laboratorio con costos muy reducidos, que permiten la repetición de la experiencia hasta llegar a un justo conocimiento del fenómeno que pueda asegurar que la obra por construir sea estable, funcione en forma adecuada y sea económica, cayendo en el postulado de Ingeniería que reza "cualquier obra debe ser confiable, funcional y barata". Esto es lo que corresponde a la Ingeniería Experimental moderna. Su crecimiento no debe desde luego llevarse a la exageración, sino hasta un equilibrio justo con la teoría. La Ingeniería Teórica y la Ingeniería Experimental deben estar íntimamente ligadas, siendo la una consecuencia o comprobación de la otra.

La ingeniería experimental, tal como se define en el cuadro No. I.1, se refiere al concepto que se tiene de la Ingeniería Experimental moderna y lo que fue en el pasado.

El crecimiento y la necesidad de una mejor calidad de vida de la población, hace imperante innovar y crear nueva infraestructura urbana, tales como: complejos habitacionales, educativos, industriales, comerciales y edificaciones para atender la salud de la población, etc. Así como también la infraestructura del transporte, seguridad y recreación. Todo esto en armonía con la preservación del medio ambiente. Siendo la Ingeniería Civil la que está directamente involucrada en solventar las necesidades apuntadas anteriormente. Consciente de la problemática, y aunado a esto, los pocos profesionales identificados con la sensibilidad social, con conocimiento de la problemática en la planeación, diseño, ejecución y control en las diferentes obras civiles.

## **I.2. Desarrollo de la Ingeniería Teórica y Experimental en México.**

En el México, el desarrollo tecnológico de la ingeniería ha estado vinculado estrechamente al entorno macroeconómico y al desarrollo social alcanzado, por ello dada la temática de este capítulo, se hace necesario hacer un esbozo histórico respecto a la evolución de este desarrollo a través de sus institutos e instituciones.

El seminario de Minería es el asiento del primer instituto de Investigación científica del continente y sus egresados con el título de facultativos de minas obtienen el privilegio, a partir de 1797, de ser aceptados en el resto de América, en Filipinas y en toda Europa. Nuestro país se convierte entonces en el principal exportador de conocimientos técnicos y científicos del continente. En aquella época, México poseía la vicepresidencia de la Asociación Mundial de Minería.

En 1803 visita nuestro país el sabio Alexander Von Humbolt y al conocer el seminario lo conceptúa entre las instituciones de mayor valía en el mundo científico. Hace del seminario su centro de trabajo y le dedica la obra "Pasigrafía Geológica", misma que aparece como apéndice en la segunda parte de la Orictognosia de Don Andrés Manuel del Río.

En 1808 se instituyen en el Seminario, junto con la primera Fundición de Artillería del país, los cursos que permiten complementar la educación de los colegiales para formarlos, como oficiales artilleros, o como ingenieros militares.

El seminario, como centro de ideas avanzadas, produce una pléyade de jóvenes que al inicio de la gesta de independencia se unen a las fuerzas de Hidalgo. Entre ellos contamos a Casimiro Chowell, a Ramón Fabie, venido desde Manila a estudiar en el Seminario, a Rafael Dávalos, y a Vicente Valencia, todos ellos sacrificados en Guanajuato en 1810, y a Mariano Ximenez, director de artillería insurgente, fusilado junto con Hidalgo en Chihuahua en 1811.

En 1811, el Real Seminario de Minería pasa a ocupar el Palacio de Minería, bello edificio neoclásico, cuya construcción se termina en el año de 1813.

A partir de 1825, los ingenieros mexicanos egresados del que pasa a llamarse Colegio de Minería, inician el establecimiento de la frontera septentrional del país, comenzando sus trabajos sobre el río Sabina, en la Texas mexicana, colindante con la Louisiana ya norteamericana.

Al clausurarse la Universidad en 1833, se crea el Establecimiento de Ciencias Físicas y Matemáticas, cuyo núcleo es el Colegio de Minería. En esos días, el director del Colegio es simultáneamente el director del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, más tarde la dirección del Colegio la asume el propio Ministro de Guerra. En 1843 se ofrecen en este Colegio las carreras de Agrimensor, Ensayador de Metales, Apartador de Oro y Plata, Geógrafo y por primera vez con esta denominación, de Ingeniero de Minas.

Al caer la Ciudad de México en poder del invasor americano, el Palacio de Minería es ocupado por este y los cursos se suspenden.

En 1850 se establecen las materias conducentes al estudio de la carrera de Agricultura. Por esta época aún profesor del Colegio de minería, se debe un descubrimiento curioso; Don José Manuel Herrera, catedrático de Química, inventa, independientemente de Daguerre la fotografía. Por este hecho, la Universidad le otorga el grado de Doctor en Ciencias.

En 1910 ante el impulso de Justo Sierra se crea la Universidad Nacional siendo parte integral de esta la Escuela Nacional de Ingenieros, la que dos décadas más adelante se transforma en Escuela Nacional de Ingeniería.

Algunos hechos trascendentes en el México contemporáneo han contribuido al desarrollo de la ingeniería mexicana; la fundación por el Presidente Calles de las Comisiones Nacionales de Caminos y de Irrigación, y más tarde, la nacionalización del petróleo por el Presidente Cárdenas.

La creación de una división de investigación (el actual Instituto de Ingeniería) y de una de estudios superiores en la Escuela se logra gracias a la iniciativa de Javier Barros Sierra, razón por la que es elevada al rango de Facultad en el año de 1959.

El desarrollo de México, en todos los órdenes, ha sido factible, en gran medida, por la labor de generaciones de ingenieros mexicanos conscientes de su responsabilidad, que han dado lo mejor de ellos mismos para coadyuvar a la creación de un país más justo y mejor dotado.

En el México del siglo XXI tal y como se mencionó con anterioridad, el desarrollo de la tecnología dada por la experimentación de la ingeniería ha influido estrechamente al entorno socio-económico alcanzado. Pueden distinguirse, en términos generales, las siguientes etapas:

Desde finales del siglo XIX y hasta 1910 en el país se careció de tecnología e ingeniería propia o adecuada, así como de los recursos económicos necesarios para enfrentar los requerimientos de infraestructura; por lo que se recurrió a firmas extranjeras bajo contrato o concesión del estado, para subsanar con ello el rezago que ya se tenía en comunicaciones como ferrocarriles y puertos.

Era en ese entonces un país de "llave en mano" en donde los profesionistas de otros países ejecutaban la ingeniería básica que requería México. En estas condiciones, los ingenieros mexicanos trabajaban como ayudantes o auxiliares de los extranjeros, a pesar de que tenían una capacidad profesional reconocida.

Entre 1925 y 1938 se crearon las instituciones nacionales necesarias, para encargarse de la construcción de las obras de ingeniería que exigía el desarrollo nacional (Comisión Nacional de Caminos, Ferrocarriles Nacionales de México,

etc.). A partir de este periodo, la ingeniería de diseño y construcción de la infraestructura del país la realizó directamente el Estado mexicano, sin embargo, se generó un régimen de exclusividad, que condujo al Gobierno federal como única opción para el ejercicio de la actividad de la ingeniería en materia de infraestructura.

A partir de los años cincuenta, las empresas mexicanas de la construcción desarrollaron y acumularon su propia experiencia. El Estado protegió a la industria nacional incipiente con regímenes fiscales especiales y eliminando, por diversos métodos, la participación de constructores extranjeros. La construcción pasó, de ser una actividad con reserva de exclusividad del Estado, a incorporar a las empresas constructoras nacionales.

Diez años después, hacia 1960, el Estado inició la contratación externa de evaluación de proyectos e ingeniería de diseño. Se utilizó una fórmula similar de externalización y se dio impulso también a las firmas de ingeniería mexicanas con esquemas de exclusividad exterior. Son aseveraciones irrefutables que la construcción del país se logró en México con la propia fuerza de su ingeniería civil, y que pocos países de reciente desarrollo pueden afirmar lo mismo.

Al disminuir drásticamente los recursos económicos del gobierno en la década de los ochenta, se abatió la inversión pública. La crisis económica del país afectó frontalmente a la ingeniería al disminuir en forma abrupta la inversión en obra pública y, por consiguiente, la demanda de ingenieros, entre muchos otros profesionistas.

En la década de los noventa se trata de redimir este efecto, con lo que se empiezan a abrir la inversión en obra pública, tanto gubernamental como privada, pero por desgracia mal enfocada ya que se le dio prioridad a la red carretera, estancando la demás obra pública requerida.

En el momento actual, uno de los elementos que más preocupa en diversos ámbitos de la ingeniería mexicana, es el desplazamiento de nuestra ingeniería por la extranjera en los proyectos más importantes. Algunos analistas opinan que a través de presiones de tipo financiero, o por los nuevos criterios para la obra pública de proyectos de "llave en mano", o por las formas y procedimientos de licitación, las empresas extranjeras quedan en ventaja para obtener contratos que luego subcontratan con empresas mexicanas, que hubiesen podido realizar las obras directamente. Esta situación no sólo ha aumentado sustancialmente el costo de las obras sino que se ha señalado que el mayor riesgo es que el país se quede sin ingeniería propia, ante la evidencia del desmantelamiento de la ingeniería en las grandes empresas nacionales o en el sector central del gobierno.

Resulta evidente que el desarrollo de la ingeniería en general, y de la ingeniería civil en particular, tiene un gran impacto en la evolución de otras actividades que generan riqueza. Es más, el progreso en la industria de la construcción es detonador del ejercicio de otras profesiones, oficios y

ocupaciones; es el inicio de otras cadenas productivas y de comercialización. Además, los índices de crecimiento en obras de ingeniería son un indicador de primer orden para conocer el nivel de desarrollo de un país.

Después de 1970, la presencia de los ingenieros civiles en puestos estratégicos se ha reducido significativamente. Esto se debe a tres factores primordiales: a los recortes de profesionistas y especialistas en Secretarías de Estado derivados de los problemas económicos del país; a la contratación de personal con menor preparación a fin de reducir costos y al nuevo esquema de la división del trabajo internacional. Así, las obras de infraestructura que buscaban garantizar un desarrollo sostenido fueron sustituyéndose por medidas económicas urgentes que permitieran encarar los graves problemas financieros.

El papel del ingeniero civil en los principios del siglo XXI y probablemente durante muchos años más, habrá de ser preponderante, no solo en nuestro país sino en el desarrollo de una humanidad que habrá de afrontar la escasez de recursos naturales y las acciones inherentes a la optimización de su aprovechamiento.

La fotografía del momento actual de la profesión en México se puede dividir en tres partes para facilitar su estudio:

- La docencia y la enseñanza.
- La técnica y la investigación.
- La aplicación profesional de los conocimientos que todo ingeniero debe tener.

Las cualidades que se consigan en estos tres factores, redundarán en la calidad de las obras que el ingeniero civil diseña, proyecta y ejecuta, y en el beneficio que se otorgue a la sociedad en sus necesidades a corto, mediano y largo plazos.

### **I.3. Campos de acción de la Ingeniería Civil.**

#### **Edificación**

Dos factores preponderantes representaron retos importantes que sirvieron de acicate, es la superación profesional de nuestra ingeniería: la ubicación de la Ciudad de México en una zona de suelo arcilloso de muy alta compresibilidad y muy baja resistencia; y la frecuencia con que ocurren sismos de muy alta intensidad.

Fue precisamente el hundimiento de los edificios, o su aparente elevación sobre el terreno, lo que motivó el desarrollo de la ingeniería de cimentaciones en la Ciudad de México. Se dominaron las técnicas de pilotes de punta, pilotes de

fricción, cimentaciones parcialmente compensadas con pilotes adicionales, y se alcanzó un desarrollo tecnológico importante con los pilotes de control, con los cuales era posible controlar el hundimiento de los edificios para que fuera prácticamente igual al del terreno.

En el campo de la ingeniería sísmica, México ha hecho aportaciones significativas en cuanto a regionalización sísmica, diseño probabilístico de movimientos telúricos, análisis dinámico de estructuras y otros temas similares. En el campo de la Mecánica de Suelos, se han hecho estudios detallados de las características del subsuelo de la Ciudad de México que constituyen en sí aportaciones a esta disciplina.

## **Obras Hidráulicas**

En materia de infraestructura para riego, desde la fundación de la Comisión Nacional de Irrigación en 1926 hasta nuestros días, la ingeniería mexicana ha conservado un alto nivel, comparable, con ventaja en muchas ocasiones, al de países mucho más avanzados. Otro tanto ocurre con la infraestructura para generación de electricidad, que se desarrolló más intensamente a partir de 1937, cuando se creó la Comisión Nacional de Electricidad.

Las presas son obras que juegan casi siempre el papel técnico y de operación más importante en los sistemas de infraestructura hidráulica. El desarrollo de sus tecnologías de diseño y construcción, así como de investigaciones, muestra en gran medida la evolución que se ha logrado en la ingeniería civil de un país. En México se han construido más de mil quinientas presas de almacenamiento, de ellas más de 500 con categoría de "grandes presas".

## **Puentes**

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) fue pionera en México en la instalación de laboratorios para el control de los materiales de la construcción, y para la implantación de las normas correspondientes. Al mismo tiempo, el montaje de siderúrgicas en el país facilitó la disponibilidad de acero, el cual, también por el desarrollo de la metalurgia, alcanzó mayores resistencias. Lo anterior favoreció la construcción de grandes puentes de concreto reforzado, como el arco del puente "Belisario Domínguez", que vino a sustituir al puente colgante sobre el río Grijalva, en Chiapas, en el año de 1954.

Conforme a la tendencia que se observa en el ámbito mundial en las últimas décadas, los puentes de mayor claro de México se han construido con el sistema de "puente atirantado". El primero de ellos fue el puente "Ingeniero Antonio Dovalí Jaime" de la carretera Costera del Golfo, con una longitud total de 1,170 metros y un tramo principal de 698 metros, atirantado, compuesto de siete

claros, siendo la longitud del mayor de 288 metros. El puente "Tampico", también de la carretera del Golfo sobre el río Pánuco, fue construido por el mismo sistema y representa un logro notable de la ingeniería mexicana. El claro máximo de este puente es de 360 metros, y la porción central es un cajón metálico con una longitud de 293.5 metros. Los puentes de este tipo construidos recientemente son: los de la Autopista del Sol, que une al Distrito Federal con el puerto de Acapulco, siendo el mayor de ellos el puente Mezcala - Solidaridad, sobre el río de este nombre.

## **Ferrocarriles y Carreteras**

La red ferroviaria actual, que cuenta con algo más de 26,000 kilómetros, no ha tenido adiciones de importancia en las últimas décadas, aunque se ha reforzado sustancialmente. De la red existente, una cifra del orden de 10,000 Km., se considera básica y representa a la gran mayoría de las operaciones. Es probable que en el corto plazo, México haya de conformarse con la explotación de su red actual de ferrocarriles, ello debido al altísimo costo que tiene la construcción de un ferrocarril realmente moderno y tal como la necesita la vida económica de nuestros días.

La red nacional de carreteras mexicanas se ha desarrollado en forma trascendental a partir de 1925. Cuenta hoy con cerca de 250,000 km. de los que, casi 100,000 constituyen la red pavimentada. Las motivaciones para planeación y desarrollo de esta red han variado con los años, adaptándose a los cambios de otros ámbitos y actividades de la evolución nacional. El papel de la ingeniería civil en este desarrollo carretero es fundamental y omnipresente. El ingeniero civil ha intervenido decisivamente en las grandes ideas de macro planeación; obviamente es el principal responsable de la planeación específica de cada carretera o de la planeación regional de las redes parciales; en estas tareas, la ingeniería de sistemas, las técnicas de análisis de decisiones, las técnicas para diseño y construcción y de planeación económica representan un papel prioritario al lado de la Sociología y la Economía, entre otras disciplinas.

## **El metro y el drenaje profundo de la Ciudad de México**

La construcción de estas dos obras de magnitud espectacular obligó a la ingeniería civil mexicana a adaptar tecnologías de las más avanzadas en el ámbito mundial y a desarrollar otras propias que permitieran salvar las numerosas dificultades surgidas durante los procesos de construcción. La mala calidad del subsuelo de la ciudad y la frecuencia sísmica de alta intensidad, fueron factores adversos y siempre presentes durante las obras. Como ejemplos de estas tecnologías se pueden citar la construcción de "muros milán" para contener los suelos durante la excavación del cajón superficial del Metro, y la estabilización de las arcillas con aire a presión a un lodo bentonítico durante la perforación de túneles de 6.5 metros de diámetro para el drenaje profundo.

#### **I.4. Modelos Experimentales. (Ejemplo de una presa)**

Algunas de las aplicaciones más comunes se presentan en: estudios de propagación de oleaje, acción de mareas y corrientes, movimiento de sedimentos, estabilidad de estructuras sujetas a la acción del oleaje, efecto de estructuras en protección de playas, acción del oleaje sobre embarcaciones atracadas o en movimiento, propagación de mareas, funcionamiento de estuarios, erosión y sedimentación de cauces, control de avenidas, obras de toma, cárcamos de bombeo, vertederos, conducción de agua a presión, difusión térmica y desechos, etc.

Los métodos matemáticos plantean soluciones con modelos matemáticos idealizados, lo que permite simplificaciones importantes, que a su vez causan efectos que deben ser valorados mediante ensayos experimentales, a través de modelos físicos a escala reducida o de tipo analógico.

En hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamado prototipo, mediante la entrada de cierta información se procesa y se presenta adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería civil. Un modelo físico a escala reducida es una representación a escala del objeto real o prototipo, y cumple ciertas condiciones matemáticas definidas.

En la actualidad se dispone de técnicas avanzadas de modelación física de fenómenos hidráulicos que, unidas al desarrollo de instrumento de medición y equipos generadores de fenómenos a escala, permiten predecir con alto grado de certidumbre lo que pueda ocurrir en el prototipo y, por tanto, se obtienen óptimos resultados en los aspectos de funcionalidad, estabilidad y economía de las estructuras a construir. Esto justifica ampliamente la utilización de modelos hidráulicos.

El empleo de un modelo hidráulico implica establecer un programa definido de investigación experimental sobre todas las variables que intervienen, en forma particular o en grupo. Lo anterior se hace para poder verificar en su caso la validez de soluciones analíticas de un problema dado, o determinar las leyes de relación entre las diferentes variables que, extrapoladas al prototipo, permitan optimizar la eficiencia de cada uno de los elementos del sistema modelo-prototipo. En ciertas etapas del programa y cuando el problema se puede describir con suficiente detalle utilizando modelos matemáticos, éstos se emplean complementariamente con resultados satisfactorios.

La aplicación de cualquiera de los dos tipos de modelos, físicos o matemáticos, tiene limitaciones, ya que ésta depende de la complejidad del problema en la intervención de las variables y sus fronteras a tratar, siendo en algunos casos los modelos matemáticos los más apropiados.

## **Modelos matemáticos.**

El conjunto de hipótesis y relaciones de las variables que describen un fenómeno, constituyen un modelo matemático (ecuaciones), que conduce a un problema matemático que es necesario resolver mediante apropiadas técnicas.

En la mayoría de los casos las ecuaciones que rigen los fenómenos físicos a considerar no pueden resolverse analíticamente, por lo que es necesario utilizar métodos aproximados mediante un proceso de computación, siendo los más utilizados los métodos de elementos finitos y el de diferencia finitas. El primero hace discreto el medio en que tiene lugar el fenómeno en estudio utilizando comúnmente una red de triángulos, mientras que el segundo utiliza una red de rectángulos, que es menos complicada, y proporciona una descripción suficiente de los contornos. La esencia de éste método de diferencia finitas, es sustituir los sistemas de ecuaciones diferenciales parciales que rigen el fenómeno en estudio, por sistemas de ecuaciones algebraicas proporcionando valores en los puntos de la malla mediante la solución de métodos explícitos e implícitos.

La precisión de los modelos matemáticos está íntimamente ligada a su costo de explotación, por lo que deben tomarse en cuenta los siguientes factores: exactitud de los datos iniciales, tipo de fenómeno a estudiar, exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno, forma de aproximar las ecuaciones y evolución del modelo.

## **Modelos análogos.**

Dos fenómenos físicos de diferente naturaleza se llaman analógicos si las ecuaciones que los describen se expresan con formas matemáticas idénticas, aún cuando los símbolos de cada una de ella tengan significado diferente. Es común que uno de los dos fenómenos sea de menor dificultad, por lo que éste se emplea para resolver el otro. Lo anterior ofrece una posibilidad de resolver problemas hidráulicos a base de mediciones hechas sobre un fenómeno análogo, siendo los más comunes:

- Analogía entre un flujo a través de medios permeables y flujo laminar en capas delgadas (modelos de Hele-Shaw).
- Analogía entre flujo laminar y flujo turbulento.
- Analogía entre un flujo a través de medios permeables y la deformación de una placa elástica bajo carga.
- Analogía eléctrica y otros fenómenos físicos (como hidráulicos, mecánicos, etc.).
- Analogía entre suelos finos y suelos gruesos.

## **Modelos físicos reducidos.**

El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, implica que éstos deben ser semejantes al prototipo, para lo cual debe satisfacerse las leyes de similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas.

Cuando se va a realizar una comparación con respecto a la similitud geométrica se definen puntos homólogos sobre los cuales se definen magnitudes tales como velocidad, presión, etc.; de igual manera se definen lados, superficies y volúmenes homólogos. La similitud geométrica implica una relación constante para cualquier longitud  $L$ , esta relación es denominada escala de líneas de longitudes.

Cuando la comparación entre el prototipo y modelo es con respecto a un movimiento, se establece entonces la similitud cinemática; ésta se cumple cuando la forma de los patrones de flujos homólogos son iguales en cualquier tiempo, es decir, hay similitud en el movimiento de los sistemas. Es por esto que la relación de velocidades entre estos puntos debe ser constante y es denominada escala de velocidades. Es un requisito que se cumpla con la similitud geométrica para que se cumpla la similitud cinemática.

El movimiento de un fluido en el modelo y el en el prototipo, para que sea similar en forma completa, no es suficiente con que se cumpla con las similitudes geométrica y cinemática, también es necesario tomar en consideración la acción de fuerzas sobre las partículas de un fluido, tales como fricción, tensión superficial, gravedad o peso, fuerzas de inercia, de Coriolis, etc. Lo anterior implica que la relación de fuerzas homólogas también debe ser constante, estableciéndose así la escala dinámica de fuerzas.

## **Ejemplo de un modelo experimental.**

En el diseño de estructuras hidráulicas más comunes se ha determinado cuales son los factores típicos que gobiernan su comportamiento y por lo tanto su modelación y diseño. A continuación se presenta un ejemplo: (de una presa).

## TIPO DE ESTRUCTURA FACTORES DE DISEÑO TÍPICOS

DESCARGA, NIVELES DE AGUA,	
MODELACIÓN	DISEÑO
a. Tomas	Descarga, niveles de agua, velocidades, pérdidas, presión (fuerzas), vibraciones, inestabilidades, vórtices, demanda de aire, sedimentos, hielo, cavitación, oleaje, patrones de flujo.
b. Muros de Contención	
c. Compuertas	
d. Ataguías	
e. Divisorias de Aguas	
CONDUCCIÓN	
MODELACIÓN	DISEÑO
a. Vertederos	Descarga, niveles de agua, velocidades, pérdidas, entrada de aire, cavitación.
b. Canales	
c. Túneles	
DE AIRE, CAVITACIÓN.	
MODELACIÓN	DISEÑO
a. Ampliaciones Abruptas	Niveles de agua, pérdidas, presión, vibración, demanda de aire, cavitación, abrasión, oleaje.
b. Difusores	
c. Pantallas	

Por consiguiente es indispensable el desarrollar un modelo experimental al inicio del proyecto, ya que este determinara todos los aspectos de funcionamiento de la obra, habilidad y desempeño de la misma, si no se tomara en cuenta el modelo experimental, seria imposible visualizar los errores por el desempeño y la corrección del proyecto, así como la optima solución a el proyecto o al problema con que se encuentra o se encontrara en su funcionamiento, ya que seria incosteable la reparación del mismo una vez terminada la obra y en funcionamiento, con lo que también se determinara el costo real de la obra así como los beneficios y causas que este conlleva.

### **I.5. Ingeniería carretera en México.**

#### **Red nacional de carreteras.**

En 1998, la red nacional de carreteras había alcanzado una longitud total de 322, 857 kilómetros. Esta red esta integrada por carreteras libres, atendidas por los gobiernos federal y estatal; carreteras de cuota, a cargo de organismo descentralizado Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), concesionadas y otras de jurisdicción estatal, así como caminos rurales y brechas, cuya atención corresponde a los gobiernos estatales.

La clasificación e integración de estos grupos de carreteras, que conforman la red nacional, considera el tipo de operación libre o de cuota, las características geométricas, los volúmenes de tránsito y su función en el transporte de carga y de personas, así como de impulsoras del desarrollo económico local, regional o nacional, ampliando así el criterio tradicional de definir el régimen de las carreteras con base en el origen de los recursos utilizados para su construcción, conservación y vigilancia.

Entre 1995 y 1998, la red nacional de carreteras se incrementó en 15, 027 kilómetros, al pasar de 307, 830 a 322, 857 kilómetros destacando lo realizado en las redes estatal y rural; el incremento del 8% (776 km) de la longitud de carreteras pavimentadas, y la de cuatro o más carriles en 8.3% (743 km.).

### **Red básica nacional.**

El propósito de jerarquizar las inversiones y las acciones correspondientes, a partir de una imagen objetivo formulada para los periodos 1995-2000-2010, las redes de caminos existentes se clasificaron en diferentes grupos según su importancia.

En tal virtud, se definieron dos grandes tipos de redes de infraestructura carretera: la red básica y la red estatal. La primera esta integrada por las carreteras federales libres de importancia nacional, las que están a cargo de CAPUFE y las carreteras de cuota concesionadas; en tanto que la segunda red está integrada por las carreteras estatales, federales de importancia regional o estatal y los caminos rurales.

Para identificar las carreteras o tramos federales pertenecientes a la red básica nacional, se partió del criterio de que esta red, como conjunto, debe de asegurar la comunicación directa entre entidades federativas, sirviendo también a litorales y fronteras, enlazando a las capitales de los estados y a los principales puertos marítimos y fronterizos; además los tramos de la red básica deben dar continuidad a los flujos que circulan por los ejes troncales nacionales, por lo que soportan los mayores volúmenes de tránsito, con una elevada presencia de vehículos pesados.

La aplicación de los criterios anteriores permitió identificar un conjunto de tramos y carreteras cuya longitud total es de 28, 284 kilómetros, de los cuales 22, 744 kilómetros corresponden a la red federal libre y 5, 540 kilómetros son autopistas de cuota. Estos tramos conforman la red básica de la infraestructura carretera nacional.

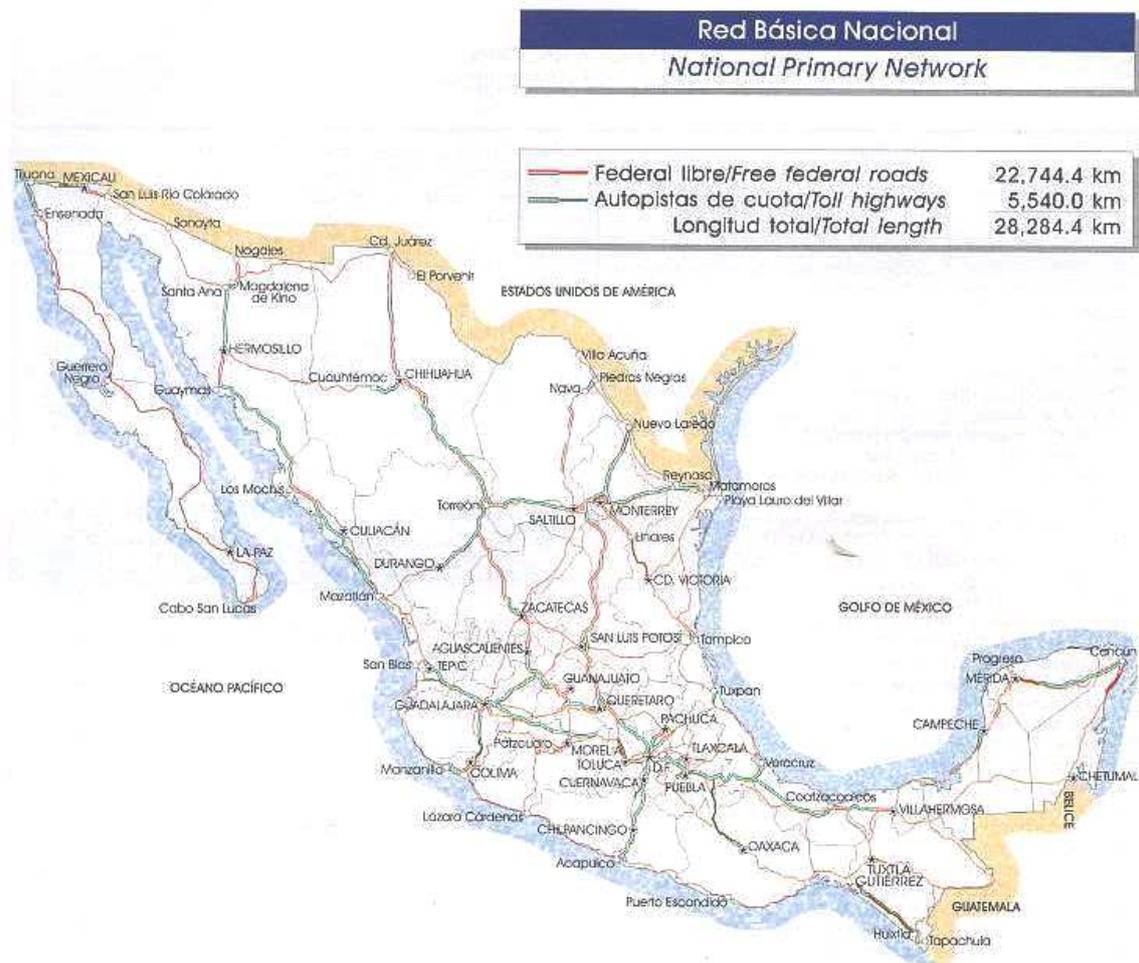


Figura No. 1.2.

Ver anexo A.

### Estrategias de inversión.

La estrategia de inversión en carreteras de Gobierno Federal se enfoca a la red básica, debido a su importancia para el crecimiento y desarrollo del país. Dentro de ella, los 10 ejes troncales merecen especial atención. Estos ejes están integrados por carreteras que soportan un alto volumen vehicular y que, por ello, concentran un elevado porcentaje de la carga y los pasajeros que se movilizan entre los centros productores y consumidores del país, por lo que tiene una alta jerarquía política y social.

Para 1999, las acciones en materia de infraestructura carretera se han concentrado en continuar los trabajos de modernización y mejoramiento del estado físico de la red básica, en intensificar su conservación para mantener un nivel de servicio e incrementar sus índices de seguridad, así como en mejorar la red de caminos rurales. Las acciones en las carreteras federales de la red básica

se seguirán concentrando en los tramos principales de los ejes troncales y en obras de importancia regional.

Por lo que toca a las autopistas de cuota, se fortalecerá la capacidad supervisora y normativa de la SCT en los aspectos tarifarios, financieros, de mantenimiento y operación, considerando también un nuevo marco institucional que asegure el manejo eficiente de las autopistas de cuota concesionadas, en beneficio de los usuarios, como es el reciente caso de la autopista D.F. a Toluca que redujo la tarifa de peaje, ya que esta autopista era la más cara del mundo, por el número de kilómetros que cubría versus tarifa de peaje.

Con los lineamientos estratégicos señalados se busca lograr los objetivos siguientes:

- Conservar y reconstruir las carreteras existentes para abatir los costos de transporte, elevar los niveles de seguridad y la calidad del servicio de esta infraestructura y prolongar la vida útil de este patrimonio de la nación.
- Modernizar y ampliar la red federal, particularmente en los tramos que corresponden a los ejes troncales, a fin de ampliar la cobertura de las carreteras de altas especificaciones; mejorar los accesos a ciudades, aeropuertos, puertos marítimos y fronterizos; propiciar la interconexión eficiente con otros modos de transporte; y facilitar la continuidad en la circulación de los flujos vehiculares, particularmente en la red básica nacional.
- Impulsar y apoyar la conservación, reconstrucción y ampliación de los caminos rurales, con el propósito de coadyuvar al desarrollo económico y social de las pequeñas comunidades, al facilitar el acceso de sus habitantes a los servicios de salud y educación, y generar y promover el intercambio de bienes y servicios.

De acuerdo con los objetivos y estrategias señaladas, en 1999 se realizará la conservación rutinaria de la red federal libre, en la que además se dará conservación periódica, observando una buena calidad en las obras de conservación y construcción, para reducir los costos de conservación de las mismas.

No menos importantes son las acciones a realizar en materia de caminos rurales, toda vez que incluyen trabajos de construcción, reconstrucción y conservación. A través de ellos se espera lograr importantes beneficios para los habitantes del medio rural.

### **Jerarquización de las principales vías carreteras.**

Uno de los componentes más importantes de la red básica nacional la constituye el conjunto de los 10 ejes troncales principales, que suman una longitud

total de 15, 831 kilómetros, sin duplicar los tramos que comparten entre ellos, esta longitud representa cerca de 56% de la red básica nacional y ha recibido atención prioritaria como parte de la estrategia carretera.

Los 10 ejes están integrados por vías que comunican las principales zonas de producción industrial y agropecuaria y los centros urbanos y turísticos más importantes del territorio nacional.

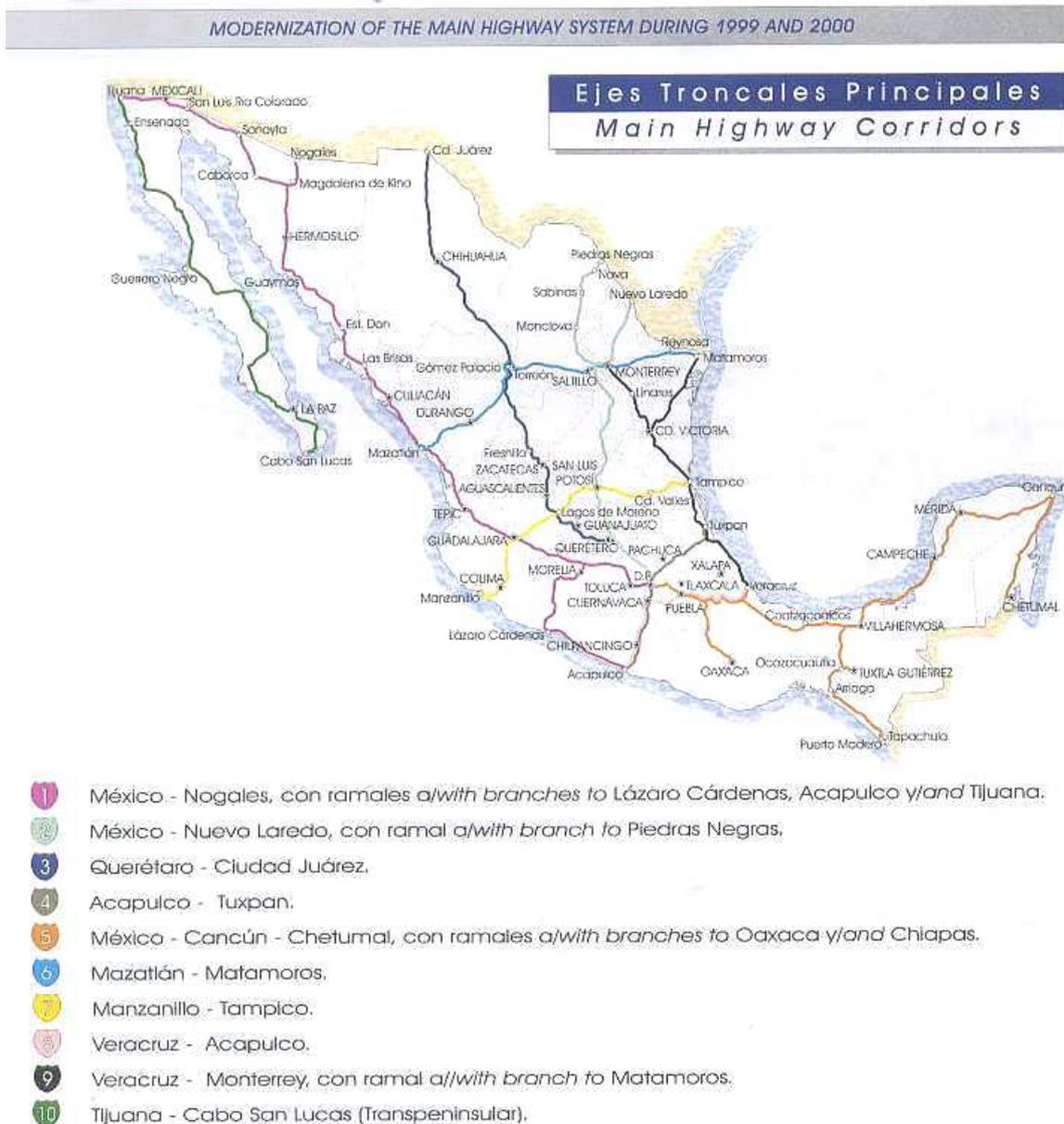


Figura No. I.3.

Para programar las acciones a realizar en cada uno de los ejes durante el periodo 1995 a 2000, se evaluó la importancia de cada uno de sus tramos mediante indicadores de operatividad y competitividad. La evaluación permitió establecer un orden de prioridades para las acciones futuras de construcción y modernización, constituyéndose así un elemento de jerarquización y programación. En otros términos, en la definición e identificación de los ejes troncales principales, se consideró como objetivo colateral la creación de una herramienta de planeación, para asignar y aplicar los recursos disponibles en forma racional y consistente, tomando en cuenta las necesidades de transporte que se derivan de los centros de producción y consumo ubicados en las diferentes regiones del territorio nacional.

El hecho de que los ejes se integren con las vías de comunicación mas importantes del país, obliga a que sus tramos cuenten con altas especificaciones en toda su longitud, siendo también necesario que ofrezcan continuidad en la circulación. Por ello, se ha considerado conveniente contar con libramientos de las ciudades de más de 30 mil habitantes, carreteras alternas para rutas congestionadas y, en lo posible, vías de acceso controlado mediante soluciones adecuadas en entronques y cruces con otras carreteras principales y con vías férreas, si es que para el año 2010 por los menos, quedan vías férreas en este nuestro país.

Ofrecer las características señaladas en todos los tramos que conforman los ejes troncales de la comunicación nacional. Es fundamental para asegurar que tengan los menores costos y tiempos de recorrido y altos niveles de seguridad y confiabilidad de la operación, puesto que las carreteras de altas especificaciones contribuyen a mejorar la competitividad de la economía nacional y son un instrumento fundamental para el desarrollo integral de México.

El diagnóstico de cada uno de los ejes troncales se basó en el análisis de 20 indicadores de operatividad y competitividad, que cubren aspectos relacionados con las características geométricas de los tramos que los integran, la intensidad de uso expresada en términos de tránsito diario promedio anual, su cobertura, su estado físico de conservación y su seguridad, entre otros.

### **Modernización en los ejes troncales.**

Para identificar las acciones de modernización en los ejes troncales se partió de los diagnósticos basados en los indicadores de operatividad y competitividad, llevado hasta nivel de tramo y subtramo. Consecuentemente, se identificaron requerimientos de mayor capacidad o de elevación del nivel de servicio. Las acciones de modernización, se refiere a la ampliación de la sección transversal de una vía existente con objeto de aumentar su capacidad vehicular; por lo que se refiere a construcción de obra nueva, de dos o cuatro carriles de circulación, se trata de desarrollar nuevas opciones de comunicación que mejoren las condiciones de operación y reduzcan la distancia y los tiempos de recorrido.

Además de las acciones de ampliación de vías existentes y construcción de otras nuevas, se plantea la construcción de un conjunto de libramientos de las grandes ciudades comunicadas por los 10 ejes troncales principales, con el fin de proporcionar al tránsito de largo itinerario nacional o regional, continuidad y fluidez en la circulación, al eliminar su paso por las áreas urbanas.

En el contexto siguiente se proporciona una idea de la magnitud de las acciones que se están emprendiendo en los 10 ejes troncales principales.

En el periodo 1995-1998, atendiendo a lo indicado en el Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha enfocado sus esfuerzos a construir y modernizar tramos ubicados en los 10 ejes troncales principales.

Considerando los avances logrados en el periodo mencionado, la longitud modernizada actual en los 10 ejes troncales es de 9, 508.5 kilómetros, que representan el 60% de la longitud total. Para el 2000 se había modernizado el 69% de la longitud total y hasta el momento el avance es continuo siendo del 77% aproximado del total de la red carretera troncal.

Dada la estrecha relación existente entre el crecimiento económico del país y el funcionamiento carretero, el Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes considera prioritaria la integración de los ejes troncales, ante ello, se requiere también desarrollar nuevos esquemas para el financiamiento de la infraestructura carretera, tanto con participación privada como pública, de manera que sea posible apoyar y reforzar los recursos provenientes del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), que es la fuente básica del programa de inversión de infraestructura carretera de todo tipo.

El origen de los recursos se clasifica según la fuente a utilizar, que puede ser el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), el Fideicomiso para el Desarrollo Estratégico del Sureste (FIDES) y posiblemente otros esquemas como concesiones vigentes o futuras y convenios con Gobiernos Estatales.

Dentro de ese panorama, aceptando que los recursos públicos seguirán siendo la principal fuente de inversiones en carreteras, los esquemas de participación público-privada a través de concesiones tienen un papel que desempeñar, para ciertos proyectos y bajo condiciones que permitan un adecuado manejo de los riesgos inherentes al desarrollo de grandes obras de carreteras. El eventual otorgamiento de nuevas concesiones para acelerar la modernización faltante en los 10 ejes troncales se basará en una rigurosa preparación que incluye los estudios de tránsito, proyectos ejecutivos completos, liberación anticipada del derecho de vía, estudios de impacto ambiental y de los niveles tarifarios acordes con la capacidad de pago de los usuarios. Se trata de otorgar concesiones bajo esquemas competitivos que impulsen la ejecución de obras de calidad a precios razonables, carreteras que ofrezcan tarifas atractivas para los

usuarios, plazos de concesión fijos predeterminados y, en su caso, una mínima participación de recursos fiscales.

En suma, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes concentra esfuerzos en materia de financiamiento de obras de infraestructura carretera, para fortalecer el papel promotor del Gobierno Federal y atraer recursos destinados al desarrollo de carreteras de altas especificaciones, esperando claro esta que siga de esa manera y la Secretaría no sucumba a los vaivenes políticos del país.

### **Visión a 2010 y 2020.**

Los vaivenes económicos, políticos y sociales de un país, son un asunto bastante engorroso, sin embargo es fundamental considerarlos a futuro para poder hacer planes, aunque dichos planes tengan que ser modificados por las oleadas de estos factores que influyen directamente en el desarrollo de un país.

A pesar de esas vicisitudes, es necesario seguir con los planes establecidos para las vías carreteras, sin que los cambios socio-políticos y económicos frustren los planes establecidos. Dadas las características que tiene el sistema principal de ejes carreteros troncales en nuestro país, se hace necesario continuar con la labor de modernización de estos corredores, pues los mismos constituyen la columna vertebral del sistema de transporte carretero de México. Al modernizar estos corredores se incentivará el desarrollo global del país incluyendo a las pequeñas regiones del territorio nacional, con carreteras seguras, eficientes y bien articuladas al usuario.

Durante los próximos años se ha establecido el desarrollo continuo del sistema carretero del país, tomando como punto fundamental los 10 ejes troncales, ya que la interrelación entre el sistema carretero y el desarrollo regional y global también debe enfatizarse para evitar la dispersión o la concentración (centralización) de los recursos, evitando así la desigualdad económica entre regiones. En este contexto, la institución encargada de las vías de comunicación ha identificado proyectos viables, los cuales se desarrollaran de manera decidida en el periodo 2001-2010. Ver anexo de lista de libramientos.

Como complemento de este plan de desarrollo carretero, se cuenta con un plan a largo plazo en los que se engloban proyectos carreteros en el periodo 2011-2020. Evidentemente, la naturaleza del programa dada la cantidad de tiempo para realizar los proyectos variará dependiendo, tal y como se ha dicho anteriormente, de las condiciones y prioridades económicas, sociales y políticas que el país tenga a lo largo de esos plazos.

## II. GENERALIDADES DE LAS OBRAS CARRETERAS.

### II.1. El camino.

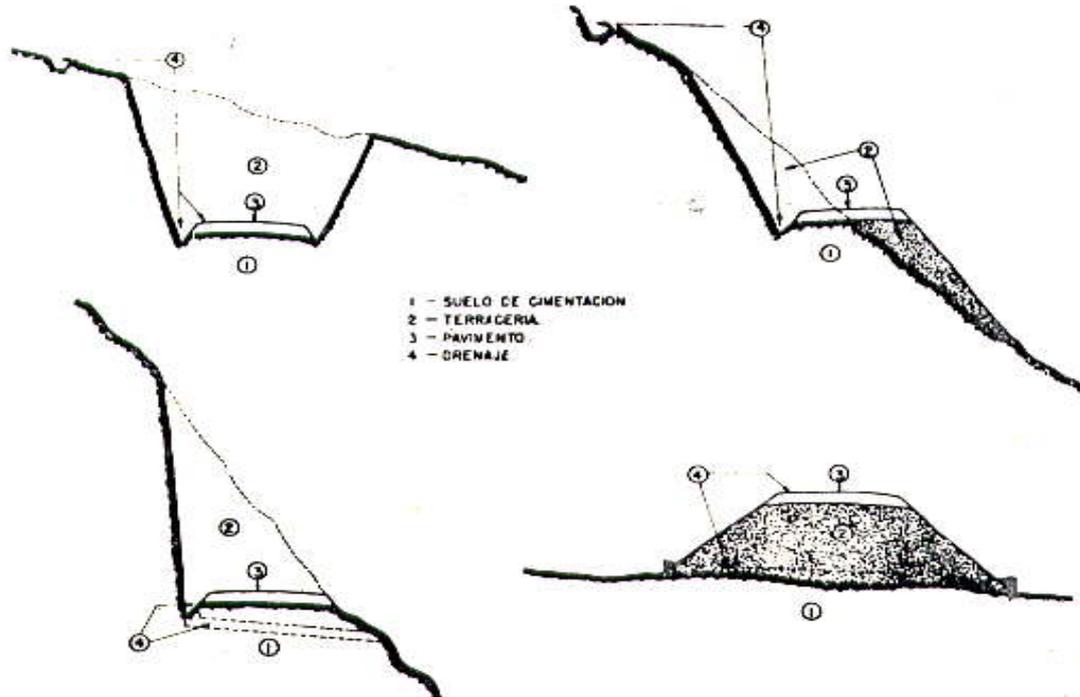
El camino se puede definir como:

LA FORMACION O ADAPTACION DE UNA FAJA SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE QUE LLENE LAS CONDICIONES DE ANCHO, ALINEAMIENTO Y PENDIENTE QUE PERMITAN EL RODAMIENTO DE ACUERDO A LOS VEHICULOS QUE DEBAN TRANSITAR SOBRE ELLA.

Para conseguir el financiamiento de esta faja y dada la irregularidad que presenta la superficie terrestre, es necesario modificar la topografía en la superficie que ocupe, por medio de excavaciones y rellenos.

LA ESTRUCTURA DE UN CAMINO LA CONSTITUYE EL CONJUNTO, ARMONICAMENTE LIGADO, DE TODAS LAS PARTES QUE INTERVIENEN EN EL. LAS TERRACERIAS, LOS PAVIMENTOS, LAS ALCANTARILLAS, LOS PUENTES, ETC., FORMAN AL UNIRSE RACIONALMENTE, LA ESTRUCTURA DEL CAMINO.

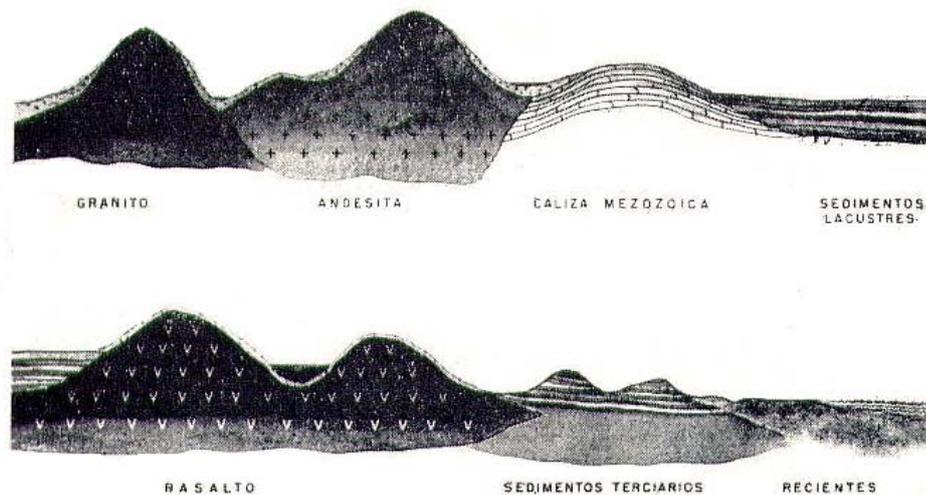
Las secciones típicas de esta estructura, con exclusión de los puentes, quedan indicadas en las figuras del Cuadro No. II.1



Cuadro No. II.1 Secciones típicas de un camino.

De la observación de estas secciones se desprende que el camino está constituido casi en su totalidad por elementos que provienen de la corteza terrestre. Las terrecerías no son sino materiales de la propia corteza que se han transportado y adaptado para formar la faja de rodamiento que se necesita en cada caso. Los pavimentos no son otra cosa que materiales tomados de la corteza terrestre y sujetos a un tratamiento determinado, para llenar su función. De las obras de drenaje y los puentes puede decirse otro tanto, aunque en menor escala.

Si los elementos con que van a ser construidas estas vías de comunicación forman parte de esta costra superficial del globo terrestre, es indudable que el Ingeniero debe tener conocimientos aunque sea elementales de la geología, ya que estos conocimientos son el punto de partida en el proyecto y la construcción de estas obras.



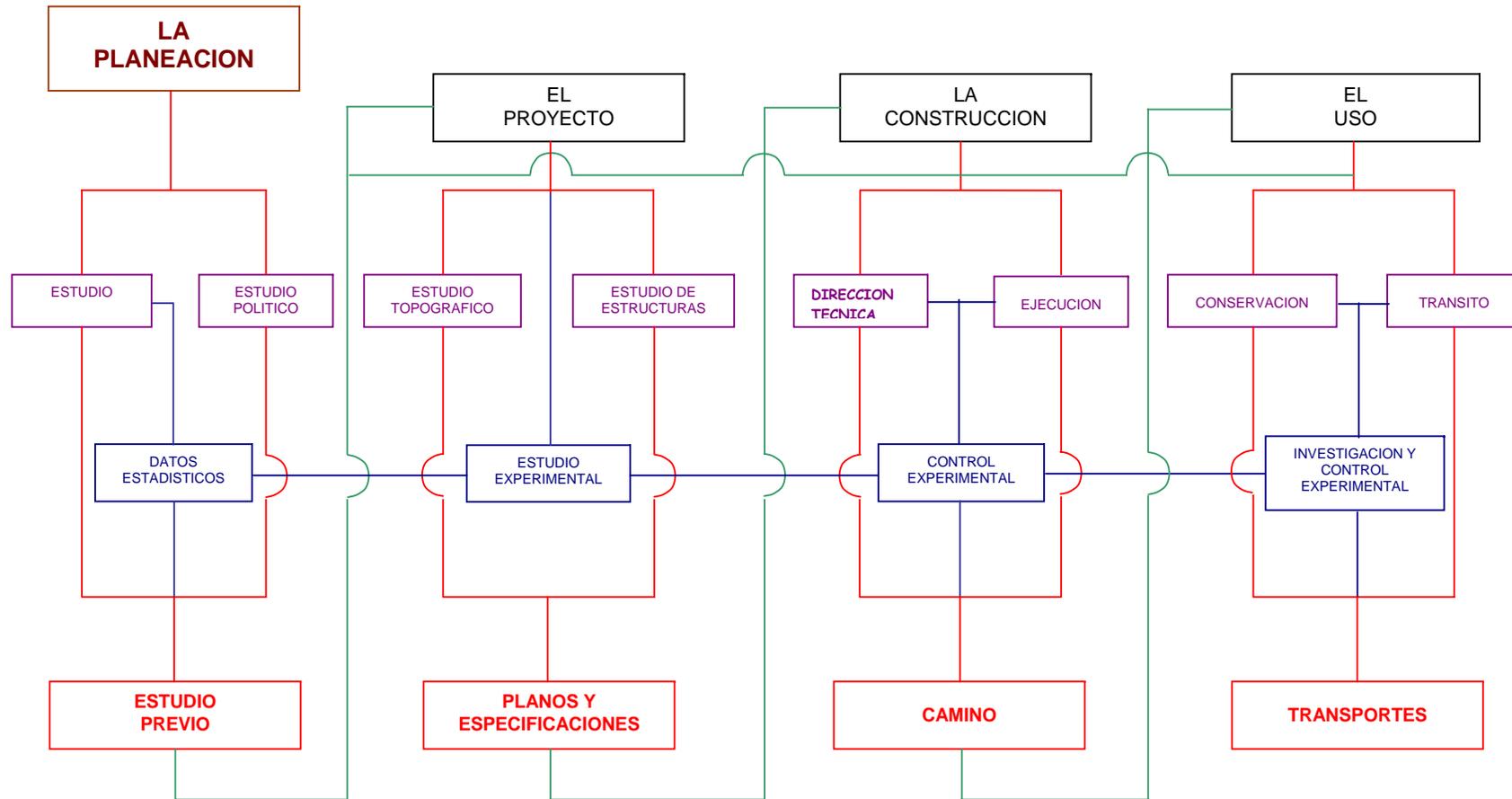
Cuadro No. II.2

La estructura geológica en donde vaya a alojarse el camino, es definitiva en la estabilidad de éste desde los lechos de roca hasta los depósitos de turba.

## II.2. Fases de un camino.

Las fases de un camino, sus divisiones, el trabajo que realiza cada una de ellas y la intervención de la Ingeniería Experimental en las mismas, se indican en el cuadro siguiente:

## FASES DE UN CAMINO



Cuadro No. II.3

La obra realizada por la planeación en el estudio previo. Este pasa como se indica en el cuadro anterior, al proyecto. El proyecto se elabora teniendo el estudio previo como punto de partida y realizándose los estudios topográficos, experimental y de estructuras para formar los planos y especificaciones de construcción. Estos pasan a la siguiente fase que es la construcción, la cual realiza la obra a través de la Dirección Técnica, el Control Experimental y el equipo de construcción. El resultado de este trabajo combinado es el camino que pasa al uso, o sea la fase final para la cual se planeó, se proyectó y se ejecutó la obra.

Algunos acostumbran 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.

### II.3. 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.

Clasificación por su transitabilidad.- la clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en:

Terciarías: cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.

Revestida: cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.

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:

Tercerías	
Revestida	
Pavimentado	

Las carreteras se clasifican en:

Federales: cuando son costeadas íntegramente por la federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.

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.

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. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las antes llamadas juntas locales de caminos y ahora sistema de caminos.

De cuota: las cuales quedan algunas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos 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.

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 (S.C.T.) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

Tipo especial: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de T.P.D.) 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 de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).
- Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de T.P.D.)
- Tipo C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.)

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% está 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.)

#### **II.4. Elementos de configuración geométrica de un camino.**

La configuración geométrica de un camino está conformada por tres componentes básicos: la que configura la sección geométrica transversal, la configuración geométrica vertical y la configuración geométrica horizontal. Esto es entendible si tomamos como referencia básica a la geometría en sí como factor puro de cualquier diseño que vaya a ser funcional a un nivel de tres dimensiones.

Si bien los elementos básicos de geometría para el diseño y conformación de una carretera son de suma importancia, los elementos de clasificación para su diseño no lo son menos, ya que con los datos recopilados se obtienen las necesidades que debe cubrir cierto camino para una región en específico, lo cual representa su esencia en lo referente a su función, de aquí que el tipo, el tamaño y el número de elementos utilizados en un camino está directamente relacionado con su clase y la función correspondiente del mismo.

Los elementos que corresponden a esta última consideración y que entran cada uno en la categoría de configuración geométrica transversal, se pueden señalar a continuación, siendo dichos los más relevantes en el diseño de caminos.

#### **Carriles de circulación.**

Los carriles de circulación no son más que la sección o franja de una carretera sobre la que se mueve el tráfico, y un camino puede contar con varios carriles de circulación dependiendo del tipo de clasificación del camino, tal y como se mencionó con anterioridad.

Desde un punto de vista geométrico, los parámetros clave que definen un carril son el número de carriles, su ancho y pendientes transversales, cantidad de tráfico y velocidad de proyecto, todo lo cual tiene efecto sobre el nivel de servicio que una carretera puede admitir. De igual importancia son las características de la superficie pavimentada. Estas características afectan la facilidad de conducción, la seguridad y el mantenimiento de la misma.

Los anchos de carriles varían como se menciona en esta sección. El ancho seleccionado tiene un efecto significativo sobre la funcionalidad y capacidad de un camino, así pues el costo por construir carriles más anchos se puede compensar con el bajo costo de mantenimiento en los acotamientos y los bordes de los pavimentos, ya que cuando el ancho de un carril es menos, los acotamientos y los bordes del pavimento sufren mayor desgaste y desgarramientos provocados por el concentrado rodamiento en estos lugares.

Ancho de carril (m.)	Velocidad ( km/h)	
2.75	50	≤
3.05	60	≤
3.35	80	≤
3.65	110	<

Tabla No. II.1

Los datos anteriores forman parte de lo establecido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), para el diseño de carreteras, basado en las recomendaciones de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

El número de carriles de circulación para las mayorías de las carreteras de peaje en México suele ser tres carriles en una dirección como máximo, siendo lo más común dos carriles por dirección.

En general, el número seleccionado de carriles se debe de basar en el volumen de diseño de tráfico y en otras consideraciones con el diseño. Por ejemplo, las carreteras en terreno montañoso puede necesitar la incorporación de un carril de ascenso para los camiones de circulación lenta, esta consideración se ha estado tomando en cuenta en algunas carreteras federales de nuestro país a ultimas fechas, lo cual habla de la mayor calidad y seguridad de los caminos en México en los últimos 15 años. Aún cuando todavía existen rezagos en este rubro.

### **Pendientes transversales de las carreteras.**

Para los caminos con dos carriles o más, suele dársele a la carretera una pendiente desde un punto alto, a la mitad de la misma hacia abajo, hacia los bordes opuestos. De manera alternativa, la pendiente transversal de la carretera puede ser unidireccional. Las pendientes transversales opuestas y unidireccionales tienen ventajas y desventajas para el drenaje de la carretera.

Las pendientes transversales opuestas tienen la ventaja de poder drenar con rapidez la carretera durante una tormenta intensa, sin embargo el costo de las obras de drenaje es mayor debido a que es necesario contar con dichas obras en ambos lados de la carretera.

Las pendientes transversales unidireccionales drenan el agua más lentamente pero se reducen los costos de las obras de drenaje y de mantenimiento. Además en general, este tipo de sección es más cómoda para los conductores, ya que parece que se tira de los vehículos al cambiar de carril, en la misma dirección de la pendiente.

Al especificar las pendientes transversales, los diseñadores deben considerar la necesidad de un drenaje adecuado a la zona, así como la seguridad de los conductores. Una pendiente transversal demasiado plana no drenará en forma adecuada, y una que sea demasiado pronunciada puede causar que los vehículos deriven hacia los bordes del pavimento en especial cuando éste es resbaladizo.

La pendiente de diseño seleccionada depende principalmente del tipo de pavimento y la calidad del mismo. La AASHTO clasifica por calidades los tipos de material en: de alta calidad, calidad intermedia y de baja calidad. Por tanto la misma AASHTO recomienda una pendiente transversal de 1.5 a 2.0%, para pavimentos de alta calidad, de 1.5 a 3.0%, para pavimentos de calidad intermedia, y del 2.0 al 6.0%, para pavimentos de baja calidad. Por seguridad se deben de evitar las pendientes mayores al 2% para los pavimentos de alta calidad, sobre los que se permiten altas velocidades y que tienen pendientes transversales opuestas. Sin embargo, es posible que en algunos casos sea necesario usar pendientes transversales ligeramente más pronunciadas con el propósito de facilitar el drenaje apropiado, esto puede realizarse en zonas en las que las lluvias sean muy prominentes. Empero, al hacer esto, se deben limitar el cambio total de la pendiente transversal, para con ello minimizar los riesgos y lograr una conducción segura. En la figura No. II.1 se muestra una carretera típica de dos carriles con pendientes transversales lineales opuestas.

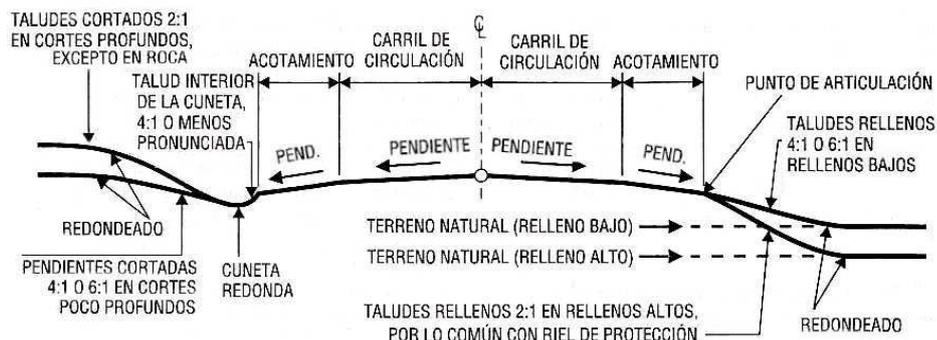


Figura No. II.1 Estructura transversal de una carretera.

### Acotamientos.

Este elemento es la parte del camino que se encuentra entre el borde de la vía transitada y el borde de una guarnición adyacente, una cuneta o canal (obra de drenaje) o un talud interior del terreno.

La función del diseño de un acotamiento es proporcionar lugar para detenerse y el estacionamiento temporal de vehículos, para uso de emergencia sin que se obstruya el libre tránsito ni se genere un alto riesgo de accidente; además de que sirve como apoyo lateral de la base y las capas superficiales de la carretera. Los acotamientos deben tener la capacidad de sostener el arranque, la detención y el movimiento de vehículos, sin que se formen baches apreciables en su superficie.

Los anchos de los acotamientos que suelen usarse varían según el tipo de camino que se trate. En la figura No. II.2 se muestran varias geometrías de anchos de acotamientos nivelados y utilizables.

El acotamiento nivelado es en si la distancia del borde de la vía transitada hasta la intersección de la pendiente del acotamiento y el inicio de la pendiente del talud del terreno, y el ancho utilizable de acotamiento es la sección del mismo que los conductores pueden utilizar para detenerse y estacionar un vehículo. Como referencia geométrica se observa que cuando la pendiente del talud del terreno es de 4:1 o menos pronunciada, entonces el ancho utilizable será el mismo que el nivelado. Para los caminos secundarios, la topografía y otras restricciones relacionadas con el sitio pueden hacer que se necesite usar anchos menores de acotamiento, aunque por lo regular en las carreteras montañosas de México dadas las condiciones geográficas, los acotamientos no existen, aumentando las condiciones de inseguridad, incomodidad y baja funcionalidad en consecuencia.

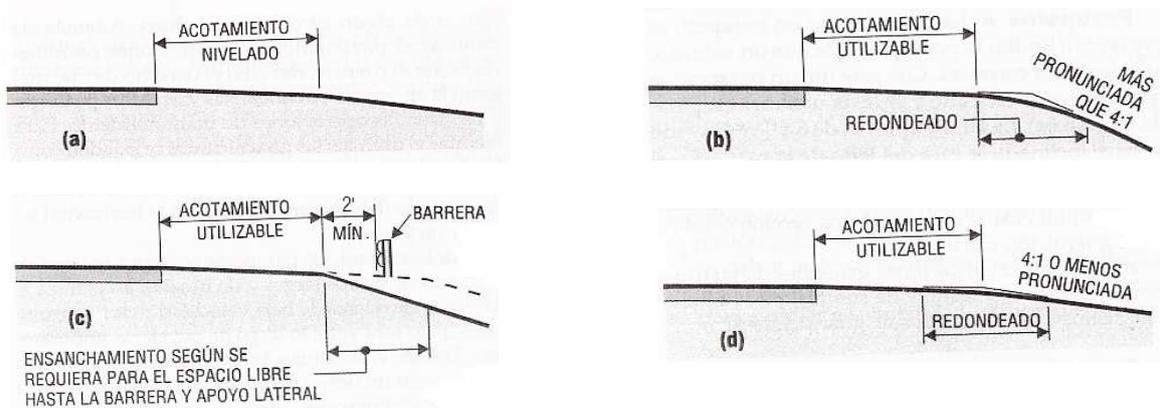


Figura No. II.2 Sección transversal de los tipos de acotamientos de una carretera. En donde a) es el acotamiento nivelado, b) acotamiento con pendiente del talud mayor que 4:1, c) acotamiento suficientemente ancho como para permitir la instalación de una obra de protección (riel, muro o cualquier otra barrera) en donde dichos elementos de protección deben de estar mínimo a 2 Ft (0.60 m.) de distancia del borde exterior del pavimento utilizable, d) acotamiento con pendiente del talud de 4:1 o menos.

Los anchos utilizados en los accesos a puentes en las carreteras debe de ser el mismo tanto en el camino como en el puente, de no ser de esta manera también se pueden crear condiciones inseguras y de falta de funcionalidad,

cuando un vehículo se detenga en ese puente; Según la AASHTO, es mejor contar con algunos acotamientos que con ninguno en lo absoluto. Incluso en las restricciones topográficas más severas, los diseñadores se deben de esforzar para maximizar el ancho y la continuidad de los acotamientos.

Las pendientes transversales en los acotamientos dependen del tipo de construcción de éste. Por lo general se usan pendientes transversales que van de 2% a 6% para superficies bituminosas y de concreto, del 4% al 6% para superficies de roca triturada (gravas), y hasta de alrededor del 8% para acotamientos con capas de vegetación corta como por ejemplo césped (en México no se acostumbra este tipo). Las configuraciones geométricas de la carretera afectan al diseño de las pendientes de los acotamientos. Los alineamientos curvos, de radio largo, o las carreteras elevadas presentan condiciones de diseño que puede requerir modificar las pendientes precedentes de los acotamientos.

Los acotamientos deben diseñarse no sólo para soportar la carga de los vehículos, también deben de servir de soporte para la base de la vía y estar contruidos al ras del nivel del camino, si deben funcionar adecuadamente. Además, estos deben de estabilizarse, de modo que permanezcan al ras para brindar un buen servicio. Los acotamientos que no son estabilizados de manera correcta pueden asentarse tanto como para afectar de manera adversa la seguridad de un conductor de un vehículo que se dirige de la vía transitada hacia el acotamiento, otra consecuencia de la mala conformación de la estructura de un acotamiento es la aparición de baches, los cuales por demás esta mencionar que incrementan el riesgo de accidentes para los vehículos que usen dicho acotamiento. Es importante también que existan contrastes entre la vía y el acotamiento, por lo que es importante variar el color y la textura de un acotamiento, estas diferencias definen e impiden de manera correcta pero segura dos funciones del acotamiento, por una parte diferencia la franja que corresponde a los carriles de circulación de la franja del acotamiento, por otra parte, desalienta a los conductores a circular por el acotamiento y tomarlo como carril de paso. Se puede proporcionar un contraste adicional mediante la instalación de franjas reflectoras así como otros elementos como los denominados fantasmas (elementos reflectores) en el borde de la vía transitada.

### **Guarniciones.**

Una guarnición es un elemento elevado que se usa, entre otras cosas, para denotar el borde de una carretera. Las guarniciones se pueden construir de concreto u otro material duro que sea costeable. Las guarniciones también permiten controlar el drenaje, reducen el derecho de vía, mejoran la apariencia, delinear las vías de los peatones y reducen las operaciones de mantenimiento, así como limitar la posibilidad de accidentes. Con el fin de facilitar el drenaje las guarniciones se pueden combinar con un canal para crear una sección combinada. Existen dos tipos principales de guarniciones: lo que es el parapeto y la factible de subirse, tal y como se muestra en la figura No. II.3. La finalidad del

parapeto es prevenir o limitar la posibilidad se salga de la carretera. Con este fin, un parapeto se hace relativamente alto y se le hace una cara empinada, la altura más común de un parapeto es de 6 a 9 pulg. Cuando se hace inclinada la cara del lado de la carretera, el escarpe no debe ser mayor de 1 en la horizontal a 3 en la vertical.

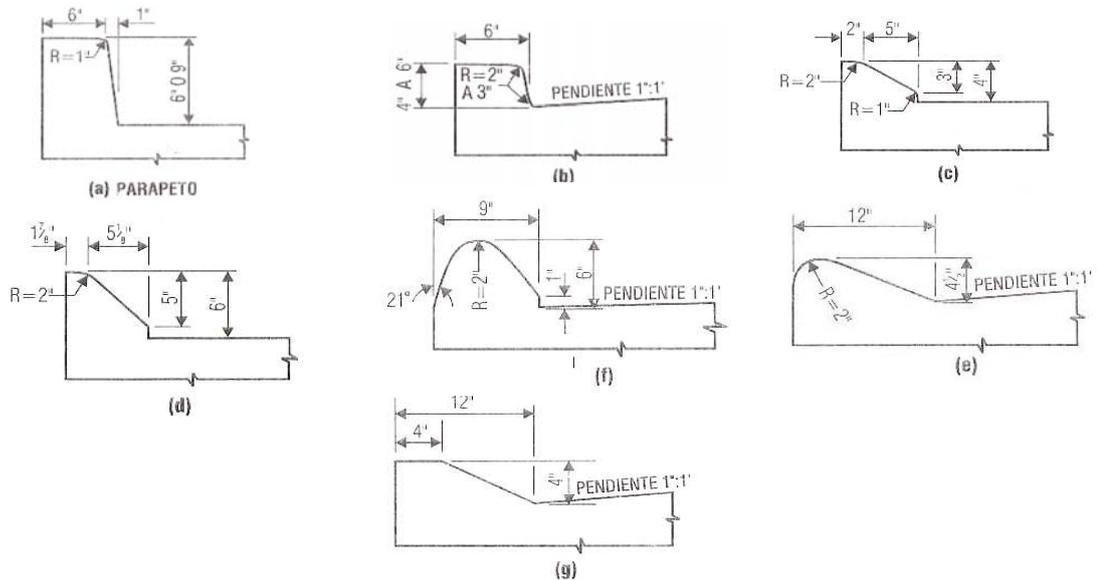


Fig. No. II.3 Guarniciones típicas para carreteras. a) Parapeto usado para prevenir que los vehículos se salgan del camino, b) a g) Guarniciones factibles de subirse que permiten que los vehículos crucen cuando sea necesario. Las inclinaciones de las guarniciones y el redondeo varían.

Por lo general, los parapetos se usan a lo largo de las caras de muros largos y de túneles, así como a lo largo de carreteras importantes. No se deben usar parapetos en una carretera en donde la velocidad de circulación en la misma es mayor de 65 km/h, ya que debido a su altura es un riesgo para vehículos que viajan a altas velocidades.

Las guarniciones factibles de subirse ofrecen la ventaja de que un vehículo puede cruzarla cuando sea necesario. Para facilitar que los automóviles crucen las guarniciones, las caras de éstas del lado de la vía pueden estar redondeadas, y por lo general tiene taludes no tan inclinados y no son demasiado altas. Así, la altura de la guarnición depende de la inclinación de la cara.

Para inclinaciones de las caras más pronunciadas que 1:1, es conveniente una altura de 4 pulg. o menos.

Para inclinaciones de las caras que se encuentren entre 1:1 y 2:1, la altura de la guarnición se limita a un máximo de más o menos 6 pulgadas.

Las guarniciones factibles de subirse se instalan normalmente a lo largo de bordes medianos. Sin embargo, como los parapetos, las guarniciones que son susceptibles de subirse no se deben de utilizar a lo largo de los bordes de las vías de circulación de carreteras de alta velocidad y alto volumen. A menudo dichas guarniciones escalables se usan a lo largo del borde exterior de un acotamiento para control de drenaje, reducción de la erosión y delinear mejor.

### **Barreras para el tráfico.**

Las barreras a lo largo de los caminos se usan para proteger a los vehículos y a sus ocupantes del impacto contra situaciones naturales o fabricadas por el hombre que se encuentren o se provoquen del lado de la carretera en donde se colocan dichas barreras. Además de proteger los vehículos, también se pueden utilizar las barreras para el tráfico con el fin de resguardar a los peatones, a ciclistas, a cuadrillas de construcción, etc. en su forma básica, una barrera para el tráfico se diseña para prevenir que un vehículo se salga de la vía de circulación y choque contra un objeto fijo. En principio, una barrera debe contener a un vehículo errante y, a continuación, volverlo a dirigir. Se cuentan con barreras de diferentes tamaños y materiales y su diseño se basa en datos de extensas pruebas de choque y por experiencias en la realidad, el tipo de barrera se define con la naturaleza del proyecto incluido el clima, la velocidad de circulación y el volumen vehicular. Las barreras para el tráfico se pueden clasificar como barreras longitudinales, barandales, barreras para puentes y amortiguadores de choque (no usados en México).

Las barreras para tráfico longitudinales a su vez se pueden clasificar en barreras para los lados de las carreteras y para el medio de los sentidos de circulación de la misma. También, se pueden clasificar conforme al grado de deflexión que sufren con un impacto, por lo que se tienen los sistemas de barras flexibles, semirrígidos y rígidos. Esto lo podemos observar en la figura No. II.4.

Los sistemas flexibles se diseñan para sufrir grandes deflexiones al recibir el impacto, absorbiendo con ello gran cantidad de la energía producida por el mismo. En general este tipo de barrera consta de postes verticales y miembros longitudinales que pueden ser cables, mallas, barandales (barras). Cuando dicho sistema se ve sujeto a un impacto, los componentes longitudinales se separan del poste, ofreciendo poca resistencia, en el área de impacto, pero si absorbiendo gran cantidad de energía.

Los sistemas semirrígidos utilizan una resistencia combinada de sus elementos tanto verticales como longitudinales, en este caso en el punto de impacto, los postes están diseñados para distribuir las fuerzas de éste hacia los postes adyacentes, en tanto que los postes que están fuera de la zona de impacto ayudan a controlar la deflexión del impacto. Al limitar esta deflexión, se ayuda a que el objeto de choque vuelva a dirigirse en el sentido de la componente vectorial

de velocidad de mayor magnitud que traía consigo, en otras palabras se redirige en el sentido de la trayectoria que llevaba antes del impacto.

Los sistemas rígidos no son susceptibles de deformaciones apreciables cuando reciben el impacto de un vehículo. Por el contrario, dichas fuerzas de choque se disipan a lo largo del elemento rígido, el cual puede sufrir algunos daños, pero su deformación es realmente mínima, o incluso inexistente. También las fuerzas de choque se disipan gracias a la geometría de elemento con los lados de la base inclinadas, lo cual ayuda a que en la subida y bajada del vehículo del impacto la energía del choque se logre disipar en gran medida. Este elemento se puede observar en la figura No. II.4. Estos sistemas rígidos se utilizan normalmente en las secciones de las carreteras en donde el ángulo de impacto será muy pequeño, también se usan enfrente de los pilares de los puentes que se encuentran cercanos al flujo del tráfico, porque como consecuencia de la deflexión limitada, ofrece un alto grado de protección contra el objeto de impacto.

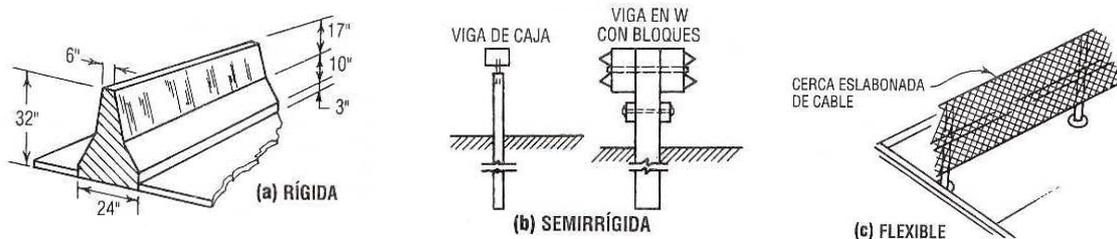


Figura No. II.4 Barreras para tráfico típicas.

Dentro de las barreras para tráfico en las carreteras, también contamos con las barreras y barandales para puentes, siendo estos muy importantes para evitar que personas o vehículos caigan hacia fuera de la estructura. Forman parte integral de la estructura del puente y, por lo tanto, deben diseñarse para tomar en consideración los efectos del impacto de un vehículo en la superestructura del puente; refiriéndonos a superestructura en ingeniería Civil, a la parte que se encuentra sobre el terreno de cualquier estructura. También como referencia llamamos sub-estructura, a la parte de la estructura que se encuentra por debajo del nivel del suelo, sobre el que se encuentra dicha estructura.

En cada uno de los extremos de un puente, debe de implantarse una transición entre las rigideces de los materiales utilizados entre las barreras del propio puente y las de la carretera, ya que, en general, la rigidez de los barandales es diferente. El tipo de barras que se coloquen en un puente dependen del tamaño de la estructura, del volumen y tipo del tráfico.

### Franja central de las carreteras.

Una franja central es una franja ancha o angosta, utilizada para separar el tráfico que circula en direcciones opuestas. Además de separar los flujos opuestos del tráfico, una franja central se diseña para lograr los siguientes objetivos:

- Dar lugar a la expansión para carriles futuros.
- Disminuir la magnitud del resplandor de los faros de los vehículos.
- Servir como un área segura de espera para que los vehículos den vuelta a la izquierda o en U.
- Ofrecer un área de recuperación para los vehículos errantes.
- Proporcionar un área para paro de emergencia.

Es importante señalar que sólo en algunas carreteras de México se cumplen todos los puntos anteriores, ya que la mayoría de las carreteras no cuentan con una franja central tan ancha, como para cubrir en su cabalidad con los puntos antes señalados.

Las franjas centrales pueden estar al ras, elevadas o deprimidas, tal y como se muestra en la siguiente figura No. II.5. En dicha figura se muestran las formas básicas con diferentes configuraciones. En general, en los medios ambientes urbanos, se usan las franjas centrales al ras o elevadas, en tanto que, las franjas deprimidas se utilizan más en autopistas de alta velocidad. Para lograr una visibilidad excelente de la franja, ésta debe tener un color y una textura que contraste con el de la carretera. Por lo regular los anchos usados en las franjas centrales van desde 1.0 m., 1.20 m. hasta 30 m. Una franja central de más de 40 ft, proporciona una separación del ruido, menores destellos de los faros de los vehículos, mayor seguridad en caso de descontrol del vehículo y nulifica la presión del aire de los carriles opuestos, provocado por la circulación de los automóviles o camiones.

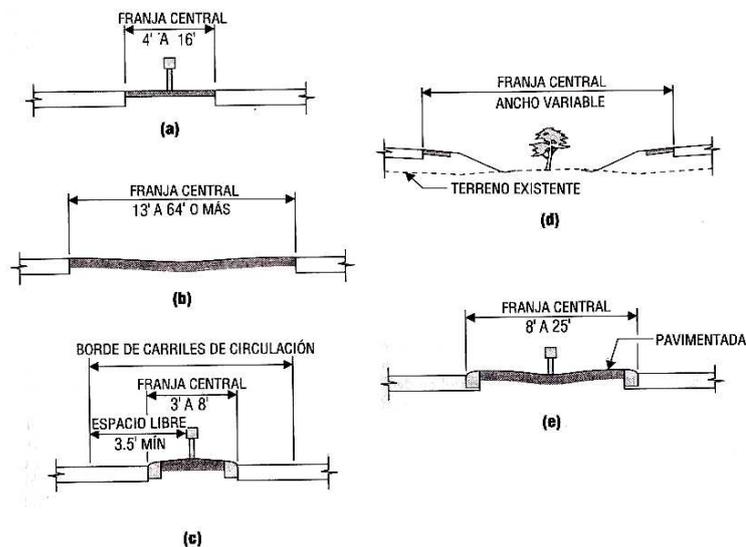


Figura No. II.5 En esta figura se muestran secciones transversales de carreteras con franjas centrales de distintos tipos usuales. a) Pavimentada al ras; b) con terreno bajo y pavimentada al ras (con pendiente máxima 1:6) cuando el ancho de la franja es mayor de 36 ft; de lo contrario, pavimentada e incorporando una barrera en ella; c) elevada, con guarnición y combada, con ancho de 3ft cuando se instala la barrera opcional; d) terreno natural entre carreteras independientes; e) elevada, con guarnición y deprimida hacia la barrera.

Dependiendo del ancho de la franja, puede requerirse o no una barrera para el tráfico, por otra parte una franja ancha proporciona un aspecto estético agradable y puede influir en la psicología de los conductores de los vehículos.

Junto con las franjas centrales, el uso de barreras de tráfico que incorporan tratamientos antideslumbrantes, evitan deslumbramientos haciendo más cómodo el manejo, y aumentan en muchos aspectos la seguridad del camino.

Para un adecuado diseño de la franja central, es importante diseñarlas tomando en cuenta las obras para un adecuado drenaje de la vía. Las franjas al ras o elevadas, deben combarse o deprimirse, según sea el caso, para lograr un drenaje apropiado. Las franjas deprimidas deben de diseñarse para dar lugar al drenaje de los torrentes de agua e incluso, en zonas frías, al drenaje adecuado para la extracción de hielo o nieve.

En las franjas anchas y deprimidas es común la admisión de plantas y árboles que ayudan a la estética de la misma y además protegen en cierta medida contra los deslumbramientos, aunque en casos extremos puede ser perjudicial para los vehículos fuera de control al impactarse contra dichos árboles, por ello este tipo de vegetación se siembra con grandes espaciamientos, yendo aproximadamente desde los 30 m hasta más de 100 m. entre cada árbol.

### **Orilla de la carretera.**

Es el área que se encuentra adjunta a una carretera y que se puede utilizar para dar lugar a las instalaciones de drenaje y para la recuperación de vehículos errantes. Es importante mencionar que los acotamientos no forman parte de esta estructura. Sin embargo, una orilla puede contener riesgos para los vehículos que salen de la vía, pudiendo tener contacto con obstáculos como rocas, árboles, arbustos, etc. o con topografía que no pueden recorrer.

Una típica orilla de carretera que no es plana puede contener cualquiera de los siguientes elementos: terraplén o talud relleno, talud cortado, canal o cuneta de drenaje, zona despejada, guarnición, acera, banquetta, cerca, barrera para el tráfico, barrera contra el ruido y postes ligeros para carretera. De los más relevantes se hará mención a continuación.

Los taludes son elementos importantes en esta sección, éstos proporcionan estabilidad a la carretera y brindan a los conductores de vehículos errantes oportunidad para volver a tomar el control. El redondeo y la combinación de los taludes con la topografía existente aumentan la seguridad de la carretera, además de tener una mejor estética. El tipo de composición de los taludes depende de la geografía del lugar y de la disponibilidad de los materiales. La conformación típica de una orilla de carretera se puede observar en la figura No II.6, que a continuación se muestra.

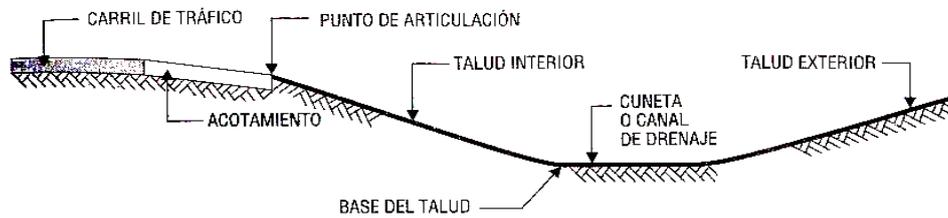


Figura No. II.6 Orilla de carretera, en donde se muestran sus elementos típicos.

Las pendientes de los taludes, no deben de ser más pronunciadas que la relación de 3:1 y, de preferencia, no mayores de 4:1, en especial para los taludes interiores, la región donde es probable que se lleve a efecto la recuperación de un vehículo. Cuando las características específicas del sitio demandan pendientes más pronunciadas, debe de instalarse una barrera para el tráfico en la orilla.

Para los taludes exteriores las relaciones de las pendientes deben de ser de 3:1 o menos pronunciadas, para facilitar la operación del equipo de mantenimiento, como las segadoras mecánicas. Cuando las restricciones del sitio imponen pendientes más pronunciadas que 2:1, debe de contemplarse también la colocación de barras de tráfico.

La selección del ancho de la pendiente y de otras características de los elementos de la orilla debe de tener en cuenta la recuperación de los vehículos errantes. La AASHTO recomienda para un buen diseño que sea más seguro respecto a los taludes y de los demás elementos relacionados de la orilla, el establecimiento de una zona despejada, la cual se define como aquella área más allá del borde de la vía circulada que se usa para la recuperación de vehículos errantes. El ancho que debe de usarse para una zona despejada depende de varios factores, entre los que destacan la velocidad de recorrido máxima en la carretera y el número de vehículos circulantes, así como de la pendiente de los terraplenes. En donde el espacio para las zonas despejadas tiene gran demanda, debe de mantenerse un ancho mínimo de este tipo de zona de 0.50 m., más allá de las caras de las guarniciones. La anchura para una zona despejada para cualquier tipo de carretera debe ser mayor de 3.0 m. para que funcione adecuadamente.

La incorporación de barreras para reducir los efectos del ruido en áreas habitadas adyacentes a una carretera, es necesaria, aunque suele ser costosa. El ruido generado por un gran volumen de tráfico puede afectar severamente propiedades residenciales o de otro tipo, en donde vive y trabaja gente. Para el diseño de una carretera importante, comenzando con la etapa preliminar de ese diseño, deben de tomarse en consideración los niveles anticipados de ruido y el tipo de barrera contra éste.

Las barreras contra ruidos son muros absorbentes o reflectores de éste. Estos pueden estar conformados por materiales como el concreto, el acero o

cualquier otro metal, madera o mampostería. Dichas barreras deben de ser estéticamente agradables y combinarse bien con la topografía circundante. Los tipos de materiales disponibles y las normas aplicables al sitio en donde se colocarán estas barreras antirruído, influyen para la selección del tipo de barrera a utilizar. Dichas barreras deben de colocarse lo más alejado posible de las vías de circulación y dar lugar a una distancia apropiada de visión para los conductores, en caso de que sea necesario colocarlas cerca de los carriles de circulación, junto a estas se deben de colocar barreras de tránsito, para reducir los riesgos en la carretera.

Existen otras alternativas más baratas y hasta ecológicas, para el control del ruido, una de ellas es colocar la vía por debajo del nivel de los edificios, o por el contrario colocarla sobre terraplenes que se encuentren por encima del nivel de los edificios, para limitar más aún el ruido se pueden sembrar arbustos o árboles, o bien, en casos extremos colocar porciones o cubiertas de terreno entre la carretera y las propiedades adyacentes.

Canales de drenaje de la orilla es necesario incorporarlos para la recolección y conducción de agua superficial, alejándola del lecho de la vía. Estos canales deben de tener una geometría de proyecto adecuada, con el fin de drenar de manera eficiente, teniendo capacidad extra incluso para flujos excesivos de agua de tormentas. Los canales de drenaje deben de colocarse para evitar la creación de un peligro para los vehículos errantes o no, debido al riesgo latente de acuaplaneo. Dichos canales deben de mantenerse libres de sedimentos u otros obstáculos que impidan su correcto funcionamiento. También deben de mantenerse en buen estado, evitando lo más posible gracias al mantenimiento, deterioros por una erosión significativa, lo cual por consecuencia reduce su capacidad de drenaje.

Un canal de drenaje por lo regular es una cuneta formada al conformar la superficie del terreno de la orilla de la carretera, tal y como se puede observar en la figura No. II.6. Desde un punto de vista hidráulico, el mejor canal de drenaje es aquel con los lados más inclinados. Por lo tanto, debe de lograrse un equilibrio entre las necesidades de drenaje y las necesidades de taludes con inclinación menos pronunciada.

### **Alineación horizontal.**

Dicha alineación horizontal comprende uno o más de los elementos geométricos siguientes: tangentes (secciones rectas), curvas circulares y espirales de transición. Por otro lado la distancia a lo largo de una alineación horizontal se mide en términos de estaciones. Una estación completa se define con una longitud de 30 m.

En lo que se refiere a curvas circulares, una curva simple horizontal consta de una parte de un círculo tangente a dos secciones rectas sobre la alineación

horizontal. De preferencia, el radio de una curva debe ser suficientemente grande como para que los conductores no se sientan forzados a disminuir la velocidad de sus vehículos, aunque por lo general éste tipo de curvas no es factible debido a situaciones topográficas, así como la economía global del proyecto, la distancia de visión y la fricción lateral.

Las curvas espirales se diferencian con las curvas simples en que la conformación geométrica de la curva es más cómoda y segura. Cuanto más rápido entre un vehículo al círculo de la curva y sea más pronunciada la curvatura, mayor es la influencia sobre los vehículos y los conductores del cambio de la tangente a la curva. La fuerza centrífuga en las curvas simples puede hacer que los vehículos se deslicen lateralmente, resultando en una dificultad mayor para el conductor para lograr una posición de equilibrio o de comodidad, etc. Para remediar estas condiciones, en especial en donde hay tráfico de alta velocidad, debe de introducirse curvas de transición en donde sea necesario dado que deba de haber curvas pronunciadas, dichas curvas de transición cambian en forma constante, entre la curva circular y la tangente.

El radio de la curva de transición debe de variar de manera gradual, desde infinito en la tangente hasta el de la curva circular.

Normalmente se usa una espiral de Euler (conocida también como clotoide) como curva de transición. El cambio gradual en el radio de una curva, da como resultado un desarrollo gradual correspondiente de las fuerzas centrífugas, reduciendo de esta manera los efectos adversos antes mencionados. En general se usan las curvas de transición entre las tangentes y las curvas pronunciadas y entre curvas circulares de radios apreciablemente diferentes. Las curvas de transición también mejoran la seguridad al conducir tal y como se ha mencionado con anterioridad, al facilitar que los vehículos permanezcan en sus propios carriles al entrar o salir de las curvas.

La distancia de visión para pasar es un elemento importante en la alineación horizontal, ya que en carreteras de dos carriles, se les debe de dar a los conductores oportunidades seguras e intervalos para pasar a los vehículos que se mueven lentamente. No hacerlo aumenta el riesgo de colisiones de frente y tiende a disminuir la capacidad de tráfico de la carretera. Para poder tener un paso seguro, se debe de tener un rango de visión amplio adelante para tener la certeza de que no hay peligro de choque con un vehículo que se aproxime o con una obstrucción en el camino. Las distancias de visión se muestran en la siguiente tabla:

Velocidad de Diseño, km/h	Distancia Mínima de Visión para Pasar, m.
50	650
65	450
80	550
96.5 – 100	650
105	700
110	750
120	800
140	830

Tabla No II.2 Distancias mínimas de visión para pasar, para el diseño de carreteras de dos carriles.

### **Alineación vertical.**

Las elevaciones verticales están definidas por los cambios de elevaciones, o perfiles. Una alineación vertical se puede representar por la línea central del camino, a lo largo de una sola tangente con un declive dado, de una curva vertical o de una combinación de ambos. El alineamiento vertical se compone de curvas verticales a su vez, las cuales están formadas por curvas verticales de transición.

Las curvas verticales son usadas como una transición en donde la alineación vertical cambia el declive o pendiente. Las curvas verticales se diseñan para cumplir lo mejor posible con las condiciones topográficas, tomando en cuenta también los costos de construcción, considerando además la velocidad específica de diseño y la seguridad. Las pendientes a una curva parabólica, conocidas como declives, pueden influir en el tráfico de muchas maneras, pueden influir sobre la velocidad de los remolques grandes y anular la distancia de visión.

Aun cuando se puede usar una curva circular, la práctica común es usar curvas verticales parabólicas. Ésta se enlaza con una alineación horizontal correspondiente por medio de una medición común por estaciones. Si la curva es cóncava, se llama curva vertical en trampolín; es decir, la curva forma una hondonada, o valle, por el contrario la curva vertical convexa, es llamada curva vertical en cresta, ya que como su nombre lo indica empieza en transición en una curva vertical, concluyendo en una segunda tangente a la parabólica, terminando en una cresta.

Así como es importante la distancia de visión para pasar en el alineamiento horizontal, la distancia de visión para detención lo es para el alineamiento vertical, siendo esta distancia para el alineamiento vertical el tramo de carretera necesario entre un vehículo y un objeto cualquiera en algún punto del camino, para permitir que el conductor detenga su vehículo antes de llegar a la obstrucción y, hacerlo de manera segura. Sin embargo, no debe confundirse ésta con la misma distancia de

visión para pasar, que la AASHTO define como “el tramo de carretera visible hacia adelante al conductor”.

La distancia mínima de visión para detención se calcula para una altura del ojo del conductor de 1.15 m. y una altura del objeto de obstrucción de la carretera de 6 pulg. La distancia de detención sobre una carretera a nivel comprende la distancia sobre la que se mueve un vehículo durante el tiempo de reacción para frenar, el tiempo que tarda un conductor en aplicar los frenos al ver una obstrucción y la distancia que recorre el vehículo antes de llegar a la detención total. Una regla empírica es que entre más larga sea una curva vertical, puede ser mayor la distancia segura de visión para la detención total de un vehículo. Sin embargo, las curvas largas pueden tener una construcción demasiado costosa.

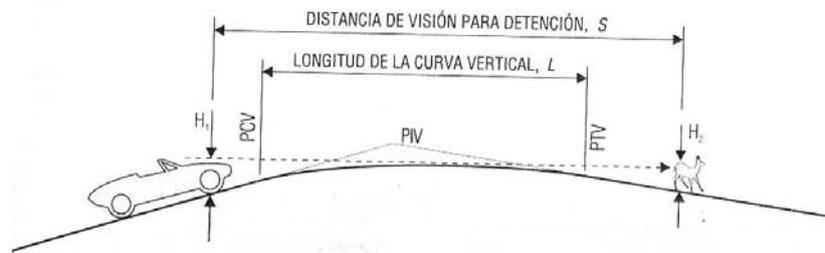


Figura No II.7 Diagrama del funcionamiento del alineamiento vertical.

Como referencia importante, se debe mencionar que estos tres tipos de alineamientos para carreteras y los demás componentes de las mismas, se desglosaran de mejor manera y más completa en el capítulo V (Conceptos de diseño), de este trabajo.

### **Drenaje de la carretera.**

El drenaje en una carretera es un elemento importante para el diseño de la misma. Las instalaciones inadecuadas de las obras de drenaje pueden ocasionar el deterioro prematuro de la carretera y al desarrollo de condiciones adversas de seguridad, tal como sucede con el hidroplaneo o acuaplaneo. Por lo tanto, una parte importante de la partida de costos en la construcción de una carretera están destinadas a las obras de drenaje. En esencia, la función general del sistema de drenaje de una carretera es extraer o evacuar y conducir al agua de una carretera.

La posibilidad de que una intensidad dada de precipitación pluvial ocurra dentro de un intervalo específico, es lo que se refiere a la frecuencia de tormentas. La consideración de las mismas, se lleva a cabo gracias a datos históricos que indican que la posibilidad de esperar una intensidad particular de precipitación pluvial una vez en “N” años, y hace posible una prospección para el diseño en años venideros para la obra construida. Gracias a estos datos se determina el tipo de obra de drenaje que se va a implementar en una carretera, es muy común que se utilicen diferentes tipos de obras de drenaje en una carretera, dados los distintos ambientes climáticos que va atravesando dicha obra vial.

La determinación de la cantidad de escurrimiento que se debe de usar para el diseño del drenaje superficial se puede determinar a través de mediciones físicas del flujo, corrientes de escurrimiento o mediante el uso de formulas empíricas; un procedimiento común de utilizar es el método racional. Es importante tomar medidas para la extracción del agua, proveniente de la lluvia o del agua proveniente de la nieve, o de ambas, que cae directamente sobre un camino o bien escurre del terreno adyacente, por ello, al camino se le debe de dar la inclinación adecuada para que drene el agua, alejándola de los carriles de circulación y de los propios acotamientos, para dirigirla hacia las obras del sistema de drenaje con que cuente la carretera, como pueden ser canales, cunetas, tuberías, bajíos de tierra natural, etc. Los canales deben de ubicarse y conformarse para minimizar el potencial de riesgos para el tráfico y tener capacidad para evacuar y conducir los flujos inesperados de agua de tormentas. Deben de colocarse bocas de alcantarillas para el drenaje, según se necesite, para prevenir y limitar el encharcamiento del agua hacia los carriles de tráfico o los acotamientos.

Cuando una carretera está ubicada en un corte, los escurrimientos se pueden captar en cunetas laterales poco profundas. Por lo común, éstas tienen una sección transversal trapezoidal, triangular o redonda, teniendo estas una profundidad calculada para poder drenar correctamente la subbase del pavimento y llevar el flujo de diseño de tormentas hasta un punto de descarga. Para cunetas poco profundas es necesario utilizar implementos como la utilización de tuberías de desagüe con capacidades mayores.

En los ambientes urbanos, el uso de canales de drenaje puede verse limitado por los usos de los terrenos circundantes. Para las carreteras sobre terraplenes, se pueden construir guarniciones a lo largo del borde exterior de la vía para interceptar el escurrimiento y dirigirlo hacia las alcantarillas colocadas a intervalos regulares de diseño. A su vez, las bocas van conectadas a colectores de agua de lluvia que lleven esta agua hasta los puntos en que se disponga de ella.

### **Canales abiertos.**

Se pueden utilizar cunetas laterales para captar el agua de escurrimiento de una carretera ubicada en un corte, dichas cunetas pueden tener geometrías diferentes, entre las que destacan por ser las más usadas las trapezoidales, en forma de V, cuadradas o redondas. Los más comunes de utilizar de entre estos tipos de canales, son los trapezoidales y los de forma de V. De entre estos dos últimos, la cuneta trapezoidal tiene mayor capacidad de drenaje para una profundidad dada. Sin embargo, en la mayor parte de las secciones transversales de carreteras se observa una forma de canal en V, como parte de la configuración geométrica de esa sección.

Cuando se tienen declives pronunciados, la posibilidad de erosión de la cuneta se vuelve una consideración importante, cuando los canales son para caminos de tipo rural (de tierra) en cuyo caso, se pueden contrarrestar los efectos de la erosión revistiendo el canal con vegetación, piedra, concreto o cualquier otro revestimiento que sea capaz de evitar la erosión del canal. Otra forma de disminuir los efectos de la erosión sobre el canal, es colocando pequeñas represas de retención, a intervalos diseñados dependiendo de la velocidad, del tipo del suelo y de la profundidad de los flujos.

Los revestimientos de los canales se clasifican en rígidos y flexibles. Los pavimentos de concreto o pavimento son ejemplos de revestimiento rígido. Los revestimientos de roca (pedriscal) y de vegetación, se encuentran clasificados dentro de los revestimientos flexibles. Los recubrimientos rígidos minimizan más los efectos de la erosión, sin embargo las velocidades de los escurrimientos en los canales revestidos con materiales considerados como rígidos son más altos, ya que son más lisos que los flexibles.

A los canales en la orilla de las carreteras se les dimensiona para flujo en canal abierto calculado a partir de la ecuación de Manning. En esta ecuación se incluye un coeficiente de aspereza,  $n$ , que puede ser tan bajo como 0.02, para el concreto, y llegar hasta 0.10 para el césped grueso.

La fórmula de Manning es utilizada comúnmente para calcular la pérdida de carga hidráulica en obras relacionadas con la hidráulica. Mediante experimentos, Manning llegó a la conclusión de que  $C$  en la fórmula de Chezy debería variar como  $R^{1/6}$ , por lo que se tiene

$$\text{Ec. No 1} \quad C = \frac{1.486 * R^{1/6}}{n}$$

Para comprender ésta fórmula es necesario en este punto hacer referencia de la fórmula de Chezy, la cual es válida para calcular pérdidas de carga en conductos y da resultados razonablemente para números de Reynolds altos y, también introducimos de manera elemental sobre lo que respecta a número de Reynolds, ya que no es el fin de este trabajo realizar un estudio intenso sobre los diseños hidráulicos en su totalidad.

Se ha encontrado que un parámetro adimensional llamado número de Reynolds es un criterio confiable para determinar si el flujo es laminar o turbulento, entendiendo como flujo laminar, al movimiento en capas constantes paralelas y en una misma dirección de las partículas de un fluido. En cambio, en un flujo turbulento, las fuerzas de inercia son tan grandes que las fuerzas de viscosidad no pueden amortiguar las perturbaciones ocasionadas, principalmente, por la rugosidad de las paredes. Estas perturbaciones crean remolinos o vórtices que tienen velocidad de rotación y de traslación. La traslación de estos remolinos es una acción combinada que da por resultado un intercambio de cantidad de movimiento en la sección transversal del conducto. Debido a la naturaleza aleatoria del flujo turbulento, no resulta práctico tratarlo en forma analítica. Por

tanto, las formulas para las pérdidas de carga hidráulica y flujo en las regiones turbulentas se han desarrollado por medios experimentales y estadísticos. Dentro de estas fórmulas se encuentra la de Manning y la de Darcy, las de referencia en este tema.

Por medio de las experimentaciones, dichas formulas de pérdida de carga, han demostrado que:

- La pérdida de carga hidráulica varía directamente con la longitud del tubo.
- La pérdida de carga hidráulica varía casi con el cuadrado de la velocidad.
- La pérdida de carga hidráulica varía casi inversamente con el diámetro.
- La pérdida de carga hidráulica depende de la rugosidad de la superficie de la pared del tubo o conducto.
- La pérdida de carga hidráulica depende de la densidad y viscosidad del flujo.
- La pérdida de carga hidráulica es independiente de la presión.

El número de Reynolds se trata por tanto de la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas de viscosidad y se expresa como se muestra:

$$\text{Ec. No 2} \quad R = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{m} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Donde;

V; es la velocidad del fluido, en m/s.

D; es el diámetro del tubo, en m.

$\rho$ ; es la densidad del fluido Kg. \* s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> (peso específico dividido entre g, 9.81 m/s<sup>2</sup>).

m; es la viscosidad del fluido, en Kg. \* s / m<sup>2</sup>.

$\nu$ ; m/ $\rho$ = viscosidad cinemática, en m<sup>2</sup>/s.

Para un número de Reynolds menor de 2000, el fluido es laminar en los tubos circulares. Cuando el número de Reynolds es mayor de 2000, el flujo laminar es inestable; es probable que se amplifique cualquier perturbación y que el flujo se vuelva turbulento.

En lo que se refiere por tanto a la fórmula de Chezy, tenemos que esta ecuación es válida para pérdidas de carga en conductos y da resultados razonablemente buenos para números de Reynolds altos. La estructura de la formula es como sigue:

$$\text{Ec. No 3} \quad V = C \sqrt{R \cdot S}$$

Donde;

V; es la velocidad, m/s.

C; coeficiente, dependiente de la rugosidad de la superficie del conducto.

S; es la pendiente de la línea de energía o pérdida de carga hidráulica por fricción, en m/m de conducto.

R; radio hidráulico, en m.

El radio hidráulico de un conducto es el área transversal del fluido dentro del mismo, dividida entre el perímetro de la sección mojada.

Hechas las referencias necesarias y pertinentes, se procede a explicar de manera general y simple, lo que es en si y lo que representa la formula de Manning. Como se menciona antes Manning llegó a la conclusión de que el coeficiente C en la formula de Chezy debería de ser como  $R^{1/6}$ , quedando como se hizo referencia anteriormente.

$$\text{Ec. No 1} \quad C = \frac{1.486 * R^{1/6}}{n}$$

En donde  $n$  es el coeficiente, que depende de la rugosidad. Incluso al estar basada en rugosidad de superficie,  $n$  en la práctica se trata a veces como un parámetro localizado para todas las pérdidas de carga hidráulica. Al sustituir la ecuación No 1 en la ecuación No 3, se obtiene:

$$\text{Ec. No 4} \quad V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} * S^{1/2}$$

Material del tubo	variación		Uso en diseños	
	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Hierro fundido limpio	0.011	0.015	0.013	0.015
Hierro fundido sucio o tuberculazo	0.015	0.035		
Acero remachado o acero en espiral	0.013	0.017	0.015	0.017
Acero soldado	0.010	0.013	0.012	0.013
Hierro galvanizado	0.012	0.017	0.015	0.017
Duela de madera	0.010	0.014	0.012	0.013
Concreto	0.010	0.017		
Buena fabricación			0.012	0.014
Mala fabricación			0.016	0.017

Tabla No II.3. Valores de  $n$  para el sistema de ft-lb-seg.

Los canales abiertos se deben diseñar para evitar el flujo supercrítico. La razón para esto es que el agua que se mueve por un canal a altas velocidades puede generar olas y hacer que esa agua sobresalga de los lados del canal y forma cauces en la salida corriente abajo.

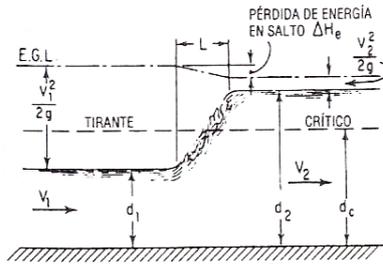


Figura No II.8 Diagrama del salto hidráulico.

Para limitar los efectos de la formación de causas en la salida, se pueden colocar disipadores de energía en el canal. Un disipador de energía puede ser un salto que altere la pendiente del canal de pronunciada a suave.

De manera alternativa, es factible colocar elementos ásperos o rugosos como bloques, en el canal para incrementar la resistencia al flujo y disminuir la posibilidad de que ocurra el salto hidráulico.

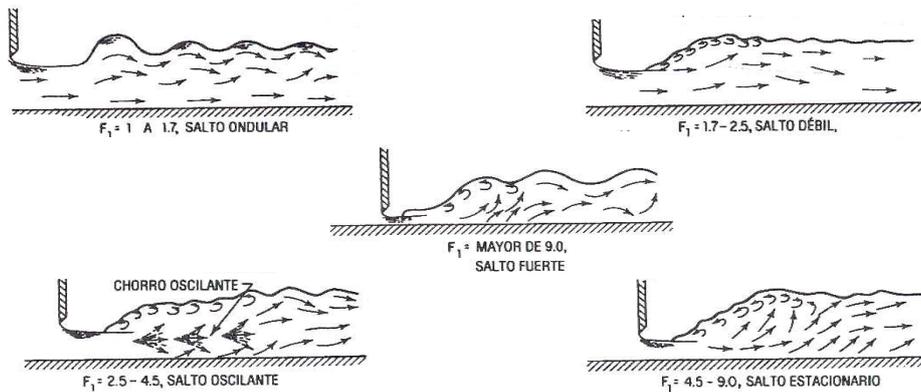


Figura No II.9 Tipos de salto hidráulico.

### Alcantarillas.

Las alcantarillas son parte importante de las obras de drenaje, ya que son de gran ayuda para recolectar los escurrimientos y dirigirlos a las zonas de manejo de los mismos. Llamamos alcantarilla al conducto cerrado que sirve para el paso del escurrimiento de un canal abierto hacia otro abierto o no. Un ejemplo es un tubo de metal corrugado debajo de una carretera. En la figura No II.10 se muestran varios tipos de secciones transversales de las alcantarillas usadas en vías carreteras y se indican los tipos de materiales usados en el diseño de las mismas.

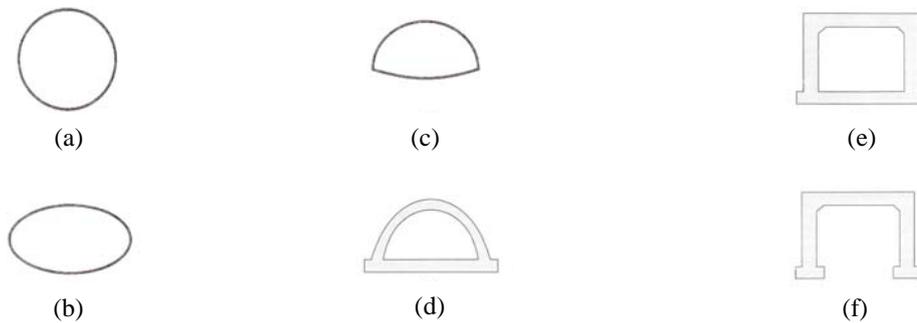


Figura No II.10 Secciones más comunes de alcantarillas en carreteras. a) tubo circular, por lo común de materiales rígidos y resistentes a la erosión, tales como el concreto o el acero, arcilla vitrificada o hierro fundido; b) tubo elíptico, en general de concreto reforzado o de metal corrugado; c) arco de tubo de concreto recolado; d) arco de metal corrugado o de concreto reforzado; e) alcantarilla de caja de concreto reforzado; f) alcantarilla en puente, de concreto reforzado.

Para las alcantarillas pequeñas, se pueden usar tamaños comerciales de tubo de metal corrugado. Sin embargo, para los flujos mayores, es común utilizar tubos de caja de concreto o varios tubos. Si la cimentación de la alcantarilla no es susceptible a la erosión, se puede construir un puente sobre la vía de agua. La selección de una alcantarilla que pasa por debajo de una carretera debe tener la capacidad de soportar las cargas inducidas por el tráfico que pasa sobre ella. Sabiendo que los tubos de metal corrugados son flexibles, estos pueden recibir la ayuda del suelo que los circunda para soportar las cargas de gravedad. Por otra parte, las alcantarillas de concreto reforzado tienen que soportar las cargas sin esa ayuda.

Las alcantarillas se instalan normalmente sobre el lecho existente de un canal, ya que esto da como resultado una menor cantidad de trabajo en la modificación de las condiciones existentes de drenaje, pero para evitar tramos demasiado grandes de alcantarilla, es necesario volver a ubicar un canal existente y realizar las obras de alcantarilla correspondiente, por ello se colocan alcantarillas a tramos diseñados de proyecto a distancias adecuadas.

Por lo regular para seleccionar y especificar las alcantarillas, se utilizan métodos empíricos de desalojo del agua de escurrimiento en un tiempo dado. Con la utilización de datos tomados de la experiencia, los diseñadores están en la capacidad de seleccionar alcantarillas de un tamaño mínimo para cada caso, a partir de normas basadas en las características del proyecto que se va a construir. No obstante, las estructuras más grandes de arco de concreto y del tipo de caja se diseñan para las cargas específicas de servicio.

## Drenaje subsuperficial.

También el agua que se encuentra en los estratos subyacentes del suelo de una carretera es necesario conducirla y evacuarla lo mejor posible, ya que esta agua puede moverse hacia arriba por acción capilar o puede pasar hacia abajo de esos estratos subyacentes, a través de las grietas y de las juntas del pavimento. En cualquiera de los dos casos, el agua puede causar el deterioro de los estratos de soporte de la carretera y del pavimento. Con el fin de evitar este deterioro, se usa drenaje subsuperficial para extraer el agua de la subrasante de la carretera y para interceptar el agua subterránea, antes de que fluya hacia esa subrasante.

La falta del drenaje subsuperficial puede ocasionar la falla de segmentos importantes de la carretera y la inestabilidad de los taludes. En la siguiente figura se muestra un dren interceptor, instalado para interrumpir el flujo subterráneo de agua para impedir que esta última se cuele hacia la subrasante de una carretera.

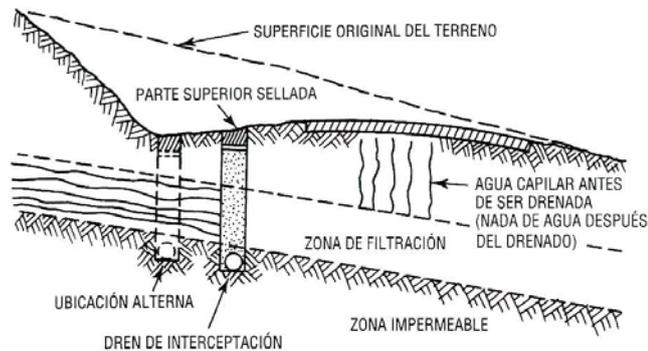


Figura No II.11 Dren interceptor (drenaje subsuperficial).

Es importante mencionar que se debe sellar la parte superior de la zanja, para prevenir la sedimentación.

Un asentamiento y relleno típicos para un desagüe inferior de tubo, se construye al excavar una zanja con una profundidad especificada por proyecto, para colocar un tubo en la zanja y, a continuación, rellenar la zanja con un material poroso y granular. Los tubos normalmente usados son de metal corrugado o concreto poroso, con la particularidad de que dicho tubo debe ser perforado. Este tipo de obra la podemos observar en la figura No II.12. Las dimensiones de los tubos por lo general se basan en experiencias, pero para proyectos de gran magnitud y relevancia, es necesario un diseño específico para el sitio.



Figura No II.12 Diagrama de un desagüe inferior.

En la figura que a continuación se presenta, se muestran los drenes tal como se usan en ambos lados de un camino para eliminar el agua superficial que puede quedarse atrapada cuando se tiende una base permeable sobre una subrasante relativamente impermeable. En las pendientes pronunciadas, se pueden agregar además drenes laterales debajo del pavimento. A los drenes longitudinales de la base se les debe de dar salida en puntos convenientes, los cuales pueden estar separados 30m. o más entre sí.

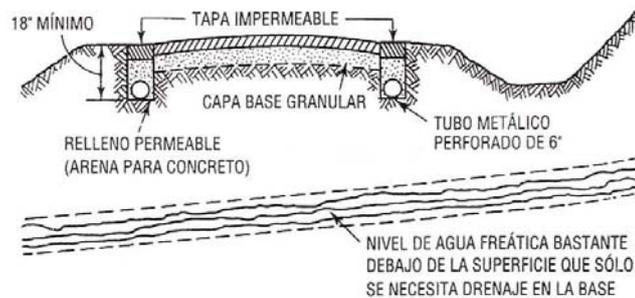


Figura No II.13 El tipo de drenes que se muestra en la figura, extraen el agua superficial que queda atrapada cuando se extiende una base impermeable sobre una subrasante relativamente impermeable.

### Colectores de agua de lluvia.

Son tubos subterráneos los cuales están preparados para recibir el escurrimiento de una boca de alcantarilla en la orilla para conducirlo y descargarlo en una masa de agua alejada del camino. Es común que a los colectores de agua

de lluvia se les de las dimensiones para el escurrimiento anticipado y para la capacidad de carga del tubo a partir de la formula de Manning.

En general, los cambios en la dirección del colector se hacen en las bocas, en las cuencas de captación o en los pozos de acceso. Estos últimos sirven para dar mantenimiento a los colectores, estos pozos de acceso o de visita, como también son llamados, se colocan más o menos a cada 150 m. o lo que se determine en específico, según requiera el proyecto.

Un sistema de colectores de este tipo, deben de conectarse con un sistema existente de drenaje, como una corriente u otro sistema colector de agua de lluvia que a su vez se conecta a una corriente o una masa de agua determinada. Es importante estudiar las condiciones corriente abajo, para saber e implementar la seguridad de una vía adecuada y de que el nuevo sistema no tendrá un impacto adverso sobre el medio ambiente. Si el impacto ambiental no es aceptable, será necesario estudiar mejoras o alternativas posibles a las salidas corriente abajo para absorber el flujo adicional o para hacer que el esquema de drenaje sea aceptable, de alguna otra manera.

Es de gran importancia señalar los tipos de revestimientos con los que cuenta una carretera para el diseño hidráulico (desde el punto de vista de absorción o velocidad de flujo, así como para la adecuada recolección y encause de dichos flujos), para su superficie de rodamiento y, como influyen las capas inferiores en el buen desempeño y durabilidad de dicho revestimiento. Los revestimientos se pueden dividir para carreteras en forma, no caminos rurales, en dos tipos de pavimentos: los pavimentos flexibles; y los pavimentos rígidos.

La decisión de cual tipo de materiales a emplear se define dependiendo de varios factores a la hora de diseñar y construir una carretera, tales como: la disponibilidad de materiales locales, los costos en consecuencia, la cantidad de tráfico y las consideraciones de mantenimiento a futuro. Es importante puntualizar que los pavimentos flexibles se pueden deformar y no recuperarse por completo cuando esta sujeto a cargas repetidas, sin embargo es de fácil mantenimiento, aunque probablemente, en un futuro sea posible que dichos costos de mantenimiento superen a los costos de un pavimento rígido, ya que este último, necesita muy poco o nulo mantenimiento.

Para la colocación del pavimento flexible por lo general se conforman varias capas inferiores que le servirán de base, soporte y estabilidad. Los componentes principales, desde abajo hacia arriba, son la subrasante, la subbase, en pocas ocasiones se usa la base granular de manera adecuada y, por último, la superficie de desgaste o recubrimiento, conformada por el pavimento flexible.

Los pavimentos a base de concreto hidráulico (cemento) se consideran pavimentos rígidos, mientras que los pavimentos flexibles están formados por materiales bituminosos. El pavimento flexible más usado en nuestro país es el concreto asfáltico, sin embargo, existen pavimentos flexibles alternativos ya que

en estos tiempos se cuenta con diversas tecnologías que introducen nuevas alternativas para los diferentes tipos de pavimentos clasificados como flexibles. Dentro de los que más destacan son: las mezclas de asfalto azufrado, superficies de desgaste impregnadas con caucho, sistema superpave de de diseño de mezclas, pavimentos porosos, aditivos de cal hidratada y los pavimentos de asfalto reciclado, entre otros.

## **II.5. Pavimentos flexibles.**

### **Mezclas de asfalto azufrado.**

Para los pavimentos flexibles es factible utilizar azufre de diferentes maneras. En uno de los métodos, el azufre sirve como un filtro. En otro método, se mezcla el azufre y el asfalto para formar una composición de asfalto con azufre extendido.

En el método del azufre como filtro, se añade azufre a una mezcla caliente de asfalto y arena, después de que se han mezclado este último y el agregado. El azufre llena los vacíos y enclava las partículas de arena, estabilizando la mezcla. Para el asfalto con azufre extendido, el azufre caliente se dispersa hacia dentro del asfalto para crear un aglutinante que, entonces, se mezcla con el agregado. La producción de asfalto con azufre extendido sólo requiere una ligera modificación de la planta de mezcla caliente. En todo lo demás, las operaciones y el equipo de construcción para este tipo de pavimento son los mismos que para el pavimento asfáltico.

En la práctica se exigen profundidades de capas de grava de por lo menos 1.50 m., de bajo de la superficie del suelo, para dar lugar a una superficie estable de apoyo de la carga. Cuando no se cuenta localmente con grava, como con frecuencia sucede en muchas zonas, debe transportarse desde otros sitios, ocasionando costos considerables, esta es la razón por la cual esta capa no se construye de manera adecuada, e incluso en otras no se coloca. En otras ocasiones para reducir estos costos, se puede reducir de manera significativa la cantidad de grava requerida a través del azufre en forma de espuma con esa grava. No obstante, en general, existen riesgos para la salud asociados con el uso del azufre. Por ejemplo, en la planta de producción de azufre y en el sitio de construcción, se pueden causar gases nocivos, como el bióxido de azufre y el bisulfato de hidrógeno.

### **Superficies de desgaste impregnadas con caucho.**

Se puede añadir el caucho a una mezcla de concreto asfáltico, o bien, aplicarse a la superficie del pavimento, después de la colocación y la compactación.

El caucho mejora las cualidades de la pavimentación de las mezclas calientes usadas en las capas de desgaste, reduce además, la susceptibilidad a la temperatura, disminuye el desmoronamiento en el borde, ofrece un mejor control de los vacíos y disminuye la tendencia a fluir, mejorando la flexibilidad y la adhesión a los agregados.

### **Sistema superpave de de diseño de mezclas.**

Este sistema desarrollado por el Strategic Highway Research Program (SHRP), es un método para diseñar mezclas de pavimento flexible que se adecuen a características específicas de un proyecto dado. Dicho sistema ayuda a la selección de combinaciones de aglutinante asfáltico, agregado y cualesquiera factores necesarios para obtener un nivel deseado de rendimiento del pavimento diseñado. Dicho en otras palabras, el método busca conformar mezclas de pavimento flexible asfáltico y agregados ideales, de costo más bajo para el nivel anticipado de servicio.

El método superpave es aplicable a los distintos niveles de tráfico y, en él se emplean técnicas de laboratorio y de pruebas de campo. En estos tiempos el sistema en cuestión se ha escalado hasta niveles de creación de software de computadora, el cual realiza el proceso de cálculo y diseño para las mezclas. También en estos software basados en las especificaciones y normas del sistema superpave se toman en cuenta el análisis anticipado de niveles de tráfico, condiciones ambientales, el diseño de capas múltiples para el buen desempeño del pavimento flexible, tal como la capa base, de ligazón y superficial. Con base en estas condiciones, se puede elegir, por ejemplo, un tipo específico de ligante asfáltico, para un proyecto en específico.

En el sistema superpave, la utilización y adición de diferentes materiales se encuentra considerado, con el fin de obtener un mejor rendimiento, funcionalidad, costo y durabilidad de las mezclas, los materiales que pueden emplearse, pueden ser diversos, entre los que destacan las fibras, la cal hidratada, incluso el azufre, con el fin de acrecentar como se mencionan antes, la capacidad de las mezclas de pavimentación y evitar el deterioro del pavimento en lo más posible.

### **Pavimentos porosos.**

Los pavimentos porosos, en esencia, no es más que la mezcla de pavimentos asfálticos sin finos (agregados finos como la arena), esta característica ofrece varias ventajas, como la eliminación del agua del pavimento, con ayuda de obras de drenaje subsuperficial, evitando con ello daños provocados por el agua atrapada, aumentando de esa manera la duración del propio pavimento. Por otro lado, los pavimentos porosos, reducen el acuapleneo, incrementando por consiguiente la seguridad de circulación en la vía. Además, durante la lluvia no se perjudica la visibilidad del conductor, debido a que el agua

se percola con rapidez. Sin embargo tal y como se menciono antes, el sistema de drenaje subsuperficial debe ser de un nivel de excelencia, para evitar deterioros prematuros tanto a la superficie de rodamiento como a las capas inferiores. Desde un punto de vista estético, no existe una diferencia visual elemental entre los pavimentos porosos y los convencionales, no permeables.

### **Aditivos de cal hidratada.**

Este tipo de aditivos tienen un espectro de uso amplio en mezclas calientes que contienen agregados de una calidad de cierta calidad, que cae en lo aceptable. La cal como es sabido en ingeniería civil funciona como un aglutinante o como un aditivo, en lugar de servir como relleno de vacíos, incrementando la resistencia y la estabilidad en una mezcla de asfalto, a un costo relativamente barato, al mismo tiempo que la hace más resistente al agua. Asimismo, al endurecer las mezclas, permite que la compactación sea más rápida y da lugar a densidades más altas.

### **Pavimentos de asfalto reciclado.**

Los materiales utilizados en una carretera, son factibles de usarse en otras mezclas nuevas al programarse los reemplazos de la misma, por mantenimientos. También, son susceptibles de utilizarse como parte de los materiales para la base subyacente, no tratado. El reciclaje se puede llevar a cabo en el lugar o en una planta central.

Cuando el pavimento asfáltico se va a reciclar en el sitio, se aplica un proceso conocido como reciclaje in situ de pavimento asfáltico, de mezcla en frío. En este proceso, los materiales del pavimento existente se desgarran, quiebran, pulverizan y mezclan en el lugar, con asfalto u otros materiales, como agregados o agentes estabilizadores. Suelen requerirse los otros materiales para dar lugar a una base de resistencia más alta.

El proceso requiere que se coloque una capa superficial asfáltica sobre la capa reciclada. Una desventaja de este proceso es que el control de la calidad no es tan bueno en el campo, como lo sería en una planta central. Otra es que resulta difícil en algunos casos el control vehicular, para evitar la interferencia con el equipo de reciclaje, y para evitar tanto congestionamientos, como accidentes. Sin embargo, el proceso de mezcla en frío también se puede conducir en una planta central, en donde el mayor control de la calidad proporciona eficiencia y confiabilidad mayores de la mezcla. Por otra parte, las plantas proporcionan una capacidad más elevada de producción y uniformidad.

El reciclaje del pavimento asfáltico, de mezcla en caliente, proporciona una alternativa al proceso en frío, esta mezcla en caliente, `por lo general se lleva a cabo en una planta central. En este proceso, los materiales recuperados, se

extraen de una vía existente de manera semejante a la descrita para el proceso de mezcla en frío y se combina en la planta central con asfalto nuevo. En el método de mezcla en caliente a veces también se utilizan agregados no revestidos provenientes de la capa base, para producir la mezcla caliente. En general, para este proceso en caliente se usa uno de los siguientes tipos de plantas:

- Intermitente.
- Revolvedora de tambor.
- Revolvedora continua.

Varios factores influyen en el proceso de reciclaje. Estos incluyen la disponibilidad del equipo para reciclar, el impacto sobre el tráfico que pasa por el sitio de construcción, así como el tamaño y la ubicación del proyecto. No obstante, en la situación correcta, el reciclaje puede ofrecer ventajas económicas y ambientales.

### Capas para pavimento flexible.

Parte fundamental de los pavimentos flexibles son las capas subyacentes que le confieren estabilidad y soporte.

Como se mencionó con anterioridad, las principales capas componentes para un pavimento flexible, empezando de abajo hacia arriba son:

1. Subrasante.
2. Subbase.
3. Base granular (Base).
4. Capa superficial.

Superficie de desgaste (pavimento flexible en este caso).

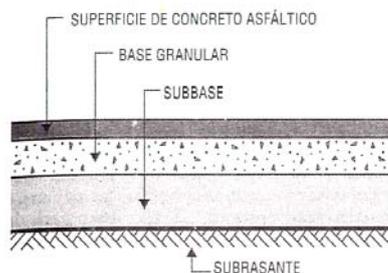


Figura No II.14 Capas para un pavimento flexible.

#### 1. Subrasante.

Esta capa es en sí, el suelo subyacente que sirve como cimentación para un pavimento flexible. Dicha capa puede estar formada por el suelo del sitio como

se ha mencionado, o bien, de una capa de materiales prestados y seleccionados que se compactan hasta una profundidad debajo del nivel diseñado de la capa subbase. Si el material nativo es lo suficientemente estable y de calidad para la obra, es totalmente factible y económico usarlo. Si la subrasante satisface los requerimientos de una capa subbase, se puede omitir esta última.

## *2. Subbase.*

La subbase esta conformada por una capa de material granular compactado, tratado o no, o bien, en una capa de suelo tratado con un aditivo adecuado. Esta capa se diferencia de la base en que se sujeta a especificaciones menos estrictas respecto a la resistencia, los tipos de agregados y la gradación. Además de su importante función estructural como parte de la sección transversal del pavimento, la subbase también puede cumplir con muchas funciones secundarias, como la de limitar el daño debido a las heladas, prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura del pavimento o debajo de ella e impedir la intrusión de suelos de grano fino de la subrasante hacia las capas base.

En los cortes de roca, la capa subbase también puede actuar como una plataforma de trabajo para el equipo de construcción o para las capas subsiguientes de pavimento. El desempeño de estas funciones secundarias depende del tipo de material seleccionado para la capa de subbase.

## *3. Capa base.*

La capa base se apoya sobre la capa subbase, o bien, si no se colocó esta última, sobre la capa subrasante, y directamente debajo de la capa superficial. La base se diseña como parte estructural del pavimento y, esta constituida por materiales agregados como piedra triturada, escoria triturada, grava y arena, o de una combinación de estos materiales. Las especificaciones para los materiales de la capa base son mucho más estrictas que para los de la subbase. Específicamente, éste es el caso para propiedades como la resistencia, la estabilidad, la dureza, los tipos de agregados y la gradación. La adición de un aditivo estabilizador, como el cemento portland, el asfalto o la cal, puede mejorar las características de una amplia variedad de materiales que, si no se tratan, no resultarían adecuados para usarse como capa base. Desde un punto de vista económico, este tratamiento es especialmente benéfico cuando existe un suministro limitado de material no tratado que sea adecuado.

## *4. Capa superficial.*

Esta capa esta diseñada para soportar las cargas ocasionadas por el tráfico, resistir las fuerzas abrasivas, limitar la cantidad de agua superficial que penetra en el pavimento, proporcionar una superficie resistente al patinaje y

ofrecer una superficie lisa para transitar. Para cumplir con estas exigencias, la capa superficial debe ser durable, sin importar las condiciones climatológicas. Si el pavimento es flexible, el material utilizado es de tipo bituminoso y de agregados minerales bien graduados y que tienen un agregado máximo, más o menos  $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada. Se han usado otras diversas gradaciones, que van desde arena hasta mezclas gruesas, bien graduadas, de agregados finos y gruesos, con resultados satisfactorios en condiciones específicas.

## **II.6. Pavimentos rígidos.**

### **Pavimentos rígidos.**

Un pavimento rígido, es una capa de desgaste más durable que una del tipo flexible, y por lo general, consta de una losa de concreto de cemento portland que se apoya sobre una subbase. Es posible prescindir de la subbase, si el material de la subrasante es granular. La losa posee características de viga que le permiten extenderse de un lado a otro de las irregularidades en el material subyacente.

La subbase para un pavimento del tipo rígido consta de una o más capas de material estabilizado o granular, la cual da un apoyo uniforme, estable y permanente para la losa de concreto. Un punto importante a considerarse es evitar la acumulación de agua, la que provoque daños a la estructura carretera, por tanto la AASHTO, recomienda la extensión de la subbase de 0.30 m. a 1.0 m. más allá del ancho de la vía o hacia el talud interior de la cuneta. Otra prerrogativa es la prevención de la erosión, en particular en las juntas de las losas y los bordes del pavimento. Para resolver esto, a veces se usan capas de concreto pobre o poroso como material de la subbase. Un pavimento rígido puede ser de concreto simple, concreto reforzado o de concreto presforzado.

Los pavimentos de concreto reforzado pueden ser continuo, o bien, estar formado por secciones unidas. Los pavimentos de concreto simple, no tienen refuerzo, excepto por las varillas de acero de amarre usadas para mantener firmemente cerradas las juntas longitudinales.

Para pavimento de concreto reforzado con uniones, el acero de refuerzo tienen la función de controlar el agrietamiento causado por la expansión y contracción térmicas, el movimiento del suelo y la humedad. Para el pavimento de concreto reforzado en forma continua, el acero de refuerzo principal es el colocado en forma longitudinal, este acero puede ser a base de varilla corrugada o bien malla de alambre corrugado, este acero tiene la finalidad de controlar el agrietamiento causado por los cambios de volumen en el concreto. También se puede proporcionar un refuerzo transversal para controlar el ancho de las grietas longitudinales. Es importante tomar en cuenta las propiedades de concreto a utilizar para este tipo de carpeta de rodamiento, dicho material debe cumplir con características adecuadas de diseño para esfuerzos a tensión, contracción y coeficiente térmico. En general las losas de concreto reforzado están constituidas

por concreto de cemento portland, acero de refuerzo, dispositivos de transferencia de carga y juntas de sellado (si el caso lo requiere).

### **Los dispositivos de transferencia de cargas.**

Los dispositivos de transferencia de cargas se instalan entre los extremos de las losas colindantes para transferir las cargas del tráfico de una a la otra ofreciendo, poca o ninguna resistencia a los movimientos longitudinales de estas losas. Estos dispositivos van desde una espiga de diámetro grande (barra de trabazón), por lo regular de acero, hasta la técnica de entrelazar los agregados utilizados. Una barra de trabazón, proporciona resistencia a la flexión, al corte y al apoyo. La forma de colocar la barra es ahogar un extremo de la barra en el concreto, mientras que el extremo opuesto queda libre, a este extremo último, se le puede recubrir con asfalto, evitando la liga con el concreto. La barra de trabazón varía de tamaño dependiendo del espesor de la capa de concreto, teniendo por lo menos 18 pulg., el diámetro mínimo de 1 1/8 pulgadas. El espaciamiento entre las barras de trabazón, por lo general es de 12 pulgadas.

### **Juntas.**

Las juntas en los pavimentos de concreto tienen la finalidad de reducir los efectos nocivos ocasionados por la expansión y la contracción. Además, facilita el colado de las planchas y deja espacio para la liga de las losas colindantes. Las juntas pueden ser transversales, que pueden ser de expansión o de contracción y, dependiendo de la función a las que se les destine, longitudinales.

La función principal de una junta de expansión transversal es permitir el movimiento de las losas debido a cambios de temperatura, si no se colocarán estas juntas de expansión, la losa, dependiendo de su longitud, podría abombarse o reventarse. En las juntas, se debe colocar relleno, como caucho, betumen o corcho, que permita la expansión de la losa y excluya la suciedad y la filtración de agua en esta zona. Para el caso de las juntas de contracción, estas se colocan para limitar los efectos de las fuerzas de tensión en una losa de concreto, causados por una caída en la temperatura. Se debe debilitar la losa, de modo que si las fuerzas de tensión son grandes como para agrietarla, las grietas se formarán en las juntas. Su profundidad es de  $\frac{1}{4}$  de la profundidad de la losa. Estas juntas se pueden formar al aserrar el concreto endurecido, colocando insertos de plástico en los lugares de las juntas, o bien, trabajando el concreto después de haber sido colado pero antes de que éste haya endurecido por completo.

Las juntas longitudinales, se forman paralelas a la línea central de la carretera para facilitar la construcción de los carriles y prevenir la propagación de grietas longitudinales irregulares. Las juntas longitudinales se pueden acuñar, juntar a tope, formar mecánicamente o ranurar con sierra. Para impedir que los carriles adyacentes se separen o formen una falla, deben de ahogarse varillas de

amarre o conexiones de acero en el concreto, perpendiculares a las juntas. La profundidad de este tipo de juntas debe ser mínimo de  $\frac{1}{4}$  del espesor de la losa y, el espaciamiento máximo entre ellas es de 16 ft, recomendado por la AASHTO.

Cuando se interrumpe el colado de concreto para una losa, es conveniente una junta de construcción en dicha junta fría. A veces también resulta conveniente usar acero de amarre para mantener cerrada la junta.

Es totalmente recomendado el sellar las juntas, sean del tipo que sean, con esto se puede excluir la suciedad y el agua de ellas, y así, darle durabilidad a la carretera. Los tipos básicos de selladores que se usan son líquidos, sellos elastoméricos preformados y rellenos de corcho.

Los sellos líquidos se vierten en la junta en donde se deja fraguar. Los tipos de sellos líquidos que se usan incluyen al asfalto, el caucho colado en caliente, compuestos elastoméricos no preformados, silicona y polímeros.

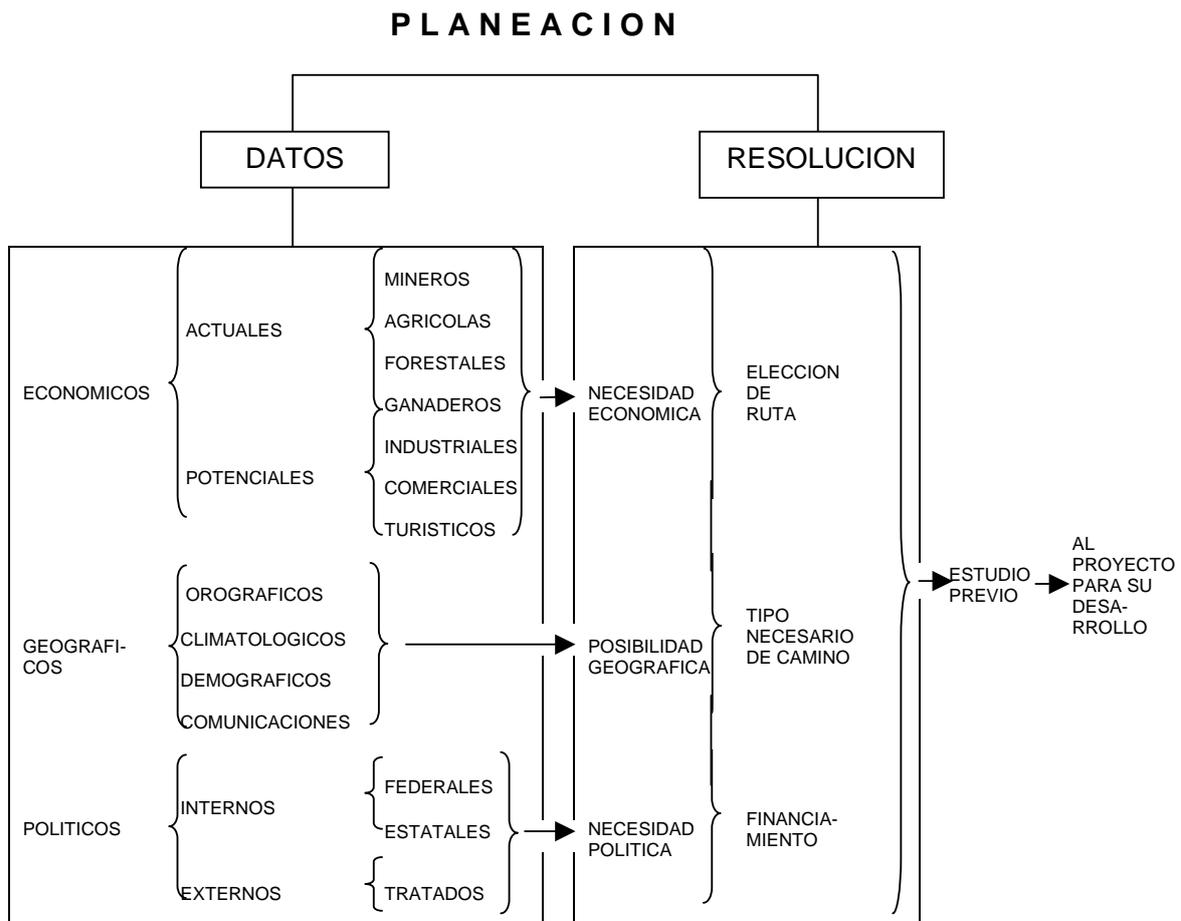
Los sellos elastoméricos preformados consisten en tiras extruidas de neopreno con almas internas que ejercen una fuerza hacia afuera contra las caras de la junta. A este tipo de sellos se les coloca un recubrimiento adhesivo para sujetarlos a las caras de la junta.

### III. LA PLANEACIÓN.

La planeación debe hacerse sistemáticamente a cualquier nivel, desde el personal hasta el empresarial y gubernamental. Los tiempos y las actividades se programan; los esfuerzos se dirigen hacia el logro de metas y objetivos.

La planeación es en sí, una buena administración que permite la anticipación y preparación para acontecimientos futuros y se aboca a la prevención de problemas a priori, así como la corrección de los existentes. Ayuda a satisfacer las necesidades humanas básicas de manera ordenada, con lo que conlleva incluso en tiempo y dinero, lo que significa que ayuda a proteger y conservar los recursos, así como mantener la calidad del medio ambiente. Los estudios de planeación, al examinar racionalmente el conjunto de soluciones a los problemas existentes, deben llegar a una solución que no se convierta en un problema futuro.

Esquema de Planeación de un camino:



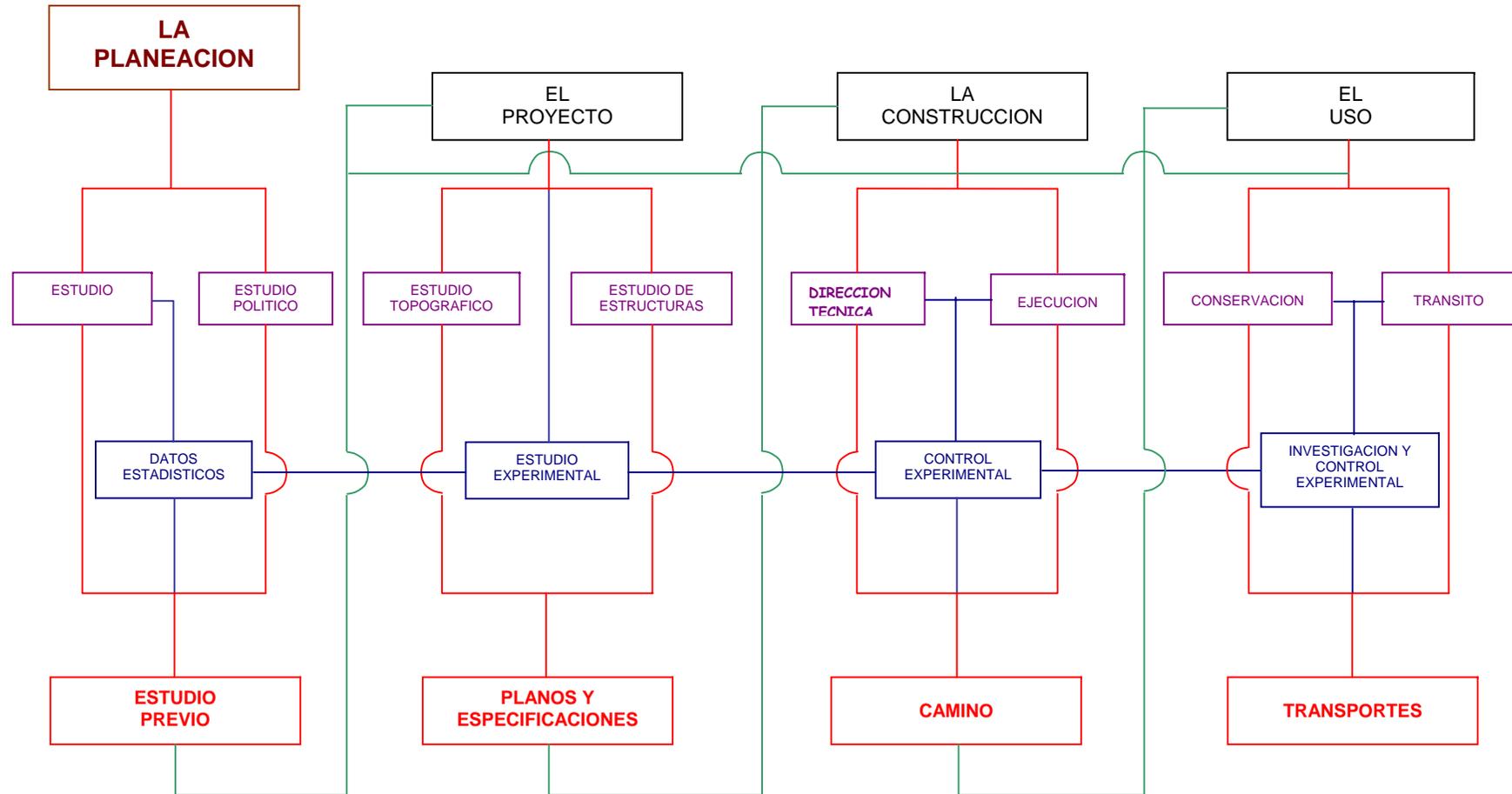
Cuadro No. III.1

La principal meta de la planeación es lograr la asignación más eficaz de los recursos, cumpliendo cabalmente la consecución de los trabajos realizados para satisfacer las diversas necesidades, procurando minimizar al máximo o desaparecer la posibilidad de problemas futuros. La planeación es un marco de referencia en que se adoptan acciones inmediatas dentro de un contexto de metas y objetivos más amplios.

### **III.1. Niveles de planeación.**

El nivel de un programa de planeación depende de la naturaleza del problema por tratar y de sus soluciones. Por ejemplo, un problema de calidad de aire no se puede tratar o corregir a nivel de un vecindario. Por lo general, la planeación a escala vecinal se dirige hacia los servicios básicos y necesidades comunes de la pequeña zona, mientras que la planeación a nivel regional apunta hacia los servicios e instalaciones más especializados o hacia los problemas que requieren una solución regional. La planeación debe situarse en el contexto de la escala superior siguiente, para que se cubran de manera eficiente las necesidades de una población: el vecindario debe de estar planeado con relación a la comunidad y ésta dentro del contexto de la región.

## FASES DE UN CAMINO



La obra realizada por la planeación en el estudio previo. Éste pasa como se indica en el cuadro anterior, al proyecto. El proyecto se elabora teniendo el estudio previo como punto de partida y realizándose los estudios topográficos, experimental y de estructuras para formar los planos y especificaciones de construcción. Estos pasan a la siguiente fase que es la construcción, la cual realiza la obra a través de la Dirección Técnica, el Control Experimental y el equipo de construcción. El resultado de este trabajo combinado es el camino que pasa al uso, o sea la fase final para la cual se planeó, se proyectó y se ejecutó la obra.

Algunos acostumbran 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, tal y como se mencionó en capítulos anteriores. Sin embargo a nuestra consideración los términos deberían estar invertidos.

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 y proyectada dentro de parámetros de funcionalidad, viabilidad y seguridad.

### **III.2. Metodología en la planeación más común.**

Casi todos los problemas de planeación se estudian con la misma metodología básica, la cual incluye los siguientes elementos fundamentales:

- Identificar las condiciones y problemas actuales.
- Pronosticar las tendencias y necesidades.
- Establecer metas y objetivos.
- Delinear y evaluar planes alternativos.
- Seleccionar el plan recomendado o más funcional.
- Desarrollar técnicas detalladas de implantación y financiamiento (según sea el caso).

#### **Identificar las condiciones y problemas actuales.**

Un aspecto principal que consume más tiempo en el proceso de la planeación es la recolección y el análisis de datos sobre las condiciones presentes. Este análisis debe incluir una evaluación de los recursos y las restricciones (físicas o económicas) que pueden afectar o limitar las expectativas futuras; la identificación de las deficiencias y problemas existentes, así como las ventajas y recursos que necesitan protegerse y mantenerse. Es importante evitar concentrarse solamente en las deficiencias y los problemas, pues es de igual

importancia proteger los recursos disponibles y fortalecer las ventajas o puntos fuertes de la comunidad.

### **Pronosticar las tendencias y necesidades.**

Como el propósito de un plan es dirigir y controlar los sucesos futuros, es importante comprender los cambios que pueden resultar de la continuación de las tendencias y los programas actuales. Este proceso asegura la identificación de los cambios y tendencias históricas y un análisis de las causas básicas de estas tendencias y cambios, para verificar su validez actual. Las tendencias se proyectan a futuro, y las demandas y necesidades futuras se pronostican con base en dichas tendencias. Finalmente, se hace una evaluación de las tendencias para determinar lo siguiente:

- Representan conflicto o problemas futuros.
- Las necesidades y demandas proyectadas rebasarán los recursos disponibles.
- Las proyecciones y pronósticos son realistas a la luz de la información actual y si los cambios futuros pueden ser razonablemente anticipados.

### **Establecer metas y objetivos.**

Es conveniente establecer explícitamente las metas y objetivos del plan, para ayudar a garantizar que las metas y objetivos son los que desea la comunidad o región y que cubren sus necesidades y que cualquier conflicto entre las metas se detalle en el proceso de planeación. Las metas y los objetivos son los fines que se deben lograr, para los que se diseña el plan. Los términos son intercambiables, pero una meta representa un blanco que se logrará a largo plazo. Un objetivo se considera como un fin que puede ser alcanzado dentro del periodo de planeación. Las metas y objetivos como fines deben distinguirse de las políticas, estrategias, programas y acciones que son medios para alcanzar los fines; esto debe tomarse en cuenta de manera importante en obras de infraestructura (construcción pesada) como presas, obras de abastecimiento de agua potable de una ciudad o región y, lo que aplica a nuestro estudio, las vías de comunicación, hablando de carreteras, entre otras infraestructuras.

En algunos casos un objetivo puede alterar una tendencia proyectada o una demanda futura, considerada indeseable. Como ejemplo, un estudio de planeación para la comunicación de una región puede tener como objetivo la satisfacción de las necesidades futuras de tiempo de transporte, para dicha región. Aunque un planteamiento sería dotar de un nivel de comunicación básico para el transporte de personas y el intercambio de mercancías futuras, basadas en proyecciones de las tendencias existentes. Así, la planeación busca la satisfacción de las necesidades futuras, tomando en cuenta la alteración de las demandas a futuro.

### **Delinear y evaluar planes alternativos.**

Cuando se han establecido los objetivos y las metas, la planeación se centra y utiliza como herramienta en el caso de planeación regional para obras de gran envergadura, a las políticas, estrategias, programas y acciones diseñadas para alcanzar los fines impuestos. Puesto que por lo común hay alternativas para alcanzar dichas metas y objetivos, es usual evaluar distintos planes alternativos para ofrecer una mayor variedad de opciones para la consecución de los fines fijados. Cada alternativa debe evaluarse en cuanto a la satisfacción de cada meta y objetivo individual.

### **Seleccionar el plan recomendado o más funcional.**

Una vez evaluado cada plan alternativo, se selecciona el más conveniente por ser el que mejor satisface todas las metas y conlleva al cumplimiento de los objetivos planteados, aunque frecuentemente haya conflictos entre ellos pues algunos son más importantes que otros. Una matriz de metas por alcanzar puede ayudar a hacer más explícita y entendible la selección final del plan recomendado.

### **Desarrollar técnicas detalladas de implantación y financiamiento (según sea el caso).**

Cuando se ha seleccionado al plan adecuado, se tienen que delinear los programas y acciones específicos necesarios para llevar a cabo las políticas y estrategias del plan. Los programas y acciones específicas deben contener detalles tan importantes como los métodos de financiamiento, programación y necesidades de personal. Es tan importante demostrar prácticamente la forma de alcanzarse el plan como determinar las metas por lograr.

Para nuestro caso de estudio se puede observar en la tabla III.1 un procedimiento de planeación en el que interviene la participación pública o gubernamental, para la consecución de un proyecto, en nuestro caso carretero.

Etapa del proceso.	Función de los participantes.		
	Gobierno	Ciudadanos	Planificadores
1 Definir alcances y desarrollar programa de trabajo.	A		P
2 Recolección de información e inventarios.			P
3 Pronosticar tendencias y necesidades.			P
4 Análisis de problemas e identificación de metas.	P	P	A
5 Desarrollar planes alternativos.			P
6 Evaluar planes alternativos.	P	P	A

7	Seleccionar y adoptar el plan.		P	P	A
8	Desarrollar instrumentos de implementación.		A		P

P= Función principal, A= Función de apoyo.

Tabla III.1

Por ejemplo:

Los estudios económico, geográfico y político llevados a cabo por la planeación, concluyen la necesidad de unir los poblados A y B, tocando los intermedios C y D, con lo cual se define como ruta obligada A, C, D, B.

### III.3. Planeación de una carretera.

La planeación consiste en agrupar, dentro del análisis técnico, de manera armónica y coordinada, todos los factores físico-geográficos, socio-económicos y políticos que caracterizan a una determinada región.

El objetivo de lo anterior es el de descubrir claramente la variedad de problemas y deficiencias de toda índole, las zonas de mayor actividad humana actual y aquellas económicamente potenciales, para dar, por último como resultante, un estudio previo de las comunicaciones como instrumento eficaz para ajustar, equilibrar, coordinar y promover el adelanto más completo de la zona considerada, tanto en sí misma cuando en sus ínterinfluencias regionales, nacionales y continentales.

La conclusión da a conocer los grandes lineamientos de una obra vial por ejecutar, todo con fundamento en la demanda de caminos deducida de las condiciones socio-económico-políticas prevalecientes.

#### Consideraciones.

Las consideraciones físico-geográficas, así como los aspectos socio-económicos vistos mas adelante, son de gran relevancia ya ellos nos proporcionaran las bases para poder definir el tipo de camino necesario para alguna zona en particular.

Para la realización de las consideraciones se deberán de tomar en cuenta todas y cada una de las características geográficas y físicas de la región donde se vaya a hacer un proyecto carretero. A continuación se tratara de mencionar las características primordiales a tomar en cuenta.

Una vez ubicada el área total de la región que se destinara a nuestra futura carretera, se procederá a ubicar los límites naturales, como los son: sierras,

golfos, mares, etc. A continuación se procede a delimitar con los límites políticos de los estados, es decir, cuáles y cuántos son los estados por donde se trazará el camino. Se mencionará también todos los tipos de topografía del terreno por donde se consideró el trazo, así como también los rumbos, latitudes, longitudes y las superficies que ocupan cada uno de los diferentes tipos de terreno.

Se considerarán las condiciones climatológicas, meteorológicas, edafológicas, hidrológicas y de vegetación natural.

Una vez recopilada y organizada toda esta información, se procederá a establecer diferentes zonas de terreno de acuerdo con la similitud de sus características naturales como lo son: tipo de terreno, las condiciones climáticas, etc. esto para poder tener el conocimiento real de qué actividades realizaremos dentro de nuestras diferentes zonas, así como poder utilizar los recursos con mayor eficiencia.

### **Aspectos Socio-Económicos.**

Desde el punto de vista de la evaluación socio-económica de los proyectos carreteros y atendiendo a sus características físicas, financiamiento y nivel de participación en los objetivos de desarrollo, los proyectos carreteros se clasifican de la siguiente manera.

#### **Carreteras de función social.**

En este tipo de proyectos se utiliza para su evaluación el criterio del beneficio para la colectividad. Deben considerarse los costos por habitante servido, así como los elementos de carácter social que se logra, como, asistencia medica, educación, cultura, etc.

La información que se requiere para evaluar las carreteras en función social consiste en el número de habitantes potencialmente beneficiados, localizados en la zona de influencia del proyecto. Entendamos como zona de influencia aquella área geográfica, económica y social afectada y beneficiada directa o indirectamente por la construcción del camino.

#### **Carreteras de penetración económica.**

El criterio a utilizar en la evaluación de los proyectos de carreteras de penetración económica puede evaluarse bajo la perspectiva de desarrollo económico. Tomando en cuenta los efectos del aprovechamiento actual y potencial para la zona de influencia.

El beneficio para el proyecto se obtiene de la cuantificación de la producción obtenida y su incremento debido a la carretera que se registra en la zona de estudio; pueden también incorporarse en cierta medida el beneficio obtenido para la sociedad local en términos de aumento de ingresos por habitante.

Es recomendable para recabar la información necesaria, que el encargado del estudio reciba la colaboración de un experto en el rubro agrícola, que conozca los recursos que se van a obtener, para esto debe limitarse la zona de influencia, clasificar el suelo según su uso y aprovechamiento, conocer la producción agrícola y ganadera actual, superficie agrícola aprovechable, costos de transporte, ingresos por habitante, salario mínimo y longitud y costo del proyecto, entre otros.

### **Carreteras nuevas o mejoradas.**

Se evalúan mediante el criterio de rentabilidad económica. Se tienen como principales efectos los ahorros en costos de operación, disminución del tiempo de recorrido, aumento de la velocidad de operación. De la misma manera, una ruta alterna más corta o el mejoramiento en las especificaciones hacen abatir el tiempo de recorrido.

### **Método de análisis para la determinación de zonas vitales**

El método de planeación adoptado para cada una de las subzonas, combina un subprocedimiento analítico con otro gráfico. El primero, un estudio socioeconómico, tiene como finalidad descubrir y valorar las características de población, el grado de aprovechamiento de los recursos naturales, el rendimiento obtenido de las diferentes actividades productivas y los niveles de consumo; en resumen, la investigación tiene por objeto mediante la comparación de ciertos coeficientes, encontrar las categorías de cada zona, según la mayor o menor actividad humana que realicen, para después asignarles prioridades en la construcción de caminos.

En cuanto a población se refiere, es necesario conocer sus tendencias generales de crecimiento, su distribución en núcleos urbanos, suburbanos o rurales, su estructura ocupacional y su repartición sobre la superficie considerada; el cuadro total así obtenido se completa tratando los aspectos sanitarios–asistenciales, mortalidad por enfermedades endémicas, alfabetización, educación y características habitacionales.

El análisis económico, por otra parte, comprende los factores principales de la producción, la distribución y el consumo, a saber:

**AGRICULTURA.-** Monto de la producción; rendimiento de cada cultivo por hectárea y por trabajador agrícola; índice de productividad o eficiencia de la tierra; irrigación; problemas edafológicos; superficie cosechada y superficie susceptible

de abrirse al cultivo; mercado interno y externo de productos agrícolas; tendencia de la tierra; problemas, deficiencias y posibilidades.

GANADERÍA.- Valor de la producción; tipo de explotación pecuaria, calidad y cantidad del ganado; abundancia, escasez y clase de pastos; posibilidades para formar una industria ganadera integral; tamaño de la propiedad; el mercado de carne; rendimientos obtenidos y productividad del ganado; problemas y perspectivas.

SILVICULTURA.- Valor de la producción forestal; especies explotadas; aprovechamiento eficiente de los bosques; mercados y medios de transporte; posibilidades de la industria de la transformación; conveniencia y rendimiento de la explotación actual; problemas y perspectivas.

PESCA.- Valor de la producción; cálculo de los recursos marinos; rendimientos actuales en función de los procedimientos aplicados; perspectivas para la industrialización de los productos pesqueros; problemas y posibilidades.

MINERÍA.- Valor de la producción; principales minerales objeto de explotación; el problema de sus mercados; yacimientos minerales; transportes, posibilidades de establecer empresas que transformen ciertos minerales en manufacturas metálicas; problemas y perspectivas.

INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN.- Valor de producción; industrias existentes; facilidades para una conveniente localización; eficiencia y rendimiento de las industrias establecidas; mercado y transportes; problemas y perspectivas.

ACTIVIDADES COMERCIALES.- Estado actual y posibilidades de desenvolvimiento.

CRÉDITO Y HACIENDA.- Difusiones y alcances; crédito de las diversas ramas de la producción, crédito refaccionario agrícola y ganadero; crédito de habilitación; el seguro agrícola; recursos de la hacienda municipal; impuestos; posibilidades y perspectivas.

COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.- Estado actual; número de vehículos; líneas establecidas; posibilidades y perspectivas. Posible tránsito inducido y generado.

El procedimiento analítico hasta aquí descrito se complementa con el sistema gráfico, que se lleva a cabo al mismo tiempo y utilizando los mismos datos estadísticos; este último consiste en plasmar y localizar sobre mapas geográficos regionales, la realidad económica y social. El tránsito inducido se obtiene del análisis de origen y destino de caminos existentes, y el generado se obtiene del desarrollo probable de la región al hacerse la vía.

ZONAS VITALES.- Considerando en conjunto todos los factores hasta aquí someramente expuestos, que se reducen al análisis de la población, recursos, producción y consumo, se llega al conocimiento de zonas vitales, como aquellas que soportan una gran actividad humana y económica.

### **Economía de caminos.**

Los gobiernos dedican los fondos públicos al mejoramiento de carreteras porque estas benefician a la sociedad, ya sea a toda o bien una parte. Los buenos

sistemas de transporte elevan el nivel de toda la economía proporcionando un transporte expedito de las mercancías; ayudan en mucho a los problemas de la defensa nacional, hacen más sencillas la prestación de servicios comunales tales como la policía y la protección contra incendios, las atenciones medicas, los servicios escolares y la entrega de correo; abren mayores oportunidades para la diversión y el recreo.

Las carreteras benefician al terrateniente debido a que un sencillo acceso hace a su propiedad más valiosa. Por otra parte el mejoramiento de las carreteras absorbe dinero que podría ser utilizado para otros propósitos productivos por los individuos o por el gobierno. Pueden ser justificadas solamente si en resumen, las consecuencias son favorables; esto es, si las reducciones de costos a los usuarios de carreteras y a otros beneficiarios del mejoramiento exceden los costos, incluyendo cierto margen para la recuperación del dinero invertido.

La economía de carreteras estuvo bajo discusión hace más de un siglo. El profesor de Ingeniería Civil W. M. Gillespie estableció que "Un gasto mínimo es, por supuesto, deseado" pero la carretera que es realmente la más económica, no es la que ha costado menos, sino la que proporciona mayores beneficios en razón del dinero que se invirtió para hacerla".

### **Marco para los estudios económicos en carreteras.**

Los estudios económicos se relacionan con la predicción de los hechos futuros; esto es, las consecuencias monetarias anticipadas de diferentes cursos de acción. Tratándose de individuos aislados o de negocios, el punto de vista es reducido, el objeto del estudio es determinar únicamente los más ventajosos cursos de acción desde el punto de vista de los individuos o de los negocios. Sin embargo, en el campo de los trabajos públicos, el acceso debe ser amplio e incluir todo; debe valorar las consecuencias para todos los que sean afectados en las mejoras propuestas.

La ley de control de avenidas de 1936, que estipulo que los beneficios, sin importar quien o quienes sean los afectados, deberán exceder los costos, expresa este punto de vista. Los estudios económicos para carreteras deben considerar por igual las consecuencias no solo para las agencias carreteras y usuarios de estas, sino también para todos los ciudadanos.

### **III.4. Costos de carreteras.**

#### **Elementos de costo.**

El primer costo total en la mejora de un tramo de carretera incluye los gastos de diseño y de ingeniería, los gastos para adquirir los derechos de vía y los costos de construcción del camino, estructuras y pavimentos. La selección de los

tipos de costos que se incluyen o se excluyen de los estudios económicos requiere un análisis directo y cuidadoso. Un análisis detallado no es posible presentarlo en esta tesis, ya que no es el fin de la misma. Sin embargo cuatro de las consideraciones más importantes son las siguientes:

1. En general, los costos fijos, usados para fines de contabilidad, deberían ser omitidos de los estudios económicos. Para ilustrar, un porcentaje determinado se puede añadir a los costos estimados para administración, planeación y cargos de ingeniería. Probablemente se incurrirá en estos costos dependiendo de que un proyecto específico se emprenda o no; si es así, no son pertinentes en comparación de los posibles cursos de acción. De otro modo, solo los costos añadidos o incrementados son aplicables.
2. Los gastos hechos antes del estudio económico no deben ser considerados. Estos son llamados costos con pérdidas o rebajados, en los cuales no podrá haber recuperación debida a una acción presente o futura. Por ejemplo, la base y pavimento de una carretera puede estar en buena condición y tener un "valor en libros" sustancial en los registros de la agencia carretera. Sin embargo, por alguna alternativa propuesta se abandona el camino, sería un error cargar un valor por esto contra cualquier alternativa en el estudio económico.
3. Todos los costos aplicables deben de ser incluidos y todos los cargos inapropiados excluidos. En este caso, los costos traspasados pueden causar problemas. Por ejemplo, en que uno de los planos propuestos para un arreglo de carretera requiera una compañía particular para hacer sus instalaciones por cuenta propia. Para un presupuesto fijo, este costo no se puede cargar contra el proyecto. Sin embargo, desde un estudio económico de trabajos públicos, si puede ser cargado: los recursos económicos se consumen, aunque sean pagados por fondos privados.
4. En cierto tipo de estudio económico es propio hacer un abono por el valor de rescate de una maquina o estructura al final de su vida útil estimada. Como regla general, el valor de rescate debería ser ignorado por los estudios económicos para carreteras. Es conjetura, en el mejor de los casos, suponer que la inversión en una carretera tendrá un gran valor, en un futuro de 20 o 30 años. Una excepción podría ser el asignar valor de rescate al terreno ocupado por el camino. Aun en esa situación, solo el valor bruto del terreno en su futuro uso determinado, después de deducir el costo de convertirlo en dicho uso, se incluirá. Otros costos asociados por la adquisición del terreno en primer lugar, tales como gastos legales y el costo de limpia de edificios, no podrán ser recuperados y no serán parte del valor de rescate.

### **III.5. Volumen y tipo de transito.**

#### **Elementos del transito.**

La aparición del transito se remonta a los orígenes mismos del hombre, cuando para desplazarse de un lugar a otro formo veredas, al domesticar a las bestias de carga amplio las veredas a brechas, con el paso del tiempo aparece la rueda y con esta las carretas y carruajes, sé amplio la capacidad de transporte y las brechas ceden su lugar a caminos rudimentarios. Desde estas épocas comienzan a manifestarse los efectos del transito como producto de la interacción del camino mismo y los usuarios y peatones.

Hacen su aparición los vehículos automotores y las primeras carreteras, los vehículos evolucionan rápidamente, se hacen más potentes, más veloces y aparecen explosivamente en todo el mundo. Como consecuencia de esto ultimo se acentúan los problemas de transito y se realizan las primeras investigaciones. En un principio se involucro el elemento humano como principal responsable en los conflictos de transito; en la actualidad se han establecido como elementos del transito los siguientes:

#### **Usuarios:**

- El peatón
- El pasajero
- El conductor
- El vehículo.

#### **Tipos de transito.**

Cuando se lleva a cabo la sustitución de una carretera S por otra C en mejor estado, sirviendo ambas a los mismos centros de población, se tiene la existencia de un transito de vehículos, previo a la construcción de la nueva carretera o a la modernización de la existente, llamado transito normal. Si no se construye la carretera C, él transito en la carretera actual aumentara de acuerdo a una tasa de crecimiento dada, cuyo valor seria completamente distinto si se llevara a cabo el proyecto. De estas observaciones se ha determinado la existencia de tres tipos de transito relacionado con cualquier proyecto.

**TRANSITO NORMAL.** Es aquel que circula normalmente por la carretera. El crecimiento normal del transito es el incremento del volumen debido al aumento en numero y uso de vehículos de motor. El crecimiento del transito debido al desarrollo normal del transito.

**TRANSITO INDUCIDO.** Es aquel transito que no se hubiera presentado sin el proyecto; aparecen gracias a la disminución de los costos de operación de los vehículos y debido al mejoramiento en el uso del suelo adyacente al camino.

**TRANSITO DESVIADO.** Corresponde a aquel existente en otras vías de transporte como rutas alternas, ríos, ferrocarriles y aviones, que dada la reducción de los costos de operación en la nueva carretera se transfiere a esta.

### **Variaciones de los volúmenes de transito.**

El transito que circula por una infraestructura vial no es uniforme a través del tiempo ni con respecto al espacio, ya que hay variaciones de un mes a otro, variaciones diarias, variaciones horarias, variaciones en intervalos de tiempo menor a la hora y variaciones en la distribución del transito en los carriles. Estas variaciones son el reflejo de las actividades sociales y económicas de la zona en estudio.

Es de suma importancia considerar estas fluctuaciones en la demanda del transito si se desea que las infraestructuras viales sean capaces de dar cabida a las demandas vehiculares máximas.

- Variaciones en el tiempo.
- Estacionales y mensuales.
- Diarias.
- Horarias.
- Intervalos menores a la hora.
- Variaciones en el espacio.
- Distribución por sentidos.
- Distribución por carriles.
- Variación en composición.
- Automóviles y pick up.
- Vehículos recreativos.
- Camiones.
- Autobuses.

### **Pronósticos del transito.**

Uno de los factores más importantes que debe considerarse en el análisis de la sección transversal de un camino y en general en un proyecto de todo tipo de obra vial es estimar el volumen de transito que circula y circulara a lo largo de la misma.

La auscultación permanente de las infraestructuras viales proporciona la información básica para la toma de decisiones respecto a su mantenimiento y ampliación.

Existen dos métodos básicos de aforo, el mecánico, que es aquel que realiza los aforos automáticamente y el manual.

Los anteriores métodos permiten conocer el grado de ocupación y las condiciones en que operan las vialidades; así como el análisis de la evolución histórica de la demanda permite definir las tendencias de crecimiento y el momento a partir del cual ciertos segmentos dejaran de prestar un servicio adecuado, convirtiéndose en cuellos de botella que propicien el estancamiento del desarrollo en lugar de propiciarlo.

Con el objeto de actualizar y detallar las características de tránsito, en un tramo de carretera deben realizarse aforos de corta duración bajo la observación de importantes aspectos locales como puede ser el entorno agrícola, en cuyo caso ha de procurarse realizar aforos en las épocas de siembra y cosecha; o si la zona es de influencia turística, estudiar los periodos normales y los de mayor afluencia del turismo.

No se ha establecido una duración estándar para efectuar un aforo de tránsito, esto supone una cierta libertad para elegirlo. El criterio que debe seguirse en la elección debe considerar el grado de precisión que se desee y la variabilidad de los volúmenes a lo largo de la semana, en general, se recomienda periodos de tres horas y cinco o siete días. Los aforos de tres horas se realizan dentro del periodo de mayor demanda y sirven para determinar el volumen de la hora de máxima demanda, así como para estimar la composición vehicular. Los aforos de 12 horas se realizan de siete de la mañana a diez de la noche en lugares con gran variabilidad en el tránsito durante el transcurso del día. Los aforos de 48 horas se efectúan con medios mecánicos y deben realizarse en días hábiles. Los aforos de cinco o siete días se efectúan también con medios mecánicos y deben abarcar también los días sábado y domingo.

Los puntos de medición o estaciones de aforo han de corresponder a puntos importantes y representativos del tramo. Una carretera entre dos centros de población puede tener dos caminos alimentadores, en este caso se recomienda contar con tres puntos de medición, con este sistema se puede determinar de manera confiable los niveles promedio de tránsito en ambas direcciones.

La demanda de transporte es producto de la interacción en el espacio de las actividades socioeconómicas y el pronóstico de su magnitud es decisivo para predecir los volúmenes de tráfico que se manifestaran en una instalación de transporte cualquiera.

El estudio de la evolución de la demanda de transporte puede efectuarse a partir de dos perspectivas: desagregada y agregada. La primera, que se basa en

el análisis del comportamiento individual para estimar la magnitud de la demanda total de un sistema, constituye un enfoque de reciente aparición que aun no se aplica en forma generalizada en países en vías de desarrollo. Por sus menores requerimientos en materia de información, en estos países se usa el enfoque desagregado que pronostica directamente la demanda futura a partir de los valores conocidos de variables de interés.

En el campo de las carreteras, algunos modelos de frecuente utilización son los siguientes:

#### *Modelos de crecimiento lineal.*

Es un método que supone en la demanda en base a una tasa de interés simple. Es el método que actualmente emplea la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, su expresión matemática es:

$$T_n = T_o (1 + r / 100 * n)$$

Donde:

$T_n$ ; transito en el año

$T_o$ ; transito en el año 0

r; tasa de crecimiento anual del transito en porcentaje

#### *Modelos de crecimiento exponencial.*

Son los modelos que anteriormente se usaban, y son de la forma:

$$T_n = T_o (1 + r / 100)^n$$

Donde:

$T_n$ ; transito en el año n

$T_o$ ; transito en el año 0

r; tasa de crecimiento anual del transito en porcentaje

#### *Modelos logísticos.*

Su expresión analítica es la siguiente:

$$T_n = T_{m\acute{a}x} / (1 + e + B_n)$$

Donde:

$T_n$ ; transito en el año n

$T_{m\acute{a}x}$ ; transito máximo que puede atender la instalación analizada

B; parámetros estadísticos

e; 2.71828

Según este modelo, independientemente del valor de  $n$ ,  $T_n$  nunca podrá exceder el valor de  $T_{m\acute{a}x}$ .

#### *Modelos de crecimiento por analogía.*

La evolución de la demanda en una instalación dada se aplica en función del crecimiento ya registrado en alguna otra instalación o país determinado, con condiciones análogas a las de la instalación en estudio pero en un estado más avanzado de desarrollo.

#### *Modelos de crecimiento con base en variables.*

VARIABLES DE MAYOR jerarquía, tales como producto interno bruto (PIB), población (P), empleo, etc. en estos casos, el crecimiento del tránsito se escribe como:

$$T_n = f(\text{PIB}, P, \text{etc})$$

Y el problema consiste, por una parte, en predecir la evolución de las variables agregadas, y por otra parte determinar la expresión matemática que sirva para predecir tránsitos de manera confiable, lo que generalmente se lleva a cabo con ayuda de técnicas estadísticas.

### **Tránsito para el diseño.**

Para llevar a cabo el diseño geométrico de una vía es necesario, tener en cuenta otro factor muy importante que es el tránsito, es decir los datos reales del número de vehículos que circulan o circularán por ella; depende de la situación de plantación antes mencionada en este rubro del tránsito. Este factor es la guía para saber el servicio que prestará la vía y así poder hacer el diseño, de lo contrario no tendría sentido.

Para este estudio se tiene en cuenta el TPD que representa el tránsito promedio diario, este dato es el más importante ya que permite determinar el uso anual que tendrá la vía y así hacer un análisis del diseño. Pero esto no es suficiente ya que los datos obtenidos son de años anteriores, por eso es necesario hacer una proyección del tránsito a futuro el cual tiene ciertas componentes.

- Tránsito futuro.
- Tránsito normal.
- Tránsito actual.
- Tránsito atraído.
- Aumento de tránsito.

- Crecimiento normal.
- Tránsito producido o inducido.
- Tránsito de desarrollo.

Para el caso que vamos a desarrollar en el diseño de la vía sólo trabajamos con el tránsito normal, ya que es una vía nueva y no existen datos al respecto, por tanto se toman los correspondientes a una vía que se supone tiene un tránsito similar al esperado en la nueva vía.

Para el estudio del tránsito de la vía se tiene en cuenta también las características de los vehículos que circularán por ella ya que existen de diferente tamaño y peso, dependiendo de esto se dividen en varios tipos:

- Vehículo liviano o Automóvil (A).
- Camionetas de carga hasta 31/2, camiones ligeros y pick up (B).
- Camiones (C).
- Remolques (R).
- Cada uno de estos con sus propias características.

### **El terreno para el diseño.**

Para llevar a cabo el diseño y localización de una vía, es necesario considerar varios factores que influyen en la planeación, construcción y desarrollo de la misma, de estos factores existe uno muy importante el cual se refiere a las características del terreno, siendo estas:

- La topografía o conformación de la superficie terrestre.
- Las características físicas y geológicas.
- Los usos del terreno en el área que atraviesa la vía.

Estas características ayudan a determinar la selección de la ruta y la localización de la vía, es decir para establecer en que forma va ir la vía con relación al terreno y este estudio es necesario desde la planeación de la vía. Posteriormente se harán las especificaciones propias del terreno asignado.

#### *La topografía o conformación de la superficie terrestre.*

Este factor es esencial para la localización física de la vía, ya que esto afecta los alineamientos horizontales, las pendientes, distancias de visibilidad y las secciones transversales. Desde el punto de vista topográfico, la SCT, clasifica los terrenos en cuatro categorías:

- Terreno plano.
- Terreno ondulado.

- Terreno montañoso.
- Terreno escarpado.

A partir de esta clasificación el terreno asignado para el diseño lo consideramos en general montañoso, debido a que presenta pendientes medias superiores al 13%, esto se tomo de las pendientes obtenidas en los perfiles de las líneas que representaban la máxima pendiente.

#### *Las características físicas y geológicas.*

Esta característica se refiere a la posibilidad que tiene los terrenos en presentar deslizamientos o inundaciones, estas condiciones del terreno y otras tantas permiten la localización de controles negativos o controles positivos, los cuales favorecen o perjudican el diseño, justamente por esto es muy importante considerarlos.

#### *El uso del terreno.*

Este factor es también muy importante debido a que el uso que tenga el terreno o la actividad económica que se desarrolle, puede influenciar el diseño de la carretera, por el efecto que pueda tener el tránsito o el movimiento de peatones, por todo esto es sumamente importante este factor ya que pueden existir diversas formas de hacer el diseño justo para la zona en que se trabaja.

### **III.6. Consideraciones sobre el medio ambiente en la planeación de las obras carreteras.**

Es sabido que la ubicación del camino constituye la decisión más crítica en cuanto a su construcción. Esta determinará, en mayor medida, el tipo y la magnitud de los impactos ambientales y sociales que causarán. En el caso de México, el análisis ambiental normalmente se inicia una vez seleccionada una alternativa y realizado el proyecto ejecutivo, bajo el enfoque de minimizar los impactos adversos que la obra generará, únicamente durante su construcción. Por otro lado, la tendencia internacional se dirige a incluir el análisis ambiental como un apoyo en la toma de decisiones respecto a la viabilidad de un proyecto y, en ocasiones, llega a ser la consideración más importante a tomar en cuenta para la aceptación de realizar una obra y posteriormente su efecto durante la operación. Para el caso de México, un aspecto que se contempla en el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 1995 - 2000, es la posibilidad de obtener créditos para la ejecución de obras y por ende, cumplir con la normatividad de la institución crediticia.

## **El impacto ambiental.**

El Banco Mundial define al Medio Ambiente como “Las condiciones naturales y sociales que circundan a toda la humanidad, incluyendo las generaciones futuras”. Esta definición es demasiado amplia y globalizadora puesto que abarca aspectos tangibles e intangibles, que en casi todos los casos son difíciles de valorar. En México la SEMARNAP a través de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, plantea una serie de definiciones importantes de conocer:

**AMBIENTE.-** Conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre, que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

**ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS.-** Zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservados o restaurados.

**APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE.-** Utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos.

**DESARROLLO SUSTENTABLE.-** Proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección al ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

**ECOSISTEMA.-** Unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.

**EQUILIBRIO ECOLÓGICO.-** Relación de interdependencia entre los elementos que conforman el ambiente que hace posible la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

**IMPACTO AMBIENTAL.-** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.-** Documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

**ORDENAMIENTO ECOLÓGICO.-** Instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

**PROTECCIÓN.-** Conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro.

**RECURSO NATURAL.-** Elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

Se mencionan estas definiciones, debido a que en la sección siguiente se trata el tema de impacto ambiental y se hace referencia a estos conceptos, por lo que resulta apropiado establecer un marco previo.

### **Desarrollo del Concepto de Impacto Ambiental.**

El impacto ambiental puede definirse con más detalle como la transformación, modificación o alteración de cualquiera de los componentes del medio ambiente: biótico (flora y fauna), abiótico (suelo, agua, tierra, etc.) y humano (social, económico y cultural), como resultado del desarrollo de un proyecto en sus diversas etapas.

Por otro lado, los impactos ambientales son benéficos o adversos, significativos o no significativos, mitigables o no mitigables, reversibles o irreversibles y se pueden presentar en el corto, mediano y/o largo plazos.

Con esta descripción general, se aprecia que prácticamente cualquier trabajo por realizar tiene implicaciones ambientales, especialmente obras de infraestructura, puesto que modifica permanentemente las condiciones de un área en particular.

De forma ilustrativa, en la Figura III.1. Se muestran los principales componentes que se consideran dentro del impacto ambiental.

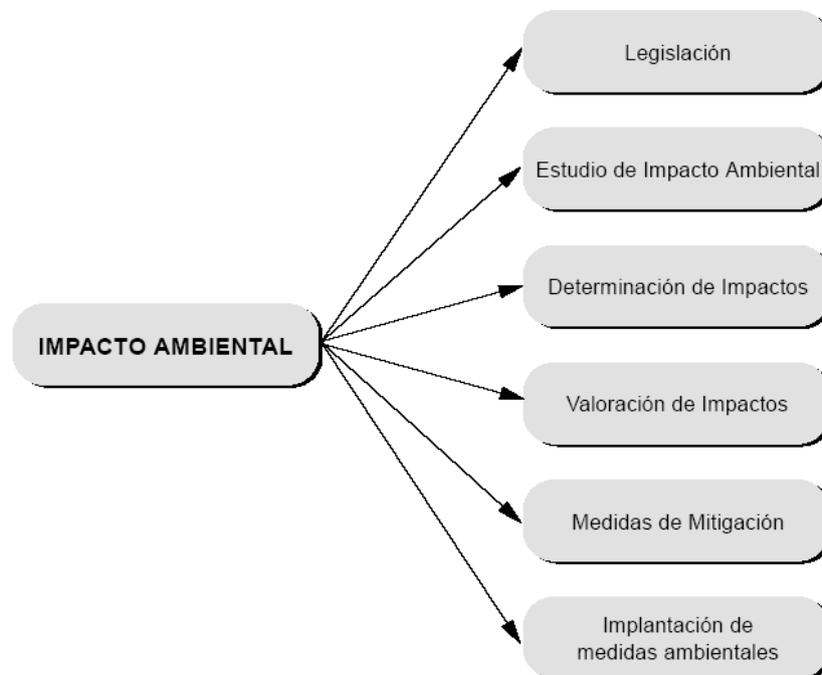


Figura III.1. Componentes del impacto ambiental.

El análisis del medio ambiente y de los impactos que en él se generan, derivados de la implantación de cualquier tarea en infraestructura parte, además de una conciencia de preservación y mejoramiento, de la Ley General de Equilibrio Ecológico emanada de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), donde se definen los lineamientos de todo lo inherente al tema.

Esta Dependencia, define la profundidad del análisis a llevar a cabo, dependiendo de la magnitud y características de la obra; por ejemplo, los trabajos de mantenimiento solo requieren de dar aviso a la cabeza de sector, mientras que la construcción o ampliación de infraestructura requiere de manifestación ambiental general, intermedia o específica, en función de su envergadura.

Esta manifestación ambiental es un formato elaborado por la SEMARNAP, en donde se introducen las características generales del proyecto, las metodologías empleadas y la propuesta de acciones a ejecutar para minimizar los aspectos adversos.

El estudio de impacto ambiental, basado en una inspección en campo de las condiciones actuales del lugar, además del acopio de la información bibliográfica y cartográfica respectiva, es realizado por empresas consultoras, quienes normalmente se responsabilizan de obtener la aprobación correspondiente.

Son tres los aspectos medulares de este estudio: la determinación de los impactos, su valoración y la propuesta de las medidas de mitigación.

La determinación de impactos se hace para cada una de las tareas que se van a realizar para materializar el proyecto, desde la preparación del terreno (desmonte, despalme, etc.), el proceso de construcción (incluyendo campamentos, explotación de bancos de material, etc.), la operación y el abandono.

Una vez que se conocen los impactos, es necesario valorarlos para determinar su magnitud; esto debe hacerse de acuerdo a las metodologías establecidas para ello.

Por último y con base en los impactos detectados, se proponen las medidas a implantar para que la severidad del daño se minimice.

Este estudio, junto con el formato de la manifestación ambiental, se envía a la SEMARNAP para que sea aprobado y/o se le adicionen medidas de mitigación.

Posteriormente y de manera aleatoria, la propia SEMARNAP a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), realiza visitas a las obras en sus distintas etapas para verificar si se está cumpliendo con lo estipulado y si las medidas realmente se ajustan a las necesidades del lugar.

El panorama descrito es muy general y breve, sólo se pretende dar una idea inicial de la magnitud del campo de acción en materia de impacto ambiental.

### **III.7. Impactos que ocasionan las infraestructuras carreteras.**

Es importante hacer notar que en cualquier país, al igual que en México, los beneficios que se producen por la construcción de obra de infraestructura son muy importantes en la mayoría de los casos, habiendo excepciones donde se producen efectos contrarios.

En el caso de las carreteras, los procesos de planeación, el proyecto, estudios, construcción, conservación y operación de tales vías, indudablemente producen una serie de impactos. En este trabajo se pretende realzar la importancia de un buen proyecto con una adecuada planeación, para que los impactos que se generen por esta traten de ser positivos en la mayoría de los casos.

El hecho de comunicar dos poblaciones entre sí, llámense capitales de estados, ciudades medias, pequeñas o poblaciones, indiscutiblemente acarrea todos los beneficios inherentes a tal comunicación. En el siguiente párrafo se trata de enlistar los principales impactos positivos que deben generarse por la construcción de una carretera.

Dentro de los impactos positivos que proporcionan los proyectos carreteros se mencionan a título enunciativo, más no limitativo, los siguientes:

- Comunicación - Generación de Empleo
- Desarrollo Social - Fortalecimiento de Economía Local
- Incremento del Comercio - Transitabilidad Permanente
- Acceso a Educación - Menores Costos de Transporte
- Acceso a Tecnologías - Menores Tiempos de Recorrido
- Acceso a Servicios Médicos - Acceso a otros Mercados

Los impactos negativos que pueden producirse si no se cuidan los conceptos de adecuada planeación y buen proyecto son los siguientes:

Tala de Bosques. Modificación de Hidrología Natural. Erosión y Sedimentación. Degradación de Paisajes. Explotación excesiva de Bancos de Materiales. Contaminación del Suelo.	Contaminación del Aire. Cambio en la Tenencia de la Tierra. Emigración de la Población Local. Cambios Culturales. Afectaciones a la Flora y Fauna Endémica. Cambio de Cultivos.
--	--

Como se puede observar, dada la tendencia mundial de proteger y mejorar el entorno existente, es obligación de los seres humanos que poblamos la tierra, definitivamente, tener la decisión de crear conciencia sobre la importancia del cuidado del medio ambiente. A los ingenieros nos toca la responsabilidad de tomar en cuenta esto, minimizando o excluyendo los impactos ambientales negativos desde la planeación, proyecto, construcción, conservación y operación de las obras de infraestructura.

### **III.8. Proceso actual de planeación.**

De acuerdo a diversos organismos internacionales, el costo de una evaluación ambiental no sobrepasa el 2.0% del costo del proyecto. El Banco Mundial establece, por regla general, el 1.0%; mientras que la OECD, maneja un rango entre el 0.1% y el 2.0%; sin embargo, coinciden en que este costo se incrementa dependiendo de la etapa del proceso de planeación-proyecto-ejecución en que se realiza.

Adicionalmente, el costo de la implantación de las medidas de mitigación establecidas en el estudio de impacto ambiental, se estima entre el 0% y el 10% del costo total de la obra, siendo usual que se ubique entre el 3% y el 5%.

Esto puede llegar a significar que un proyecto no sea económicamente rentable, al tomar en cuenta la incidencia de la componente ambiental como uno de los costos dentro de la evaluación correspondiente.

En este sentido, la evaluación ambiental debe de realizarse durante el proceso de planeación de la infraestructura, lo que proporcionará información inicial sobre las posibles repercusiones ambientales, de manera general, y dará mayores elementos al tomador de decisiones sobre la viabilidad del proyecto.

A continuación, se presenta el esquema tradicional para la planeación de infraestructura carretera que se sigue en México, para posteriormente plantear un enfoque tomando en cuenta la planeación integrada al desarrollo regional.

#### **Esquema Tradicional**

La planeación inicia, estrictamente hablando y en teoría, con la detección de la necesidad de construir, modernizar o ampliar una carretera; continúa con la fase de establecimiento de alternativas, su análisis y la determinación de la mejor opción; posteriormente se realiza el proyecto ejecutivo, se ejecuta la obra y se supervisa, para finalizar con la retroalimentación del proceso, con el fin de mejorarlo para ocasiones subsecuentes.

En la realidad, este proceso pocas veces se realiza debido, fundamentalmente, a la falta de coordinación entre las distintas áreas que

intervienen, incluso en la misma dependencia (esto sucede tanto en Dependencias Federales, como en las Estatales y Municipales); por ejemplo, el área de planeación se limita a definir lineamientos generales sobre las acciones que habrán de llevarse a cabo sin llegar a establecer, en algunos casos, las obras específicas. Por otro lado, el grupo de proyectistas es normalmente el responsable de definir alternativas, evaluarlas, seleccionar la mejor opción y elaborar el proyecto ejecutivo. La construcción y supervisión se hace en otra área, con lo que se da por concluido el proceso.

Adicionalmente a este problema, los aspectos ambientales son tomados en cuenta con cierta ligereza y se atienden básicamente debido a la necesidad de cumplir con una normatividad establecida, más que por un interés de preservar o mejorar el medio ambiente.

En primer término, se definen una serie de anteproyectos que cumplan con ciertas características iniciales como origen-destino, tipo de camino, etc. En esta etapa normalmente se consideran varios trazos con base en la cartografía existente y en recorridos de campo.

Una vez analizados los anteproyectos se realiza una evaluación económica de aquellas alternativas seleccionadas y se decide por aquélla que reporte mayores beneficios con base en una serie de indicadores (tasa interna de retorno, valor presente neto, índices de rentabilidad, etc.).

Con el anteproyecto elegido, se acude a la SEMARNAP para que, de acuerdo con la legislación y normatividad existente, determine el tipo de manifestación que se debe llevar a cabo, general, intermedia o específica. Se inicia con el estudio de impacto ambiental y paralelamente se realiza el proyecto ejecutivo, aunque en algunos casos se tiene primero el proyecto ejecutivo y después se aborda la parte ambiental.

A partir de que se cuenta con la aprobación, se puede ejecutar la obra ya sea por administración o a través de un tercero.

Dentro de la manifestación aprobada, se incluyen medidas de mitigación que deben ejecutarse durante la operación e incluso para el abandono, como es el regado de las zonas reforestadas, el podado de los árboles, etc. Para asegurarse que todas las medidas incluidas en la manifestación se lleven a cabo en la realidad, la SEMARNAP creó un organismo de control y vigilancia denominado Procuraduría Federal del Medio Ambiente (PROFEPA), quien realiza visitas periódicas y aleatorias a las distintas obras que se estén llevando a cabo y que cuenta con la autoridad para incluso detener el proceso de construcción por no haber cumplido cabalmente con las medidas.

Lo anteriormente citado, forma el proceso normal que debe llevarse a cabo para realizar una obra de infraestructura, de acuerdo con las normas y leyes aplicables en esta materia.

En la Figura III.2. Se muestra gráficamente.

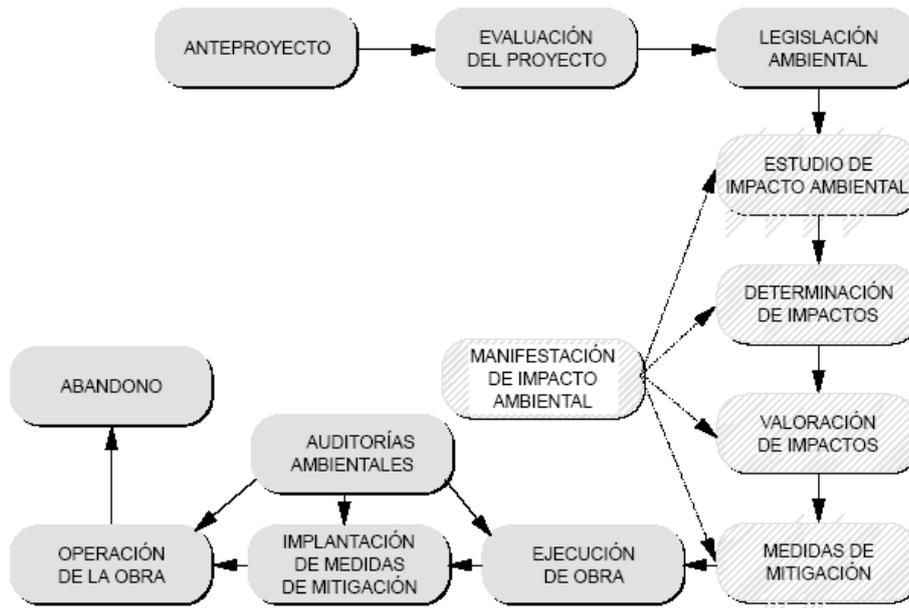


Figura No. III.2.

Uno de los aspectos que no se consideran durante todo el proceso de planeación y que en ocasiones resulta muy delicado, es el contacto con los usuarios potenciales del camino, es decir, con los habitantes de las poblaciones que habrán de utilizarlo, sobre todo para conocer su punto de vista sobre la aceptación y expectativas de la obra. Este hecho, ha llegado a entorpecer significativamente la construcción y en ocasiones, hasta impedir la realización de la carretera. En el Capítulo siguiente se abordará este rubro con mayor profundidad.

### Planeación Integral del Desarrollo Regional

Richard Saunier, especialista en planeación y medio ambiente, propone un método en la planeación integrada del desarrollo regional a fin de facilitar la tarea, reducir los costos de la evaluación ambiental y solucionar los conflictos, el cual se presenta a continuación, ya que puede ser tomado en consideración dada su sencillez, además de que involucra los aspectos más importantes.

## **Planeación para Caminos Rurales**

Una de las estrategias establecidas en el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 1995 - 2000, es la construcción de caminos rurales que, por su importancia, servirán de integración para aquellas comunidades aún marginadas en nuestro país.

### **Consideraciones complementarias.**

En el caso específico del transporte carretero, la evaluación ambiental contribuye a identificar, planear y ejecutar modalidades de ese transporte y soluciones *in situ* que prevengan o minimicen los impactos ambientales y socioeconómicos negativos asociados. Mediante la evaluación ambiental también se pueden identificar los impactos positivos que no hayan sido anticipados en el diseño o en el análisis.

Asimismo es importante ya que, la evaluación ambiental es un poderoso método de planificación que puede coadyuvar a garantizar la sostenibilidad ambiental de los patrones de desarrollo y de uso de la tierra inducidos por la infraestructura de transporte nueva o mejorada.

En este capítulo se presentan consideraciones complementarias que deben tomarse en cuenta dentro del proceso de planeación, y están divididas en:

1. Económicas
2. Socio-culturales
3. Ecológicas
4. Organizacionales
5. Computacionales

#### *1. Económicas.*

Los préstamos o créditos para construir, mejorar o rehabilitar los caminos y carreteras se otorgan casi exclusivamente como préstamos al sector del transporte o para proyectos de inversión para caminos y carreteras específicos.

Debido a su mayor potencial para generar problemas ambientales, los caminos que se pretenden construir en zonas húmedas y montañosas necesitan normas más estrictas y por ende sus costos serán más elevados que los que se implantan en las áreas planas.

Antes de tomar la decisión de construir una nueva obra, se aconseja el analizar alternativas para la expansión o modernización de los caminos existentes, que merecen consideración en la planeación del transporte desde un punto de vista ambiental, incluyendo mejoras en el manejo del tránsito y transporte público

por los caminos existentes, ferrocarriles para carga o pasajeros existentes, y una mayor inversión en el transporte no motorizado, al menos para distancias cortas.

Éstas deben ser investigadas en la planeación y diseño de un proyecto individual, incluyendo rutas que evaden los recursos valiosos o frágiles y las que no brinden acceso a tierras silvestres y otras áreas que deberían permanecer en su estado natural.

En general los elementos críticos para el seguimiento del proyecto son la implantación y efectividad de las medidas de control de erosión y sedimentación, eliminación de basuras y desechos, el manejo de los bancos de materiales y las áreas de almacenamiento de materiales, entre otras.

La nueva industria suele ubicarse donde se dispone de tierras e infraestructura; la carretera es una opción lógica. El desarrollo comercial de la orilla del camino, tiene lugar en base a la suposición de que el mayor acceso y visibilidad atraerá más clientes.

El diseño de los proyectos de caminos rurales presenta varios problemas especiales.

Generalmente, se estiman en menos costos de mantenimiento y los programas para realizar el trabajo son deficientes, especialmente en el caso de los caminos que tienen poco tránsito. El mantenimiento adecuado de los caminos puede ser costoso, pero es esencial para evitar problemas ambientales y socioeconómicos y en especial por los costos y sobre costos de operación del transporte, pueden repercutir fuertemente en la economía regional y global.

En general, los beneficios socioeconómicos proporcionados por los proyectos de caminos y carreteras, incluyen la confiabilidad bajo todas las condiciones climáticas, la reducción de los costos de transporte, el mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, la contratación de trabajadores locales en el proyecto en sí, el mayor acceso a la atención médica y otros servicios locales, y el fortalecimiento de las economías locales.

## *2. Socio-Culturales.*

En ciertas ocasiones, una gama de impactos negativos indirectos ha sido atribuida a la construcción o mejoramiento de las carreteras. Muchos de estos son principalmente socioculturales e incluyen la degradación visual debido a la colocación de anuncios a los lados del camino, los impactos de urbanización no planificada inducida por el proyecto, la alteración de la tenencia local de tierras debido a la especulación, la construcción de nuevos caminos secundarios, el mayor acceso humano a las tierras silvestres y otras áreas naturales, y la

migración de la mano de obra y desplazamiento de las economías de subsistencia.

La construcción de caminos de penetración en las áreas remotas, fomenta la migración hacia los terrenos colindantes e induce modelos de uso del terreno y de la explotación de los recursos que son extremadamente difíciles de manejar o controlar.

Para poder prevenir o atenuar estos cambios indeseables, donde no exista otra alternativa, sino la construcción del camino, puede ser necesario implementar, simultáneamente, un proyecto de desarrollo a largo plazo.

La construcción de un camino rural adicionalmente trae una multitud de beneficios para la población local, tales como el mayor acceso a los mercados, más servicios como electricidad, agua potable, salud y educación, estímulo a las agroindustrias y mayores oportunidades de empleo, por lo menos en el corto plazo. Aunque todas estas sean contribuciones positivas al desarrollo rural, los beneficios no se distribuyen por igual entre los grupos y pueden incrementar las diferencias socioeconómicas.

Las construcciones de caminos a través de las tierras silvestres, parques nacionales, bosques y otras áreas rurales no explotadas, resultará inevitablemente a su conversión a otros usos de la tierra, a menos que exista un apoyo popular para la conservación o preservación, combinado con una efectiva administración y coacción legal. Esta combinación ha resultado evasiva en la mayoría de las naciones en desarrollo y altamente positiva en países industrializados que la han llevado a cabo adecuadamente.

### *3. Ecológicas.*

Uno de los objetivos primordiales en este trabajo, es el de guardar el "equilibrio" en todos sentidos, mediante una cuidadosa selección de las rutas, evitando muchos impactos directos sobre los sistemas naturales, recursos históricos y culturales, y usos de la tierra para derechos de vía. Es mucho más difícil manejar los impactos del nuevo desarrollo y de la penetración en áreas naturales, que podrían ser inducidos por la construcción o mejoramiento de caminos. Generalmente, esta tarea corresponde a otros organismos, que pueden no haber estado incluidos en la planeación del proyecto y que, si son del nivel de gobierno local, posiblemente se encuentren poco preparados para enfrentar el desarrollo inducido.

El aspecto ecológico del medio ambiente se circunscribe a la flora, fauna, agua, tierra y aire y, como se ha visto, es sólo una parte del medio ambiente, por lo que debe tenerse especial atención en tomar en cuenta la totalidad de los impactos.

Durante la fase de planeación, resulta imprescindible el conocimiento vigente de la normatividad ecológica establecida por la SEMARNAP, sobre todo dada su constante actualización, de tal suerte de poder anticipar los problemas por afrontar si es que el proyecto pudiera pasar por áreas protegidas.

Un aspecto que debe tenerse en la mente, es que no se trata de evitar los impactos o buscar el “impacto cero”, se deben orientar las acciones a mantener el equilibrio ecológico; es decir, el preservar la armonía de los distintos habitantes que serán de alguna manera alterados por el proyecto.

#### *4. Organizacionales.*

Las decisiones en cuanto a la ubicación del camino ocurren, a menudo, después de un proceso rápido de selección y evaluación de muchos lugares y especificaciones que se han propuesto, y debe existir la participación de una amplia selección de agencias de línea y niveles de organización.

La construcción de caminos a través de tierras silvestres resultará en ocasiones en la conversión a otros usos de la tierra, a menos que exista un apoyo popular local para la conservación o preservación, combinado con una efectiva administración y coacción legal.

Durante la etapa de planeación será necesaria la participación de algunos organismos; ésta debe comenzar en el momento en que se considere por primera vez la inversión en un camino y se consulte sobre su contribución al desarrollo rural.

Se deberán desarrollar vínculos verticales amplios, que aseguren que el proyecto tenga una relación igualmente sólida con sus apoyadores políticos y financieros en el gobierno central, así como con las comunidades locales que serán afectadas por el camino, siendo esencial incluirlas en el proceso de planeación.

Debido a su naturaleza no planeada, el desarrollo inducido se genera sin considerar sus impactos ambientales, por ejemplo, es posible que no exista otra infraestructura para el traslado de desechos, tal vez se sobrecarguen los servicios sociales, la tenencia de la tierra por parte de los propietarios de bajos ingresos y pueblos indígenas, puede ser perjudicada por un aumento repentino en el valor local de la tierra, los recursos naturales, anteriormente protegidos de la explotación no planeada simplemente por ser inaccesibles, pueden volverse accesibles y por lo tanto desprotegidos, entre otros. Todo esto puede evitarse mediante una adecuada organización y comunicación entre las dependencias encargadas de la construcción de caminos y las responsables de la planeación del desarrollo urbano o regional.

La mejor tierra agrícola, relativamente plana y con buen drenaje, proporciona una ruta ideal para los caminos, y muchos son colocados allí. En sí, la pérdida de tierra por el derecho de vía puede ser relativamente insignificante y normalmente se toma en cuenta al decidir si procede un proyecto. Sin embargo, el fenómeno del desarrollo inducido citado, junto con el aumento del valor de la tierra por los caminos, puede resultar en la conversión de grandes áreas de tierra agrícola, no considerada en la planeación. Tales conversiones pueden tener impactos negativos sobre los programas nacionales para la agricultura y la autosuficiencia alimenticia, así como sobre la viabilidad de la economía agrícola local.

Esto implica la necesidad de difundir los programas de construcción de carreteras, buscando la compatibilidad con los establecidos por otras dependencias federales y estatales, sobre todo cuando inciden en objetivos nacionales que deben considerarse como prioritarios.

##### *5. Computacionales.*

A lo largo de los últimos años, se han desarrollado una serie de paquetes y herramientas computacionales, que ayudan en el proceso de planeación de una carretera, al contener información sobre distintos tópicos como: Uso de suelo, recursos naturales en las zonas, características topográficas, hidrología, flora, cartografía, etc.

Estas herramientas están destinadas a agilizar la toma de decisiones y a tener un conocimiento más profundo sobre los fenómenos que puede acarrear la construcción de un camino en una zona determinada; sin embargo, es necesaria la participación de un equipo multidisciplinario que permita analizar integralmente la problemática y determine con mayor precisión los impactos, tanto negativos como positivos, que factiblemente se darán en las distintas etapas del proceso.

La Coordinación General de Planeación y Centros de la SCT cuenta con un modelo para la evaluación de impacto ambiental sobre infraestructura carretera, cuya finalidad es conocer el entorno natural y social, así como los parámetros que componen el medio ambiente, las posibles afectaciones a los recursos naturales y sociales, las propuestas de medidas alternativas y obras compensatorias, así como evaluar económicamente esas medidas.

El modelo citado cuenta, dentro de un sistema de información geográfica, con una base de datos que incluye la red carretera federal y sus volúmenes clasificados; adicionalmente, se tienen los aspectos relacionados con los usos del suelo, climas, tipos de vegetación, fauna, áreas protegidas o restringidas, topografía, hidrología, entre otras. En total existen más de 20 tipos distintos de información que maneja de manera simultánea.

Utilizando técnicas de digitalización referenciada y sistemas de posicionamiento global (GPS) se ubican los proyectos. Para acotar el entorno, el sistema automáticamente traza un área de influencia del tamaño que el usuario indique y la divide en celdas para afinar la precisión de la evaluación de los impactos.

Para fines de evaluación, el medio ambiente es clasificado en grupos (por ejemplo: agua, aire, suelo, etc.), los cuales se integran por parámetros específicos (por ejemplo: partículas suspendidas, ruido, monóxido de carbono, etc.) y cada uno cuenta con una "curva de calidad ambiental". Toda la información ambiental y social se vacía automáticamente en cada una de las celdas, preparándolas para ser procesadas.

Dentro de los beneficios del sistema se pueden citar los siguientes:

- En la etapa de planeación, es posible detectar los impactos ambientales generados por la construcción, las acciones que deben tomarse en cuenta en el costo de la obra, la rentabilidad de los planes de mitigación y el análisis de las alternativas de trazo y ubicación.
- Estandarización de la información que es utilizada en las manifestaciones de impacto ambiental que la SCT da a contrato.
- Planear con tiempo los estudios de campo y proporcionar una visión global del entorno natural y social.

#### IV. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.

El suelo se considera como un material en Ingeniería Civil, por tanto es utilizado comúnmente para la construcción de varias obras y soporta estructuras con diferentes tipos de cimentaciones. El suelo en la construcción de caminos es fundamental, por ello se deben de estudiar sus propiedades como son: origen, compresibilidad del mismo, resistencia al corte, capacidad de carga, distribución granulométrica, capacidad de drenaje de agua, etc. Dentro de los estudios realizados al suelo no todos se aplican en todas las obras de Ingeniería Civil, siendo importante identificar los casos de estudio para cada obra en específico, en lo que participan disciplinas especializadas en dicho tema, tales como la geotecnia, la mecánica de suelos, la mecánica de rocas, etc. Dichas ciencias se apoyan por consiguiente en las investigaciones, estudios y pruebas de laboratorio, las cuales arrojan resultados fundamentales para la proyección y construcción de obras de Ingeniería Civil.

Dado lo anterior, es importante hacer una definición del suelo como un agregado no cementado de partículas de mineral y materia orgánica en descomposición, lo que representa a las partículas sólidas, junto con el líquido y/o el gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo es el material formado por partículas minerales producidas por la descomposición y/o desintegración de rocas, así como vacíos que pueden o no estar ocupados por agua.

La Ingeniería Geotécnica está definida como la ciencia que tiene la aplicación práctica en la parte de la Ingeniería Civil que compende los materiales de origen natural localizados cerca de la superficie de la Tierra. Esta disciplina representa de manera general lo relacionado con el suelo y el subsuelo, por lo que de ella se desprenden otras disciplinas tales como la mecánica de suelos, la mecánica de rocas, comportamiento de suelos, etc., las cuales son herramientas fundamentales para todo tipo de obras de Ingeniería Civil.

Para nuestro caso de estudio en específico se involucra la mecánica de suelos por lo que es de interés mencionar de manera concisa que es la mecánica de suelos.

*La Mecánica de Suelos* es la rama de la Geotecnia que estudia las propiedades físicas de suelo y el subsuelo, así como el comportamiento de las masas de suelo sujetas a varios tipos de fuerzas.

La mecánica de suelos tradicionalmente ha estudiado las condiciones de esfuerzo límite que causan la falla de los suelos por fractura o por flujo plástico, para establecer una teoría de falla cualquiera, es condición definir claramente lo que se entiende por falla. En términos generales no existe aún una definición general del concepto de falla; puede significar el principio del comportamiento

inelástico del material o el momento de ruptura del mismo, así como el flujo plástico.

En un volumen de suelo dado, las partículas del suelo están distribuidas aleatoriamente con espacios vacíos entre ellas. Los espacios vacíos son continuos y son ocupados por aire o agua, tal cual la definición dada con anterioridad expresa. Para analizar problemas como la compresibilidad del suelo, la capacidad de carga de cimentaciones, estabilidad de taludes y la presión lateral sobre estructuras de retención, necesitamos conocer la naturaleza de la distribución de esfuerzos a lo largo de un corte transversal en la masa de suelo.

Los suelos que soportan cimentaciones de distintas maneras están sujetos a incrementos de esfuerzos netos. Dicho incremento de los esfuerzos en el suelo depende de la carga por unidad de área que produce la cimentación, la profundidad a la cual se desea estimar el incremento de esfuerzo, y otros factores.

El problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los aspectos fundamentales de toda la Mecánica de Suelos. En efecto, una valoración correcta de este concepto constituye un paso previo imprescindible para intentar, con esperanzas de éxito, cualquier aplicación de la Mecánica de Suelos al análisis de la estabilidad de las obras civiles.

El primer trabajo en que seriamente trató de explicarse la génesis de la resistencia de los suelos es debido al ingeniero francés C. A. Coulomb (1776). La primera idea de Coulomb consistió en atribuir a la fricción entre partículas del suelo la resistencia al corte del mismo y en extender a este orden de fenómenos las leyes que sigue la fricción entre cuerpos.

Es sabido que si un cuerpo sobre el que actúa una fuerza normal ha de deslizar sobre una superficie rugosa, se encuentra que la fuerza de deslizamiento necesaria para ello, resulta ser proporcional a la fuerza normal.

Coulomb admitió que, en primer lugar, los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de planos de deslizamiento y que, esencialmente, el mismo mecanismo de fricción arriba mencionado rige la resistencia al esfuerzo cortante de por lo menos ciertos tipos de suelos.

Para una mejor comprensión de las características de resistencia de los suelos es conveniente tratar primeramente aquellos que suelen considerarse puramente friccionantes; es decir, las arenas limpias, gravas limpias y las combinaciones de tales materiales.

La explicación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos friccionantes parte de los mecanismos de fricción mecánica, pero para una aplicación más estricta de esta ley a una masa de partículas discretas, hay que considerarlos actuando en los puntos de contacto. Cuanto mayores sean las

partículas menos serán los puntos de contacto, si todas las demás circunstancias prevalecen y, por lo tanto, mayores serán las concentraciones de presión en ellos. Análogamente, los puntos de contacto aumentan con la mejor distribución granulométrica.

En términos generales, la ingeniería geotécnica es la rama de la Ingeniería Civil que utiliza métodos científicos para determinar, evaluar y aplicar las relaciones entre el entorno geológico y las obras de Ingeniería. En un contexto práctico, la Ingeniería Geotécnica comprende la evaluación, diseño y construcción en donde se utilizan materiales de tierra. A diferencia de otras disciplinas de Ingeniería Civil, que típicamente se ocupan de materiales cuyas propiedades están bien definidas, la Ingeniería Geotécnica se ocupa de materiales subsuperficiales cuyas propiedades, en general, no se pueden especificar. Los pioneros de la Ingeniería Geotécnica se apoyaron en el “método de observación”, para comprender la mecánica de suelos y rocas y el comportamiento de materiales de tierra bajo cargas. Este método fue mejorado gracias a la instrumentación electrónica de campo, computadoras y el desarrollo de refinadas técnicas numéricas. Estas técnicas hacen ahora posible determinar con mayor precisión la naturaleza y comportamiento no homogéneo, no lineal y anisotrópico de materiales de tierra para aplicación a obras de Ingeniería Civil.

Las condiciones imprevistas del subsuelo que se presentan durante la construcción constituyen la principal fuente de demandas, pagos adicionales, aumento desmedido de los costos e incluso conducen a obras de alto riesgo que pueden fallar y causar accidentes a los usuarios de la misma y, exponer la seguridad pública. Por ello, es importante que el ingeniero esté consciente de las causas que puedan disparar los costos, provocar litigios y conducir a fallas, para que con estas experiencias se minimice o se desaparezca la presentación de casos similares.

Estas condiciones imprevistas o cambio de condiciones son el resultado de varios factores. La causa más frecuente es la mala definición de los componentes de los depósitos de suelos y de rocas con sus variaciones en toda la zona de construcción. Las demandas se relacionan con volúmenes de excavaciones imprevistas o excesivas en suelo o en roca, con descripciones erróneas de calidad y profundidad de los niveles de apoyo, materiales de apoyo, materiales de préstamos insuficientes o inapropiados y obstrucciones imprevistas para la correcta construcción o colocación de la cimentación. La descripción errónea de las condiciones del nivel de aguas freáticas es otra causa de trabajos extraordinarios, así como de costosas demoras en la construcción y rediseños de emergencia. También se generan problemas importantes por fallas en la investigación geotécnica, para identificar riesgos naturales, como son suelos y minerales de roca expansivos, taludes naturales y artificiales inestables (que generen cuñas de deslizamiento), y antiguos depósitos de relleno. Otros factores para los problemas se deben estudiar pero a través de otras disciplinas ya que no son necesariamente dependientes de la geotecnia, como es el caso de las máximas avenidas pluviales, zonas de movimientos telúricos, zonas de bajas

temperaturas (grado de congelamiento), etc., y de manera fundamental como primera etapa de un proyecto los factores socio-económicos deben de ser estudiados concienzudamente para evitar dificultades y controversias, este último rubro se estudia en la parte de planeación, tal y como se ve en este trabajo, por lo que para este capítulo en particular se tomaran únicamente en cuenta los factores correspondientes a la Ingeniería Geotécnica.

Las fallas de las estructuras durante la construcción se relacionan principalmente con condiciones indeseables del subsuelo, no detectadas previamente o durante la construcción, así como con diseños deficientes o baja calidad de los trabajos. Tal y como se mencionó en el párrafo anterior otra importante fuente de fallas relacionadas con el diseño es la subestimación de las cargas máximas asociadas con catástrofes naturales, como terremotos, huracanes, inundaciones y precipitaciones prolongadas. Las fallas se relacionan con licuación de los suelos durante los terremotos, presión hidrostática baja y daños en la estructura causados por el agua debido a la elevación del nivel freático o por la mala consideración de los volúmenes de lluvia para un adecuado diseño del drenaje, desestabilización de las cimentaciones por socavación y desbordamientos, o erosión por oleaje en diques y presas de tierra, etc.

Es improbable que las condiciones principales que conducen a fallas y demandas en la construcción puedan suprimirse por completo, puesto que las irregularidades y variaciones extremas del subsuelo ocurren con frecuencia en numerosos depósitos de suelo y formaciones rocosas. Una restricción de igual importancia que deben tomar en cuenta tanto los ingenieros como los clientes, son las limitaciones del estado actual de la práctica en la Ingeniería Geotécnica.

Sin duda alguna, aunque el grado de especialización de la ingeniería geotécnica en la actualidad represente en cierto grado una restricción por decirlo de alguna manera, es importante reconocer que dichas fallas pueden disminuirse gracias a la investigación geotécnica integrada por completo, y asegurando la calidad del diseño y construcción por medio de profesionales especialmente calificados.

Para ello se debe establecer que son las estructuras de los suelos, utilizando este conocimiento como punto de partida para su clasificación y estudio.

La estructura de un suelo no es más que la ubicación, arreglo y orientación de sus partículas. Entre los muchos factores que influyen en dicha estructura tenemos la forma, tamaño, la composición mineralógica de dichas partículas, la naturaleza y composición del agua. Como se podrá ver más adelante, el suelo puede ser dividido en dos grupos: suelo grueso y suelo fino, suelo friccionante y suelo cohesivo respectivamente. El arreglo de la estructura de suelo es siempre organizado, siguiendo algunas leyes fijas y dependiendo de la acción de fuerzas naturales susceptibles de análisis.

En los suelos gruesos las fuerzas que permiten su estructura son bastante bien conocidas y sus efectos son relativamente simples de calificar, inclusive puede ser verificable a simple vista. Por el contrario, en los suelos formados por partículas muy pequeñas, las fuerzas que intervienen en los procesos de estructuración son mucho más complejas. Dichas estructuras sólo pueden ser verificables por métodos indirectos, relativamente complicados.

En los suelos de grano muy fino, las fuerzas de gravitación no predominan; esto debido a que en los granos, su relación de área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales y, cobran una gran significación.

Ya que se explicó qué es un suelo es importante hacer una clasificación de suelos y rocas para comprender las condiciones que pueden presentar, las pruebas que se les pueden realizar y los mejoramientos que se les pueden hacer para una buena conclusión de las obras de Ingeniería Civil.

#### **IV.1. Clasificación de suelos y rocas.**

En su origen, tal y como se ha venido mencionando, todos los suelos son producto de la alteración química o de la desintegración mecánica de un macizo rocoso, el cual ha sido expuesto a los procesos de intemperismo, y esto es la reacción de los materiales que estuvieron una vez en equilibrio dentro de la corteza terrestre a las nuevas condiciones en o cerca del contacto con el aire, el agua y la materia viviente, así como los cambios bruscos de temperatura. El intemperismo es en sí, un proceso de rompimiento de las rocas debido a procesos mecánicos y/o químicos en pequeños fragmentos.

El intemperismo mecánico (desintegración) puede ser causado por la expansión y contracción de las rocas debido a la continua ganancia o pérdida de calor, resultando por último una desintegración. Frecuentemente, el agua se infiltra dentro de los poros o grietas existentes en las rocas, la cual al congelarse por la disminución de temperatura, causa un aumento de volumen por lo que la presión ejercida por el hielo provoca un rompimiento en fragmentos de la roca. Otros factores físicos causados por la intervención del agua son: los hielos glaciares, las corrientes de agua y las olas en los mares. Es importante hacer notar que en el intemperismo mecánico, grandes rocas son desintegradas en pequeños pedazos sin ningún cambio en su composición química. Para que actúe cualquier tipo de acción del hielo, deben existir ciertas condiciones:

1. Debe haber un abastecimiento de humedad adecuado y suficiente.
2. La humedad debe ser capaz de penetrar la roca o suelo.
3. La temperatura debe variar por encima y por debajo de la línea de congelación.

En el intemperismo químico (descomposición), los minerales originales de la roca son transformados en nuevos minerales por reacciones químicas. El agua y el bióxido de carbono de la atmósfera forman el ácido carbónico, el cual reacciona con los minerales existentes en rocas y forman nuevos minerales así como sales solubles. Las sales solubles presentes en el agua de los suelos y los ácidos orgánicos, que se crean por la descomposición de la materia orgánica, causan un intemperismo químico.

El proceso de intemperismo no está limitado únicamente a las rocas ígneas sino que este sucede también en las rocas sedimentarias y metamórficas. Un ejemplo del intemperismo químico es la ortoclasa, la cual forma minerales de arcilla, sílice y carbonato de potasio. Algunos minerales ferromagnesianos forman por la descomposición minerales de arcilla, sílice y sales<sup>1</sup>.

Posteriormente al intemperismo, los componentes del suelo pueden ser modificados por los medios de transporte, como el agua, el viento y el hielo, y también por la inclusión y descomposición de materia orgánica, en consecuencia, los depósitos de suelo pueden ser conferidos a una clasificación geológica, al igual que una clasificación de elementos constitutivos. Según su formación, los tipos de roca se clasifican en general como ígneas, metamórficas y sedimentarias. La capacidad de carga asignada a la roca, para el diseño o el análisis, debe de reflejar el grado de alteración de los minerales debido al intemperismo, la frecuencia de discontinuidades dentro de la masa rocosa y la susceptibilidad de deterioro cuando la roca es expuesta a la intemperie.

Partículas menores de 0.074mm. que forman suelos o pueden estar contenidas en suelos con partículas de tamaños mayores, conforman a los suelos finos, las partículas de este tamaño no se distinguen (limos, arcillas).

Partículas de tamaños comprendidos entre 0.74mm. y 76.4mm. que forman suelos o pueden estar contenidas en suelos con partículas de tamaños menores conforman a gravas y arenas.

Las partículas de tamaños mayores que 76.4mm. que no forman suelos, pero pueden estar contenidas en ellos, por costumbre se les conoce como fragmentos de roca.

### **Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).**

Diferentes instituciones han clasificado los suelos de acuerdo al tamaño de sus partículas, por ejemplo, el MIT, ASTM, USBR, etc., pero es la clasificación propuesta por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es la que se utiliza con mayor frecuencia.

---

<sup>1</sup> Ver estos conceptos en el anexo B.

Este sistema es el más ampliamente utilizado entre los diversos sistemas de clasificación, que se basan en los componentes del suelo, y correlaciona el tipo de suelo con el comportamiento generalizado del mismo. Todos los suelos se clasifican como de grano grueso (50% de las partículas > 0.074mm), de grano fino (50% de las partículas 0.074mm) o predominantemente orgánicos<sup>2</sup>.

### **Suelos gruesos.**

Los suelos de grano grueso se subdividen por el tamaño de sus partículas en boleos (partículas mayores de 8 pulgadas), cantos (de 3 a 8 pulgadas), grava y arena.

Para tener una mejor comprensión de las características de resistencia de los suelos es conveniente tratar primeramente aquellos que suelen considerarse puramente friccionantes; es decir, las arenas limpias, gravas limpias y las combinaciones de tales materiales. Los criterios que se describen a continuación están basados en pruebas hechas con equipo de corte directo y triaxial.

La explicación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos friccionantes parte de los mecanismos de la fricción mecánica; para una explicación más estricta de esta ley a una masa de partículas discretas, hay que considerarlos actuando en los puntos de contacto. Cuanto mayores sean las partículas menos serán los puntos de contacto, si todas las demás circunstancias prevalecen, por lo tanto, mayores serán las concentraciones de presión en ellos. Análogamente, los puntos de contacto aumentan con la mejor distribución granulométrica. Las presiones en los puntos de contacto cobran importancia si se relacionan con la resistencia individual de los granos del material, pues bajo aquellas, éstos pueden llegar a deformarse o romperse.

La resistencia al esfuerzo cortante de una masa de suelo friccionante depende de las siguientes características del propio material:

- Compacidad.
- Forma de los granos.
- Distribución granulométrica.
- Resistencia individual de los granos.
- Tamaño de las partículas.

Además de las características anteriores existen dos factores circunstanciales, dependientes de como se hace llegar el material a la falla, que ejercen también gran influencia en la resistencia. Estos son los niveles de esfuerzo y el tipo de prueba que se realizan en el laboratorio.

---

<sup>2</sup> Ver anexo C.

En la siguiente tabla se muestran los resultados para esfuerzo-deformación obtenidos para tres muestras de una misma arena; una supuesta suelta, una compacta y una cementada (con un cementante natural actuando entre los granos).

Suelta	Falla plástica.
Compacta	Frágil, disminución suave.
Cementada	Frágil, disminución rápida.

La deformabilidad es menor en la arena compacta que en la suelta y en la cementada es la menor de las tres. (Las pruebas tienden a un valor de esfuerzo al crecer la deformación).

En la arena suelta, puede afirmarse en términos sencillos, que cuando tiende a ocurrir un desplazamiento a lo largo de un plano interno en la masa, las partículas no se traban entre sí, ni se bloquean, por lo que la resistencia que se opone a la deformación es sólo fricción. En cambio, en una arena compacta, la resistencia que se opone a la deformación no sólo corresponde a fricción, sino también a todo un conjunto de efectos debidos a la trabazón de los granos entre sí, que se opone y bloquea toda tendencia al movimiento relativo entre ellos. Según ha quedado establecido, existe el hecho de que, en deformación bajo esfuerzo cortante, las arenas sueltas disminuyen su volumen y, por lo tanto, su relación de vacíos, en tanto que en las arenas compactas ambos aumentan.

En resumen, una arena compacta que se trate de deformar aplicándole las cargas con velocidad alta, aumenta su resistencia al esfuerzo cortante. Si la arena es suelta, naturalmente debe producirse el efecto contrario. Al deformarse tiende a compactarse, lo que aumenta la presión en el agua, si ésta no se drena con suficiente rapidez. Este aumento en presión neutral rebaja la presión efectiva y por lo tanto la resistencia al esfuerzo cortante.

Estos experimentos son principios fundamentales, aplicables a casos reales en condiciones reales para obras de Ingeniería Civil, por lo que es importante tomarlos en cuenta para ambas modalidades; suelos gruesos y suelos finos.

### **Suelos finos.**

Los suelos de grano fino se clasifican por su límite líquido y el índice de plasticidad, en arcillas orgánicas o limos, arcillas inorgánicas, limos arenosos, etc. la consistencia de los suelos cohesivos se estiman comúnmente en las muestras de suelo por medio de penetrómetro de bolsillo y el trocómetro. Los valores de consistencia se expresan como sigue:

Blanda	Menor de 0.25 T/ft <sup>2</sup>
Media	De 0.25 a 0.50 T /ft <sup>2</sup>
Firme	De 0.50 a 1.0 T /ft <sup>2</sup>
Muy firme	De 1.0 a 2.0 T /ft <sup>2</sup>
Dura	Mayor de 2.0 T /ft <sup>2</sup>

La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos “cohesivos” es de mucho más difícil determinación que en los suelos friccionantes, pues en los primeros la estructura del suelo no puede adaptarse con suficiente flexibilidad a las nuevas condiciones de esfuerzo que se pueden presentar; esto es debido, sobre todo, a la relativamente baja permeabilidad de estos suelos, respecto a las arenas; ahora, el agua requiere siempre periodos importantes de tiempo para moverse dentro de la masa de suelo, ya que se ve influenciada por diferentes factores que, en ningún caso, es permisible manejarla con fórmulas o criterios prefijados, siendo imperativo en cada caso, efectuar un estudio minucioso y específico de tales factores, hasta llegar a determinar el valor que en cada problema se ha de emplear.

Los factores que principalmente influyen en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos finos (cohesivos) y cuya influencia debe sopesarse cuidadosamente en cada caso particular, son los siguientes:

- Historia previa de consolidación del suelo.
- Condiciones de drenaje del mismo.
- Velocidad de aplicación de las cargas a que se le sujete.
- Sensibilidad de su estructura.

### **Clasificación de rocas.**

Las clasificaciones de la calidad de la roca se basan generalmente en los resultados de las pruebas de compresión o en las condiciones de los corazones, o bien en ambos. Los tipos comunes de roca de los depósitos ígneos contienen basalto, granito, diorita, riolita, andesita. Las rocas metamórficas típicas contienen esquistos, gneiss, cuarcita, pizarra y mármol. Las rocas típicas de depósitos sedimentarios contienen esquisto, arenisca, conglomerado y caliza<sup>3</sup>.

### **La estructura de la roca.**

La estructura de la roca y el grado de fracturación controla, en general, el comportamiento de la masa rocosa que haya sido alterada en forma significativa por los procesos de intemperismo. Para las obras de Ingeniería Civil es necesario caracterizar los rasgos regionales y locales que pueden influir en el diseño de las

---

<sup>3</sup> Ver anexo D.

cimentaciones, excavaciones y lumbreras en la roca. La información de publicaciones geológicas y mapas es útil para definir las tendencias regionales relativas a la orientación de los lechos, sistemas de juntas principales, fallas, etc.

Los índices de calidad de la roca se determinan por inspección de corazones, incluyen la frecuencia de fracturas (FF; número de fracturas naturales que se presentan por pie o en la muestra) y la designación de la calidad de la roca (RQD; es la longitud acumulada de los pedazos de roca, mayores o iguales a 4 pulgadas, naturalmente separados, y se expresa como porcentaje de la longitud del corazón extraído). La magnitud de la calidad de la roca también puede basarse en el índice de velocidad, que se obtiene en pruebas de laboratorio y en las pruebas in situ de propagación de ondas sísmicas. El índice de velocidad está dado por  $(V_s/V_l)^2$ , donde  $V_s$  y  $V_l$  representan las velocidades de las ondas sísmicas medidas in situ y en pruebas de laboratorio respectivamente.

Puesto que algunas rocas tienden a desintegrarse rápidamente (quiebre) ante la exposición atmosférica, el potencial de resquebrajamiento deberá ser determinado a partir de pruebas de laboratorio. Estas pruebas comprenden inmersión en agua, abrasión, mojado y secado repentino y otras pruebas especiales, como la prueba de durabilidad por desintegración. La alteración de los minerales de roca, debido a los procesos de intemperismo, se asocia a menudo con la reducción de la dureza de la roca y el incremento de la porosidad y decoloración. En un estado avanzado de intemperismo la roca puede contener suelo dentro de las grietas, ser abrasible sin dificultad, romperse de pronto, y exhibir en ocasiones un RQD o FF reducido. La magnitud de grado de alteración de la roca, cuando se tiene acceso a corazones, representa una ayuda valiosa en la estimación de la calidad de la roca.

### **Propiedades físicas de suelos.**

Las propiedades básicas del suelo y sus parámetros pueden subdividirse en categorías físicas, índice y mecánicas. Las propiedades físicas del suelo comprenden: densidad, tamaño y distribución de partículas, gravedad específica y contenido de agua.

La porosidad  $n$ , que es una medida de la cantidad relativa de vacíos, es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total  $V$  del suelo:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Donde;

$n$ ; Porosidad.

$V_v$ ; volumen total de vacíos.

$V$ ; volumen total del suelo.

La relación entre  $V_v$  y el volumen ocupado por las partículas del suelo  $V_s$ , define la relación de vacíos  $e$ . Dada  $e$ , el grado de saturación puede calcularse como sigue:

$$S = \frac{w}{e}$$

Donde  $G$ , representa la gravedad específica de las partículas del suelo. En la mayoría de los suelos orgánicos,  $G$ , se encuentra comúnmente en el rango de 2.67 +/- 0.05.

El peso volumétrico seco  $V_d$ , de una muestra del suelo, con cualquier grado de saturación puede calcularse como:

$$V_d = \frac{V_w G_s S}{1 + w G_s}$$

Donde;

$V_w$ ; es el peso volumétrico del agua y se toma por lo general como 62.4 lb/ft<sup>3</sup> para agua pura y 64.0 lb/ft<sup>3</sup> para agua de mar.

$S$ ; grado de saturación.

$w$ ; Contenido de agua.

La distribución del tamaño de partículas (granulometría), de los suelos, puede determinarse por análisis mecánico (mallas. ver anexo C) y también en forma combinada con el análisis del hidrómetro. Si la muestra combinada contiene una cantidad significativa de partículas finas, menores a 0.074mm (malla No. 200). La granulometría de las partículas, en combinación con la densidad máxima, mínima e in situ de suelos no cohesivos pueden dar útiles correlaciones con las propiedades mecánicas. Todo este apartado es importante como tema introductorio para la comprensión y utilización de métodos de estudio de laboratorio para la confiable realización de las obras de Ingeniería Civil.

### **Parámetro índice de suelos.**

Los parámetros índice de suelos cohesivos incluyen límite líquido, límite plástico, límites de contracción y actividad. Tales parámetros son útiles para clasificar suelos cohesivos y obtener correlaciones con la proyección de propiedades de suelos.

El límite líquido de los suelos cohesivos representa un estado cercano al líquido, esto es, una resistencia al corte no drenada al rededor de 0.01 lb/ft<sup>2</sup>.

El contenido de agua para el cual el suelo deja de presentar un comportamiento plástico se denomina límite plástico.

El límite de contracción representa el contenido de agua, a partir del cual dejan de ocurrir variaciones volumétricas con la reducción del contenido de agua. Los parámetros de correlación más útiles son el índice de plasticidad  $I_p$ , el índice líquido  $I_L$ , el índice de contracción  $I_s$  y la actividad  $A_c$ .

La densidad relativa  $D_r$  de los suelos cohesivos puede expresarse en términos de la relación de vacíos, o el peso volumétrico seco. El  $D_r$  determina la propiedad de los suelos no cohesivos y permite correlacionarse con otros parámetros, como el ángulo de fricción, la permeabilidad, la compresibilidad, módulo de esfuerzo cortante-deformación, resistencia cíclica al corte, etc.

La proyección de propiedades y parámetros de suelos describe el comportamiento de suelos bajo esfuerzo inducido y cambios ambientales. De interés para la mayor parte de aplicaciones geotécnicas son la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de suelos in situ y compactados.

De aquí en adelante y habiendo retomado conceptos fundamentales para el estudio y pruebas experimentales del suelo, nos adentraremos a lo que a pruebas de laboratorio compete.

### **Análisis granulométrico.**

Cuando se empezaron a estudiar las propiedades de los suelos se pensaba que las propiedades mecánicas estaban en función directa de la extensa distribución de tamaños de partículas que los formaban, aspecto que se ha ido desvaneciendo con la experiencia.

Con el estudio de la granulometría de los materiales, se ha observado que en los suelos granulares, con un espectro amplio de tamaño de partículas, los comportamientos físicos y mecánicos son más favorables que en suelos más homogéneos. Sin embargo, el comportamiento mecánico e hidráulico está definido por características como la orientación de los granos y por la compacidad de los mismos, características que se destruyen al realizar una prueba granulométrica. Para los suelos finos, pueden resultar inútiles los análisis granulométricos debido a que sus propiedades mecánicas e hidráulicas dependen a tal grado de su estructuración e historia geológica. Sin embargo, se debe de estar familiarizado con los métodos para su obtención (prueba del hidrómetro).

Originalmente los procedimientos para la separación por tamaños de las partículas de un suelo eran algo engorrosos, actualmente con la técnica del cribado es posible efectuar el trazado de la curva granulométrica, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes. Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos al aplicar técnicas de análisis de suspensiones.

El análisis granulométrico es un intento de determinar la proporción relativa más cercana de los diferentes tamaños de los granos que se encuentran en una masa del suelo. Por lo tanto se deben de manejar muestras estadísticamente representativas de la masa del suelo en estudio. Actualmente no es posible determinar los tamaños individuales de las partículas del suelo ya que la prueba puede únicamente agrupar los varios rangos de tamaños.

La curva granulométrica nos puede proporcionar una buena indicación sobre cual ha sido la historia del suelo, por ejemplo, nos muestran a través del tiempo depósitos glaciares, glaciares aluviales, rellenos, eventos naturales, entre muchos más<sup>4</sup>.

### **Plasticidad de suelos.**

Hay suelos que al ser remoldeados gracias a su contenido de agua, adoptan una consistencia de plasticidad. Se ha reconocido gracias a estudios que existe una relación específica entre la plasticidad y las propiedades físico-químicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas. Las investigaciones han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar.

En mecánica de suelos se puede definir a la plasticidad como la propiedad que tiene un material para poder soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Los experimentos realizados por investigadores como Atterberg, Terzaghi y Goldschmidt han revelado que la plasticidad de los suelos se debe a la carga eléctrica de las partículas laminares, que generan campos, que actúan como condensadores e influyen en las moléculas bipolares del agua; en los suelos plásticos, el espesor de estas capas de agua viscosa influidas es grande, y su efecto en la interacción de las partículas de suelo determinan su plasticidad.

Para medir la plasticidad de los suelos finos (limos, arcillas) se han desarrollado varios criterios, el obtenido por Atterberg es el más utilizado. Para Atterberg, la plasticidad no era una propiedad permanente de los suelos finos, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua; según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia: estado líquido, estado semilíquido, estado plástico, estado semisólido, estado sólido.

Los anteriores estados son fases generales del suelo al irse desecando y no existen criterios estrictos para distinguir sus fronteras. Atterberg estableció las primeras convenciones para ello, bajo el nombre general de límites de consistencia. Atterberg marcó las fronteras de los cuatro estados en que pueden

---

<sup>4</sup> Ver anexo E.

presentarse los materiales muy finos; para ello estableció los siguientes límites: líquido, plástico y de contracción. El primero es la frontera entre el estado líquido y plástico; el segundo, entre el plástico y el semisólido; el tercero, separa el estado semisólido del sólido, como se muestra en el siguiente cuadro<sup>5</sup>:

Sólido	Semisólido	Plástico	Líquido
Aumento del contenido del agua (w) 			
Límite De contracción	Límite plástico	Límite líquido	

### Límites de Atterberg.

La diferencia entre el límite líquido y el plástico se llama índice de plasticidad, y mide el intervalo de contenido de agua en el cual el suelo es plástico. El índice de contracción se define como la diferencia entre los límites plásticos y de contracción.

### Concepto de esfuerzo efectivo.

En un volumen de suelo, las partículas de los suelos están distribuidas aleatoriamente con espacios vacíos entre ellas. Los espacios vacíos son continuos y son ocupados por agua o aire. Para analizar problemas como la compresibilidad del suelo, la capacidad de carga, estabilidad de taludes, y la presión lateral sobre estructuras de retención.

En una masa de suelo saturado sin filtración de agua, los esfuerzos totales pueden ser divididos en dos partes:

Una porción es soportada por el agua, ubicada en los espacios vacíos continuos. Esta porción actúa con igual intensidad en todas direcciones.

El resto del esfuerzo total es soportado por los sólidos del suelo en sus puntos de contacto. La suma de las componentes verticales de las fuerzas desarrolladas en los puntos de contacto de las partículas sólidas por unidad de área, en una sección transversal dentro de las masas del suelo, dan por resultado el esfuerzo efectivo.

Para poder confiar en el resultado de los esfuerzos efectivos hay que considerar de manera importante la situación hidrostática de la masa de los suelos; la distribución de presiones hidrostáticas, es simplemente la variación en forma lineal con respecto a la profundidad de la presión de poro en el agua. Para poder ubicar el punto del NAF (Nivel de Aguas Freáticas), donde la presión de poro o esfuerzo neutro en el agua es igual a cero, se utiliza un tubo de

<sup>5</sup> Ver anexo F.

observación freática, este dispositivo permite determinar la posición del nivel freático, así como su variación estacional en los periodos de lluvias y sequía; sirve también para detectar el abatimiento de este nivel a largo plazo, esta medición es indispensable para definir los estados de esfuerzos de la masa del suelo del sitio en estudio, así como su evolución con el tiempo. Estos dispositivos deben instalarse abundantemente en: cada sitio donde se haga un sondeo, se instale una estación piezométrica o se tenga incertidumbre de la posición del nivel freático.

Para conocer la distribución de la presión de poro, en la masa de suelo, se utilizan los equipos conocidos como piezómetros, abiertos o neumático.

### **Propiedades hidráulicas del suelo.**

En 1856, Darcy publicó una ecuación muy simple para la velocidad de descarga del agua a través de los suelos saturados, la cual puede ser expresada como:

$$v = K i$$

Donde;

v; Velocidad de descarga de agua en el suelo.

K; coeficiente de permeabilidad.

i; gradiente hidráulico.

La ecuación anterior se basó inicialmente en observaciones hechas por Darcy para flujo de agua a través de arenas limpias, pero puede ser aplicable para un amplio rango de suelos.

El coeficiente de permeabilidad de un suelo es un dato cuya determinación correcta es de fundamental importancia para la formación de criterios del proyectista en algunos problemas de mecánica de suelos y, en muchos casos, para la elaboración de los cálculos<sup>6</sup>.

El coeficiente de permeabilidad de los suelos esta en función de varios factores: la viscosidad del fluido, la distribución en los tamaños de los poros, la distribución granulométrica, la relación de vacíos, del grado de saturación de los suelos, etc. en los suelos arcillosos, la estructura juega un papel muy importante en el coeficiente de permeabilidad. Otros factores que afectan la permeabilidad en las arcillas son las concentraciones de iones y los espesores en los estratos de agua atrapada por una partícula de arcilla.

Hay varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de los suelos: unos directos, así llamados por que se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición de tal coeficiente; otros indirectos, proporcionados en

---

<sup>6</sup> Ver anexo G.

forma secundaria, por pruebas y técnicas que primeramente persiguen otros fines. Estos métodos son los siguientes:

*Directos.*

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Prueba directa de los suelos en el lugar.

*Indirectos.*

- Cálculo a partir de la carga constante.
- Cálculo a partir de la carga variable.
- Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad.

### **Fuerzas de filtración.**

Cuando el agua fluye a través de una masa de suelo su efecto no se limita a la presión hidrostática, sino que se ejerce una presión hidrodinámica sobre las partículas del suelo, en dirección del flujo. La magnitud de esas presiones o de esos empujes hidrodinámicos depende sobre todo del gradiente hidráulico prevaeciente.

### **IV.2. Pruebas de laboratorio.**

De este punto en adelante se entrara en el tema de las pruebas de laboratorio, las cuales como se ha investigado con anterioridad para hacer una comprobación de la tesis planteada, conforman una etapa importante para un buen diseño, un buen desarrollo y una buena conclusión en las obras de Ingeniería Civil, aún más, cuando la obra en cuestión involucra diferentes tipos de suelos dadas sus dimensiones, como es el caso de las vías de comunicación, las cuales recorren distancias considerables, en las que se ven involucradas diferentes condiciones, entre las que destacan los tipos de suelo y el clima, entre otras.

El objetivo de la mayor parte de las investigaciones geotécnicas del lugar es obtener información sobre las condiciones en la superficie y el subsuelo, que se requiere para diseñar y construir las instalaciones, así como evaluar y mitigar los riesgos geológicos como deslizamientos, hundimientos y licuación. La investigación del sitio es parte de un proceso integrado, por lo que es importante mencionarlo y señalar pruebas de este tipo (investigación del sitio), este proceso integrado incluye:

- Recopilación de los datos disponibles.
- Investigación de campo y laboratorio.
- Identificación de la estratigrafía del sitio y las propiedades del suelo.

- Análisis de ingeniería.
- Establecimiento de criterios de diseño y construcción o evaluaciones de ingeniería.

En este apartado se hace mención de las pruebas más representativas, para los suelos gruesos y finos, siendo esta la clasificación más general que se le puede hacer a los distintos tipos de suelo. Pruebas de laboratorio más representativas, que nos muestran las condiciones de resistencia, deformabilidad, esfuerzo máximo, etc. del suelo a utilizarse en una obra específica de Ingeniería Civil:

#### *Finos.*

- Resistencia al corte de suelos cohesivos. (finos)
- Prueba de compresión uniaxial.
- Compresión triaxial.
- Compresión triaxial (no consolidada-no drenada).
- Compresión triaxial (consolidada-no drenada).
- Corte simple.
- Corte directo.
- Cortante de torsión.
- Cortante in situ con veleta.
- Cortante triaxial.
- Pruebas consolidadas drenadas.
- Mediciones de presión de pozo de agua.

#### *Gruesos.*

- Resistencia de suelos no cohesivos. (gruesos)
- Pruebas drenadas con mediciones de presión de poro.
- Pruebas no drenadas con mediciones de presión de poro.
- Pruebas in situ de penetración de cono.
- Pruebas estándar de resistencia a la penetración.
- Cono de resistencia a la penetración.
- Pruebas de densidad máxima y mínima in situ.
- Triaxiales cíclicas.
- Cortante cíclico.
- Cortante simple.
- Cortante directo.
- Prueba cuasi estática de penetración de cono. (in situ)
- Prueba de carga-soporte. (in situ)
- Prueba con presiómetro. (PMT)

Una prueba que se suele utilizar para medir la calidad o resistencia de suelos que estarán bajo capas de pavimento, y que ayuda a determinar el grosor de la base, el propio pavimento y otras capas, es la Relación de soporte de

California (CBR), la cual es pertinente mencionar por la naturaleza del estudio que se está realizando.

### **Campo de acción y planificación de la investigación del sitio.**

En la etapa de planificación, tal y como se ha dado a conocer en el capítulo 2 de este trabajo de investigación, la planificación se debe revisar y evaluar toda la información que se tenga y pueda obtenerse por distintos procesos, tales como topografía, geología, geotecnia, etc. En las áreas urbanas es necesario estudiar y valorar los antecedentes del desarrollo del lugar. En particular es muy importante que un ingeniero calificado se haga cargo de la dirección y vigilancia de todas las operaciones de campo.

El campo de acción de las investigaciones geotécnicas del lugar varía con el tipo de proyecto, pero por lo común incluye levantamientos topográficos, perforaciones para exploración y mediciones del agua del subsuelo. Con frecuencia, se complementan las perforaciones con sondeos y hoyos de prueba. En ocasiones se realizan estudios aerofotográficos, pruebas in situ e investigaciones geofísicas.

Los métodos de perforación que se emplean en la exploración geotécnica consisten en perforaciones: rotatoria, con barrena y por percusión, o alguna combinación de éstas. En el suelo las perforaciones profundas (de más de 100 ft) se realizan casi siempre con las técnicas de perforación rotatoria. La perforación con barrenas se utiliza mucho y es un método económico para perforaciones de profundidad baja o media. En la perforación por percusión, este método se emplea en lugares de acceso difícil, donde se requiere equipo portátil relativamente ligero.

Las muestras de suelo por lo general, se obtienen con un muestreador de tubo partido o al hincar por medios mecánicos o hidráulicos un tubo muestreador de pared delgada (Shelby). El tubo muestreador Shelby que se utiliza para obtener muestras inalteradas, generalmente es un tubo sin costura. En suelos que son blandos o difíciles de muestrear, se utiliza un pistón muestreador estacionario que hincan un tubo Shelby ya sea en forma hidráulica o por el sistema de taladro. La perforación rotatoria de núcleos se usa para extraer muestras de núcleos de rocas y de suelos cohesivos duros que no se pueden penetrar con las técnicas convencionales de muestreo. En arcillas duras y rocas blandas se pueden obtener muestras inalteradas por medio de la perforación rotatoria con un muestreador Dennison o Pitcher.

El control de los niveles de agua en el subsuelo es una parte integral de las operaciones de perforación y muestreo. Es usual que se requieran mediciones de aguas freáticas durante la perforación y por lo menos 12 horas después de ésta. Para estos estudios normalmente se utilizan los piezómetros con sensores de presión electrónicos (a últimas fechas), sin embargo, no es posible realizar pruebas in situ de la permeabilidad con estos piezómetros de sistema cerrado.

Para completar este punto se ha reunido información respecto a las pruebas in situ más representativas y utilizadas, la cual se mostrara adelante.

En los registros de perforaciones de prueba, se vierten todas las características de los suelos obtenidas por los estudios y pruebas, tales como: resistencia a la penetración, niveles de agua freática, ubicación y separación de los muestreos, etc., en estos registros, también se deben de anotar las condiciones especiales del subsuelo, por ejemplo cambios en la resistencia a la perforación, derrumbes de los pozos, vacíos y obstrucciones, entre otras. La información general que se requiere incluye la localización de las perforaciones, profundidad, procedimientos de perforación, tipos de muestreadores y cualquier otra información que sea importante para interpretar la bitácora de las perforaciones y muestreos, superficiales o no.

### **Pruebas de los suelos in situ.**

Se pueden utilizar las pruebas in situ en una gran variedad de circunstancias, para mejorar la definición de las condiciones, obtener datos de las propiedades del suelo y varios parámetros de análisis empírico y de laboratorio de campo para aplicaciones de diseño.

Dentro de las pruebas más utilizadas en este rubro tenemos las pruebas de penetración de cono cuasi estática y dinámicas, las pruebas con presionómetro, las pruebas de cortante con veleta, prueba de carga soporte, pruebas de densidad máxima y mínima, pruebas de carga con placa, pozos de cortante, prueba de dilatómetro, pozos a cielo abierto, pruebas de drenaje o permeabilidad, en algunos de los tipos más recientes de pruebas se utilizan sondas de diámetros pequeños que miden la respuesta de la presión de poro, las emisiones acústicas, la densidad aparente, el contenido de humedad durante la penetración, y hasta la búsqueda del nivel de aguas freáticas, cuando se supone éste, somero. Como parte de la investigación geotécnica, la prueba de prototipo de carga representa una variante de las pruebas in situ. Puede incluir pruebas de carga en pilotes o en el suelo para investigar el asentamiento y la estabilidad y pruebas a escala natural o menor de elementos superficiales de cimentación. La factibilidad de la construcción se puede evaluar en estos casos por medio de excavaciones de prueba, pruebas de hincado de pilotes, excavación de pozos, pruebas de fracturación de rocas, pruebas de desecado y otras.

Las investigaciones geofísicas con frecuencia son valiosas cuando se estima la continuidad de los estratos del suelo y roca entre los lugares de las perforaciones de prueba y, en ciertas circunstancias, permiten reducir la cantidad necesaria de sondeos. Asimismo, algunas de estas mediciones pueden proporcionar datos para conocer las propiedades de los suelos y las rocas. Como seguimiento del tema tal y como se ha venido presentando, se muestran las pruebas o técnicas que se investigaron más comunes con aplicación en la ingeniería:

- Técnicas de propagación de ondas sísmicas.
- Reflexión sísmica.
- Técnicas de transmisión directa de ondas sísmicas.
- Investigación de resistividad y conductancia.
- Técnicas de inspección aéreas.

Otros métodos geofísicos, pero con aplicaciones más limitadas son:

- Medición del campo gravitatorio
- Medición del campo magnético.
- Estudios de microgravedad.

### **Consolidación.**

Todos los materiales experimentan deformación cuando se les sujeta a cambio en sus condiciones de esfuerzo. En la actualidad las propiedades de esfuerzo-deformación se obtienen por medio de laboratorio y el resultado se lleva a la práctica en forma inmediata. La deformación de la mayoría de los suelos es mucho mayor que la de los materiales estructurales, aunque estas cargas sean pequeñas; por otra parte, esa deformación no se produce, por lo general, de manera simultánea a la aplicación de la carga, sino que se desarrolla en el transcurso del tiempo.

Otra diferencia entre los materiales estructurales y los suelos estriba en el hecho de que en los primeros la deformación es principalmente resultante de un cambio de forma, sin variación de volumen, mientras que en los suelos ambos fenómenos son importantes.

En la compresión, expansión o deformación sólo por cambios de volumen, es el proceso por el que una masa de suelo cambia de volumen manteniendo su forma; todo sucede como si estuviese cambiando de escala en el espacio tridimensional. La distancia entre los puntos cambia, pero se mantiene su posición relativa. La distorsión o deformación desviadora en cambio es el proceso por el que una masa de suelo cambia de forma, variando la posición relativa de sus puntos, pero manteniendo su volumen constante.

Los procesos reales de deformación pueden siempre descomponerse en esas dos facetas; hay una componente volumétrica de la deformación y otra desviadora; el proceso real puede considerarse siempre como una adición de ambas componentes.

A un proceso de disminución de volumen de suelo, que tenga lugar en un lapso de tiempo, provocado por un aumento de las cargas sobre el mismo, se le llama proceso de consolidación.

Durante el proceso de consolidación frecuentemente la posición de las partículas sobre un mismo plano horizontal permanece esencialmente invariable; así, el movimiento de las partículas de suelo puede ocurrir sólo en dirección vertical; ésta es la consolidación unidireccional o unidimensional. En la consolidación unidimensional, el volumen de la masa de suelo disminuye, por lo tanto desplazamientos horizontales de las partículas sólidas son nulos. Las pruebas de consolidación hechas en laboratorio son con muestras pequeñas y la consolidación se produce en tiempos muy cortos en comparación con el tiempo en que el estrato real de arcilla se consolidará bajo la carga de la estructura.

### **Teorías de falla.**

La Mecánica de suelos tradicionalmente ha estudiado las condiciones de esfuerzos límite que causan la falla por fractura o por flujo plástico de los suelos a través de la teoría de Mohr-Coulomb, que consiste en considerar que la resistencia de un material puede medirse por el esfuerzo cortante máximo que puede soportar ese material. Esta hipótesis de falla ha dado, en general, buenos resultados prácticos en los suelos, siempre y cuando los esfuerzos que se consideren sean los efectivos. La anterior hipótesis de falla, tan generalizada en Mecánica de Suelos es la causa de que prácticamente todos los problemas en que se involucra la resistencia de los suelos se refieran a la resistencia, al esfuerzo cortante de éstos.

Los criterios de falla que se han presentado en el pasado podrían clasificarse primeramente en dos grupos:

1. El que utiliza criterios dinámicos; es decir, que refiere la condición de falla a esfuerzos cortantes.
2. El que utiliza criterios cinemáticos, en los que la falla se define en términos de las deformaciones producidas.

En la actualidad se han desarrollado otras teorías que toman en cuenta el esfuerzo principal intermedio. Estas teorías usan los conceptos de esfuerzo normal octaédrico y esfuerzo tangencial octaédrico, que corresponden respectivamente al promedio de los tres esfuerzos normales principales y al esfuerzo tangencial que actúa en un plano igualmente inclinado respecto a los tres planos principales.

### **Determinación del esfuerzo cortante.**

Las muestras de suelo inalteradas, nos permiten realizar una identificación del tipo de suelo, obtención de las propiedades índice y propiedades mecánicas. Para la obtención de estas últimas propiedades se utilizan los diferentes equipos que se encuentran en un laboratorio de Mecánica de Suelos. Enfocado

principalmente a la obtención de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, los equipos más utilizados son:

- Torcometro.
- Penetrómetro.
- Aparato de corte directo.
- Aparato de corte simple.
- Equipo triaxial.

De las pruebas la última puede clasificarse en dos grandes grupos: pruebas de compresión y de extensión. Las pruebas triaxiales suelen considerarse constituidas por dos etapas:

1. La primera es aquella en que se aplica a la muestra la presión de cámara; durante ella puede o no permitirse el drenaje de la muestra.
2. En esta etapa, de carga propiamente, la muestra se sujeta a esfuerzos cortantes, sometiéndola a esfuerzos principales que ya no son iguales entre sí; esta segunda etapa puede también ser drenada o no.

La alternativa en la segunda etapa sólo se presenta si la primera etapa de la prueba fue drenada, pues no tiene mucho sentido permitir el drenaje en la segunda etapa, después de no haberlo en la primera.

### **Resistencia al esfuerzo cortante in situ.**

La prueba de veleta es una manera de estudiar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos cohesivos. La prueba presenta una ventaja considerable; la de realizarse sobre los suelos in situ y sobre muestras extraídas con mayor o menor grado de alteración. La alteración de los suelos sujetos a la prueba dista, sin embargo, de ser nula, pues la veleta ha de hincarse en el estrato en el cual vayan a realizarse las determinaciones y esta operación ejerce siempre influencia negativa.

La prueba de la veleta se aplica a suelos cohesivos plásticos donde uno obtiene la cohesión no-drenada. En las arenas sueltas, la veleta modifica la compacidad de los mantos al ser introducida y además produce un cambio en el estado de esfuerzos general dentro de la masa de suelo, por lo cual los resultados que pudieran obtenerse son de interpretación imposible.

### **Prueba de penetración estándar.**

La prueba de penetración estándar permite estimar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, mediante el número de golpes necesario para hincar

el penetrómetro estándar, y obtener muestras alteradas para identificar los suelos del sitio.

Con estas pruebas se pueden conocer las condiciones estratigráficas del sitio, aprovechando las muestras alteradas para determinar las propiedades índice; usualmente el contenido natural del agua y los límites de consistencia y estimando la resistencia al corte, mediante correlaciones empíricas con el número de golpes. Esta técnica de exploración es útil en suelos granulares, en el que el muestreo inalterado es casi imposible; en los suelos cohesivos, como los de la Ciudad de México no es recomendable, por que las correlaciones con el número de golpes son poco confiables.

Los resultados más comunes obtenidos de esta prueba son:

- Muestras alteradas.
- Perfil estratigráfico.
- Resistencia a la penetración.
- Prueba de corte Iowa.

La prueba es indudablemente una prueba de corte drenada donde el suelo esta relativamente libre para drenar debido a que las zapatas de contacto son pequeñas y la ruta de drenaje, que sigue el agua, es corta; además de que la prueba se desarrolla en rangos de velocidad de deformación de 0.5 mm/min o menos.

### **Prueba de cono eléctrico.**

Determinar las variaciones con la profundidad de las resistencias a la penetración de punta y fricción del cono; La interpretación de estos parámetros permite definir con precisión cambios en las condiciones estratigráficas del sitio y estimar la resistencia al corte de los suelos mediante correlaciones empíricas.

### **Prueba del presiómetro.**

Una prueba de este tipo no es trivial debido a las grandes presiones con las que se trabaja y las calibraciones para presiones y volúmenes muertos deben hacerse tomando datos graficados en curvas. Estos datos son usados para corregir los datos presión-volumen tomados durante una prueba, dando por resultado otra curva ya corregida. Es evidente que esta prueba puede ser hecha únicamente en suelos en donde la perforación puede ser formada y estar abierta hasta que la sonda sea insertada. Mientras el uso de lodo de perforación sea constante, la calidad de la perforación no puede ser inspeccionada y existe la posibilidad de que una capa de lodo quede atrapada entre la membrana de la celda y el suelo. Otro factor que se debe considerar es que el suelo tiende a

expandirse hacia la cavidad donde la perforación ha sido hecha, esto hace que la prueba tenga algunos efectos considerables por dicha perturbación.

Con una adecuada interpretación de los datos, se puede estimar la resistencia al corte no drenada para las arcillas y el ángulo de fricción para suelos friccionantes. Los valores de la resistencia determinados con este equipo son consistentemente mayores a los obtenidos por otros equipos. Ésta es del orden de 1.5 a 1.7 veces la de la prueba de veleta y de 1.3 a 1.5 la de triaxial.

### **Capacidad de carga.**

Es válido mencionar que todas las teorías matemáticas tienen como punto de partida la solución de Prandtl, al problema de la identificación de un sólido rígido en un medio continuo, semi-infinito, homogéneo e isótropo bajo condiciones de deformación plana; Esta solución, desarrollada en el marco de la teoría de plasticidad, supone al medio rígido-plástico perfecto. Otras soluciones están basadas en la teoría de la elasticidad. Pero la de Prandtl, planteada en 1920, con las características mencionadas anteriormente además de considerar que el contacto entre el elemento y el medio era perfectamente liso, propuso un mecanismo de falla más acertado.

Se trata de calcular la máxima presión que se puede dar al elemento rígido sin que penetre en el medio semi-infinito; a este valor particular de la presión se le denomina carga límite.

Otra teoría importante es la de Terzaghi, la cual cubre el caso más general de suelos con cohesión y fricción. Esta teoría por su impacto es utilizada hoy en día para calcular la capacidad de carga, especialmente en los cimientos poco profundos.

Una buena parte de las teorías desarrolladas tiene su base en hipótesis simplificadoras del comportamiento de los suelos y en desarrollos matemáticos a partir de tales hipótesis; En otras teorías, especialmente en las que corresponden a desarrollos recientes, la observación y lo empírico juegan un papel mucho más importante. Las diferentes teorías de capacidad de carga, solucionan problemas en suelos cohesivos, friccionantes y algunas teorías el caos de suelos cohesivo-friccionantes.

### **Factor de seguridad.**

Un factor de seguridad de 3 es generalmente aplicado a la condición de capacidad de carga última para llegar a un valor de capacidad de carga admisible. Lo anterior se ha llegado a considerar como algo conservador, ya que el suelo en la naturaleza no es homogéneo ni isotrópico, además de que se tiene una gran

incertidumbre en la obtención de los parámetros básicos de la resistencia al corte del suelo.

### **Mejoramiento de suelos con base en los estudios previos.**

Las investigaciones de las condiciones del suelo y del agua superficial en un sitio, por lo visto anteriormente, nos indicarán si se requiere mejorar o estabilizar el suelo. La estabilización o mejoramiento del suelo puede aumentar la resistencia, incrementar o disminuir la permeabilidad, reducir la compresibilidad, mejorar la estabilidad o disminuir el levantamiento o hinchamiento debido a heladas o hinchamientos. Las principales técnicas son:

- Rellenos reconstruidos.
- Reemplazo de suelos indeseables.
- Sobrecargas.
- Refuerzos.
- Estabilización mecánica.
- Estabilización térmica.
- Estabilización química.
- Diseño de drenaje eficiente.

## **V. DETERMINACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO A PARTIR DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.**

### **V.1. Puntos importantes en campo y laboratorio para la planeación y desarrollo del proyecto, previo a la construcción de la obra carretera.**

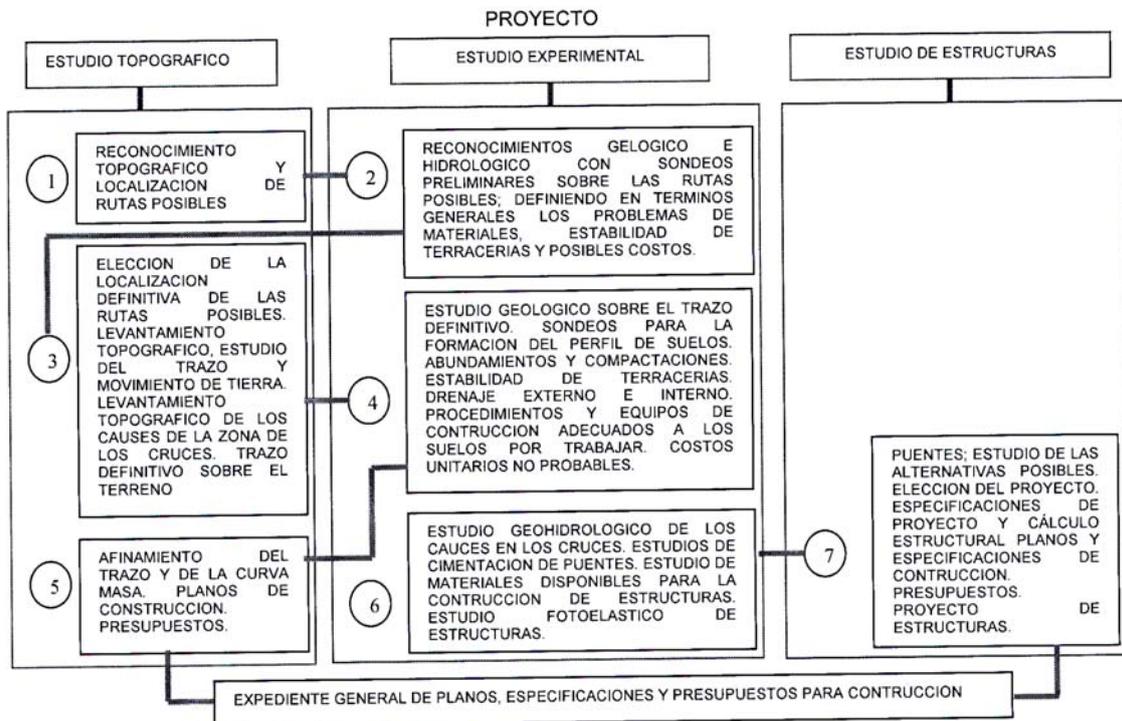
Los datos y condiciones fijadas por la planeación y condensadas a continuación, son la base y punto de partida del Proyecto como antecedente de la construcción del mismo. El proyectista debe, además observar las siguientes condiciones que tiene que llenar un camino para ser estable en forma permanente.

Condiciones que debe llenar un camino para proceder con la construcción de manera concluyente:

1. Formar una faja de textura, ancho y alineamiento determinados para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos.
2. Tener resistencia a las cargas muerta y viva.
3. Tener la superficie de rodamiento adherencia con la rueda.
4. Tener resistencia al desgaste producido por el efecto abrasivo de las ruedas.
5. Tener resistencia al intemperismo todas sus partes expuestas.
6. Tener resistencia a los efectos del agua capilar y filtración.
7. Seguridad en el tránsito.

Las siete condiciones anteriores pueden cumplirse total o parcialmente en un camino de acuerdo con la importancia y finalidad que éste tenga. El de primer orden debe cumplirlas totalmente. Los de orden inferior deben llenar íntegramente las dos primeras, pero pueden cumplir parcialmente, las cinco restantes.

Con los datos y especificaciones fijados, el proyecto se realiza a través de las tres partes en que se divide:



Cuadro No. V.1.

La primera etapa en el desarrollo del proyecto, corresponde al estudio. Su objeto es el conocimiento del relieve terrestre, que se conoce por la exploración terrestre, o por la exploración aérea. Después del reconocimiento, se localizan con procedimientos rápidos y aproximados las rutas posibles, cuyos datos se condensan en el cuadro siguiente, como ejemplo:

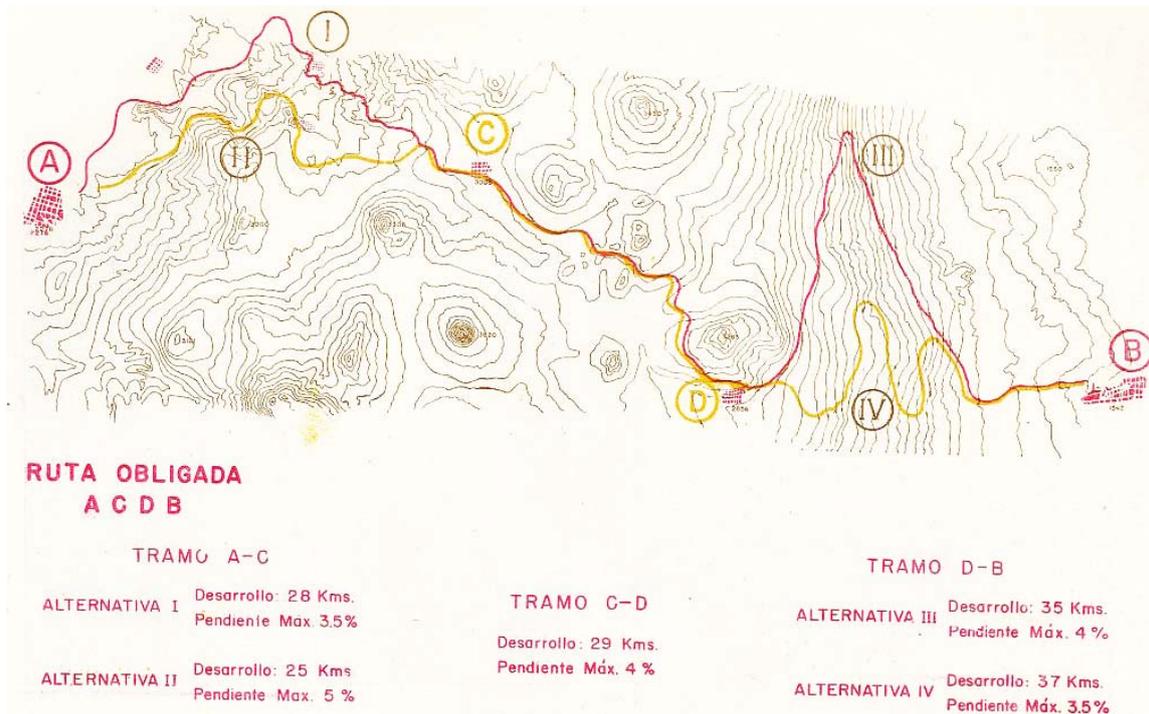


Figura V. 1.

Se define, por lo que corresponde a la topografía, que hay entre A y C las alternativas 1 y 2; entre C y D, sólo hay una; y entre D y B hay la 3 y la 4, con los datos asentados en la parte inferior del cuadro.

Esta primera etapa que corresponde al estudio topográfico, analiza la localización del camino desde el punto de vista geométrico. La siguiente etapa tan importante como la anterior, corresponde al estudio geológico en su aspecto preliminar, o sea el de reconocimiento. El geólogo analiza la estructura y composición de la corteza terrestre a través de un reconocimiento superficial, que le permite por ejemplo, predecir la inestabilidad de un corte en una formación columnar, o en una brecha, o en una estratificación caliza cuyo echado ocasiona deslizamientos, o en una formación arcillosa reciente, o en las filtraciones que provienen de corrientes subterráneas y que pueden dañar el camino construido, por exceso de humedad, sub-presiones, etc.



Fotografía No. V.1.



Fotografía No. V. 2



Fotografía No. V. 3.



Fotografía No. V.4.

Inmediato al reconocimiento geológico viene la primera exploración para definir a aproximadamente la constitución del suelo en aquellas partes en que no se manifiesta por afloramientos superficiales. Las herramientas son las brocas, posteadoras, etc.

Se barrena hasta la profundidad que puede ser afectada por la obra de terracería. Las muestras se envasan llevándose el registro de situación y profundidad. Se transportan al laboratorio usando incluso bestias de carga en regiones montañosas, o en vehículos que pueden transitar donde no existen caminos.

El Geólogo y el Ingeniero estudian las muestras de roca, y las muestras de suelos en el laboratorio. Para obtener los datos siguientes:

#### Pruebas de las rocas:

- Clasificación petrográfica.

#### Pruebas a los suelos:

- Granulometría.
- Características plásticas.
- Humedad en el lugar.

Que permitan, sobre las diversas rutas de la localización topográfica, trazar el perfil geológico aproximado.

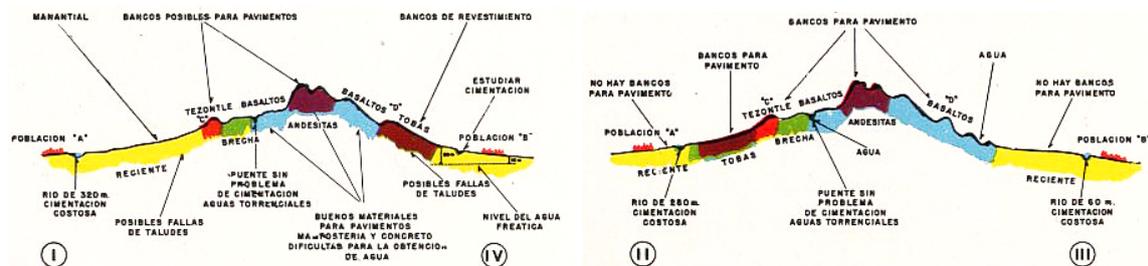


Figura V. 2.

Con estos datos se puede elegir cuál de estas alternativas es más estable y económica pasando a la tercera etapa.

Elegida la ruta se lleva a cabo el levantamiento topográfico de la faja en que se aloja el trazo de camino, por los procedimientos comunes.

Sobre la topografía llevada al plano se estudia el trazo definitivo, cuya finalidad es el plano de proyecto.

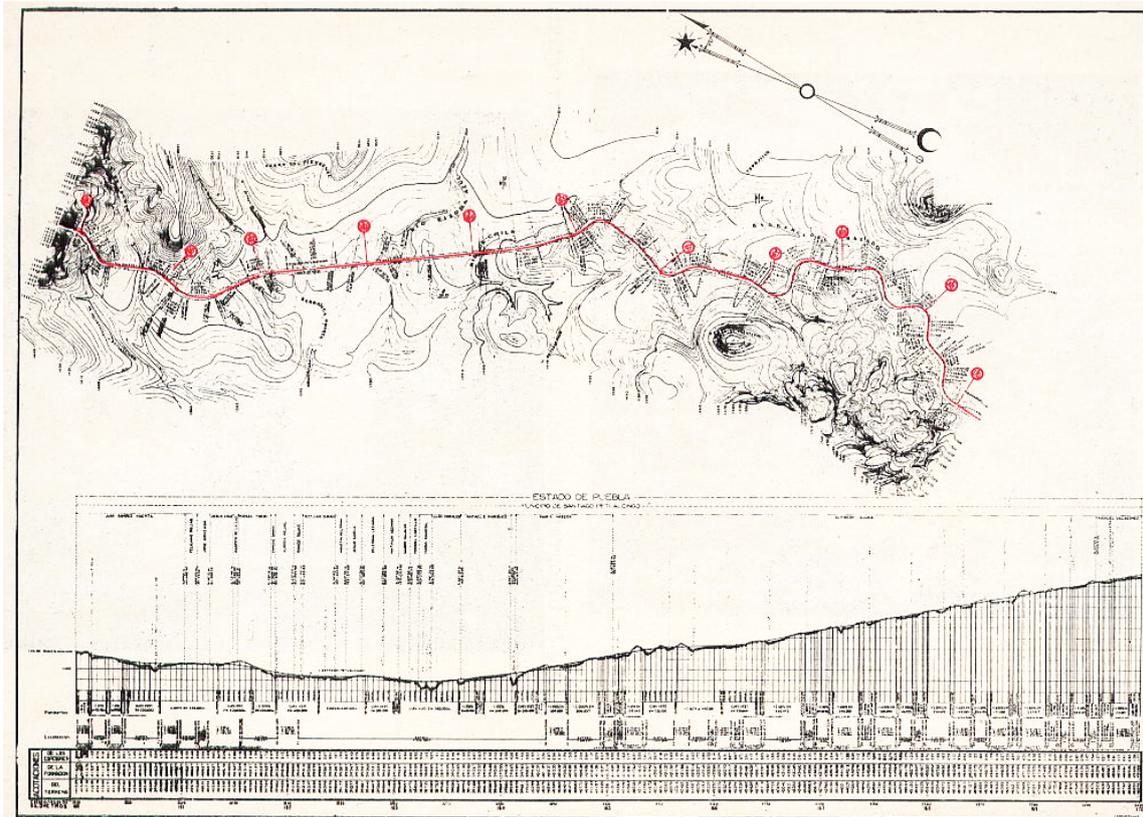


Figura No. V. 3.

Se traza en el campo el eje del camino, y se inicia la cuarta etapa que corresponde a la Ingeniería Experimental.

El proceso correspondiente a la cuarta etapa se inicia sobre la línea trazada en el terreno, con sondeos para obtener el perfil de suelos. Los sondeos se llevan a cabo con barrenos de mano en material suave, con los que se puede sondear hasta 20 m., en condiciones favorables. Con máquina perforadora en terrenos duros.

Para determinación del perfil de suelos, el empleo de la máquina perforadora es excepcional, usándose exclusivamente para el estudio de cimentaciones de estructuras. La determinación del perfil de suelos tiene una gran

importancia para conocer los materiales con los cuales se construyen las terracerías, tanto por lo que se refiere a los cortes como a los terraplenes.

En el caso de los terraplenes, por medio del perfil de suelos sabremos de qué materiales se dispone para su construcción y como consecuencia de esto, qué equipo es el más indicado para llevarla a cabo y qué procedimiento es el apropiado.

En el caso de los cortes, el conocimiento del material que se va a excavar tiene una gran importancia por tres motivos:

1. Conocer las dificultades que se tendrán al atacar la excavación y definir el equipo y procedimiento de construcción que se empleen en ella.
2. Tener conocimiento del material que se va a emplear en el terraplén si la terracería está compensada.
3. Estudiar la estabilidad de los taludes en el corte calculando su inclinación y el drenaje necesario.

Al abrir un corte provocamos un desequilibrio en la corteza terrestre que puede ocasionar movimientos en ésta (derrumbes o deslizamientos), o puede permanecer estable siendo esto una consecuencia de la naturaleza de los materiales que la forman, de su estructura y de las condiciones hidrológicas externas o internas.

La combinación de estos tres factores hacen que el problema que se presenta en los cortes sea complejo, obligando al Ingeniero a estudiar la situación lo más ampliamente posible, pero en forma rápida y práctica, la naturaleza del suelo en su aspecto geológico y geohidrológico.

A continuación se exponen gráficamente algunos de los problemas típicos de inestabilidad y estabilidad de los cortes, empezando con el caso descrito a continuación.

Corte alojado en un terreno arcillo-arenoso permeable teniendo subyacente a esta capa y próximo a la cama del corte, un estrato impermeable y de consistencia dura. Ver figura No. V. 4.

Al abrir la excavación y teniendo condiciones bajas de humedad, los taludes pueden permanecer estables a pesar del desequilibrio que se opera al retirar el peso del material que ocupa la parte ya vaciada. La cohesión y la fricción interna del material en estas condiciones, da una resistencia suficiente para evitar una falla por esfuerzo cortante.

Cuando el estado de humedad aumenta como sucede en la época de lluvias, el agua penetra en el suelo por filtración que actúa no sólo en las inmediaciones del corte y el talud, sino a mayores distancias en la parte superior. Por la inclinación de la ladera, la posición del estrato impermeable y la apertura del

corte que funciona como un dren, el agua fluye interiormente como se indica en la figura No. V. 5.

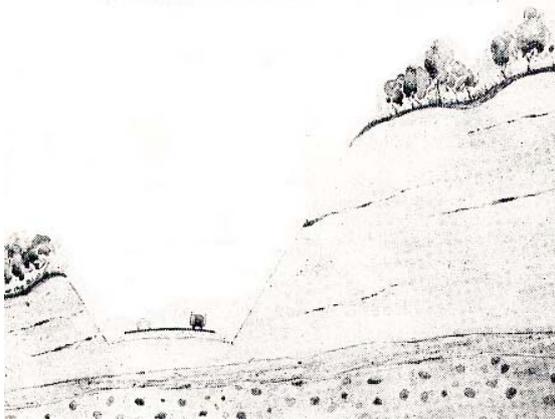


Figura No. V. 4

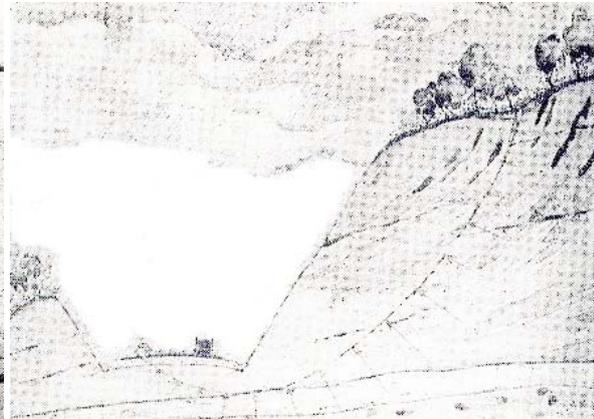


Figura No. V. 5.

En estas condiciones se modifica el estado del suelo, el primer lugar por disminuir su resistencia al esfuerzo cortante con el exceso de humedad y en segundo, por disminuirse más aún esta resistencia por las sub-presiones del agua. Como consecuencia, tenemos la falla del corte por deslizamiento que se manifiesta por la aparición de una grieta en la parte superior, viniendo después el deslizamiento a lo largo de la superficie cóncava de falla. Figura. No.V. 6.

La solución a este problema de inestabilidad no está en retirar el material deslizado que obstruye el camino y reconstruir el talud (figura No. V. 7.), ya que con esto las condiciones son más desfavorables, pues aparte de la filtración que se opera a través del suelo no derrumbado, se tiene una mucho mayor sobre el material derrumbado que absorbe una cantidad considerable de agua, ocasionando esto al fin un deslizamiento que llega a ser en ocasiones un flujo lodoso. Figura No. V. 8. Cuando se llega a este estado, para evitar la invasión de material sobre el camino, debe limpiarse todo el material suelto hasta dejar un espacio tal, entre el suelo no derrumbado y el camino, que no lo afecte en futuros derrumbes. Figura No. V. 9

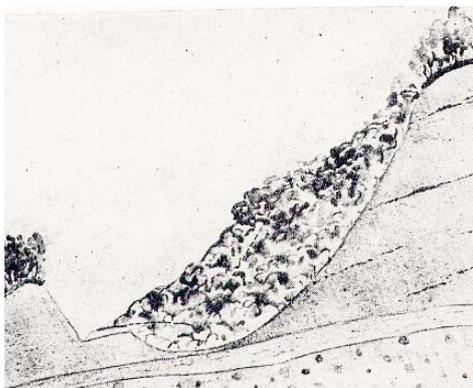


Figura No. V. 6

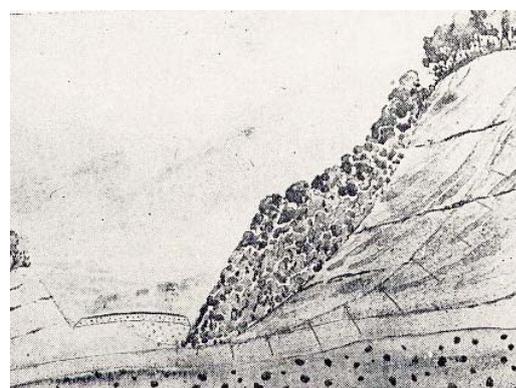


Figura No. V. 7

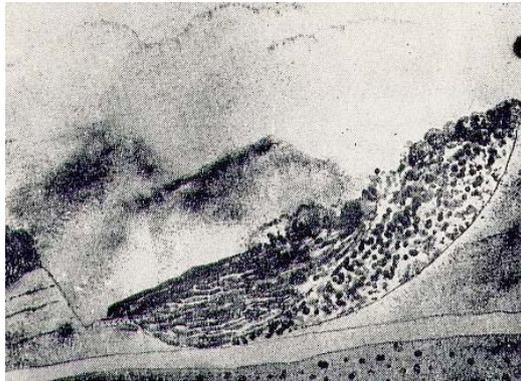


Figura No. V. 8

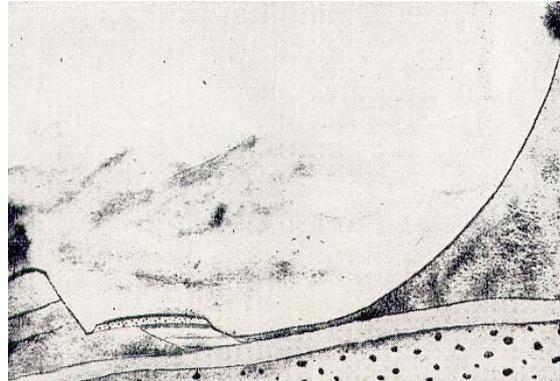


Figura No. V. 9

La solución a este tipo de fallas debe buscarse antes de abrirse el corte, por medio del estudio de estabilidad de taludes, de acuerdo con la calidad de los materiales y las condiciones hidrológicas externas. Posteriormente, durante la construcción, se pueden observar las condiciones hidrológicas internas, con lo cual es posible prever las obras necesarias de drenaje que eviten que el material se encuentre en condiciones de humedad tales, que originen la falla.

## **V.2. Casos de experiencias de campo y experimentales con obras carreteras en servicio; como base del proyecto y de la construcción.**

En las fotografías siguientes tenemos un caso real del deslizamiento descrito anteriormente.

Se aprecia la forma cóncava en forma de concha (conchoidal) de la superficie de deslizamiento. El material deslizado no se eliminó totalmente, sino que se quitó exclusivamente el que obstruía el camino. Fotografía No. V. 5

El estado de lluvias permanente saturó el material derrumbado, siguiendo además las filtraciones sobre la ladera originándose un segundo deslizamiento y la iniciación de un flujo lodoso. Fotografía No. V. 6.

Así se siguieron operando estos movimientos sucesivos hasta que los derrumbes alcanzaron distancias de 60 a 80 metros de la posición original del talud. Fotografía No. V. 7.



Fotografía No. V.5.



Fotografía No. V.6.



Fotografía No. V.7.

Otras fallas típicas en materiales arcillo-arenosos permeables, en regiones lluviosas, son las que se presentan en terraplenes construidos sobre laderas, ya sea que éstos correspondan o no, a una compensación transversal de terracerías. El caso presentado en la figura siguiente se refiere a una terracería no compensada transversalmente. Figura No. V. 10.

El terraplén es estable mientras las condiciones de humedad son bajas. Cuando la humedad aumenta en períodos prolongados de lluvia por filtraciones y flujos de agua a través del suelo llegando al terraplén, se operan en éste el mismo fenómeno de disminución de cohesión y fricción interna que favorecidos por las sub-presiones, originan la falla por esfuerzo cortante. Figura No. V.11.

Esto se inicia con la aparición de una grieta sobre la corona del camino a través de la cual se aumentan las filtraciones del agua de lluvia, produciéndose la falla por deslizamiento. Figura No. V.12.



Figura No. V.10.

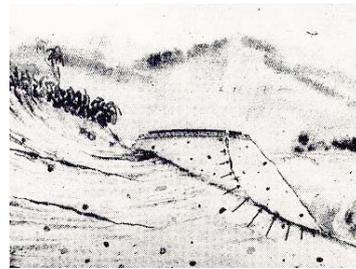


Figura No. V.11

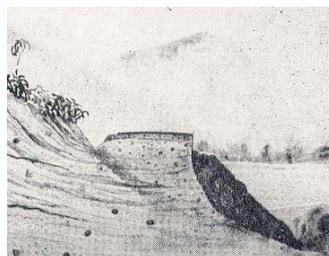


Figura No. V. 12

La siguiente fotografía ilustra un caso real de este tipo de fallas.



Fotografía No. V.8.

El conocimiento de este problema está fundamentalmente en la determinación de las pruebas físicas del suelo bajo las distintas condiciones de humedad que se presenten, según las características hidrológicas del lugar. Su solución radica principalmente en que el agua de filtración no alcance el terraplén, ya sea impidiendo la filtración sobre la ladera o interceptándola por medio de un dren ciego o cuneta profunda. Otras de las fallas comunes de los terraplenes, son las que ocurren cuando éstos se construyen en suelo de pantano y especialmente cuando el espesor de la turba es de cierta consideración.

Las fallas sucesivas se generan de la siguiente manera:

El terraplén se construye sobre un suelo de pantano formado del modo siguiente:

Una capa superior de plantas acuáticas cuyas raíces forman, como sucede en estos casos, una trama que sirve de hamaca con capacidad para soportar determinadas cargas sin que éstas se hundan en la turba, la que casi no tiene ninguna resistencia. Bajo esta capa superficial se encuentra la turba en espesores variables y sub-yacente a ella, está el terreno firme.

El terraplén se construye, naturalmente, con material acarreado, pues el del propio sitio es completamente inadecuado.

La resistencia dada por la plantas que se encuentran en la superficie, permiten que se levante el terraplén hasta determinada altura, sin otra falla que la hondonada que se empieza a formar en su base. Cuando llega a su límite de resistencia que presenta la red de las plantas acuáticas, se rompe ésta y se inicia la falla por deslizamiento de una parte del terraplén, manifestándose por una grieta que aparece longitudinalmente en la corona del terraplén, según está indicado en la Fotografía No. V.8.

Después de manifestarse la iniciación de la falla por la grieta longitudinal, ocurre ésta como se indica en la figura No. V.13.

El plano de deslizamiento comprende en parte el terraplén y en parte al suelo pantanoso en donde se acusa hasta cierta distancia un levantamiento del mismo. Figura No. V.15.

El paso siguiente es el de reconstruir el terraplén con nuevo material transportado para darle la sección original.

Bajo una carga mayor y rota ya la red que formaban las plantas acuáticas, sigue el proceso de hundimiento y fallas por deslizamiento con mayor velocidad.

Los deslizamientos, como se indican en la figura No. V.14, siguen ocurriendo en los taludes de uno y otro lado; el material acarreado se sigue recargando para mantener la sección original del camino y así sucesivamente por su propio peso se va profundizando la masa del terraplén, hasta que llega a un punto de equilibrio. Figura No. V.16

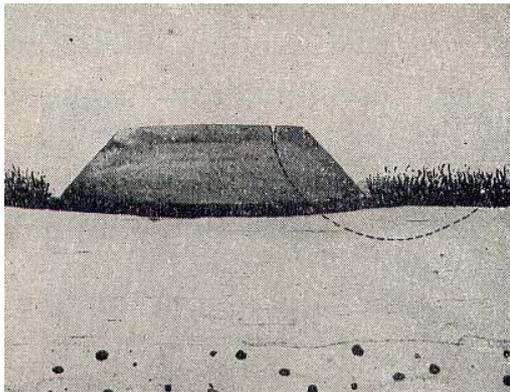


Figura No. V.13.

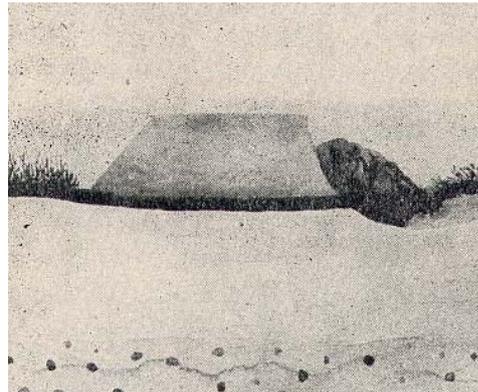


Figura No. V. 14

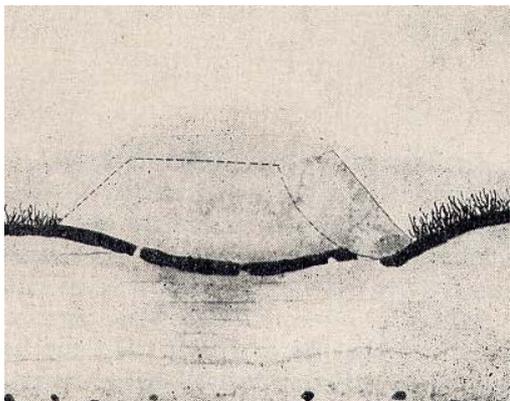


Figura No. V.15.

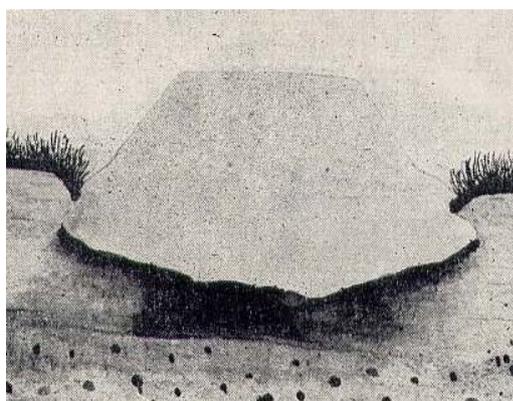


Figura No. V.16.

En el transcurso del hundimiento del terraplén por su propio peso a través de las fallas sucesivas de deslizamiento, el estado de equilibrio no se alcanza

generalmente cuando la masa de relleno se pone en contacto con la capa de suelo firme, sino antes de que llegue a ese punto. Esto se debe a que en el proceso de hundimiento ocurren estos dos fenómenos:

1. El de desplazamiento.
2. El de la consolidación de la turba por expulsión de agua bajo la carga del terraplén, alcanzándose una resistencia que es capaz de soportar el peso del relleno, como se ve en la figura No. V. 16.

Esta secuencia de fallas y hundimientos de un terraplén construido sobre suelo de pantano, es lento y puede durar aún varios años, según el espesor que tenga la capa de turba.

Una solución a la reparación de estas fallas puede ser la indicada en el proceso anterior, aunque es muy lenta y para un camino que se desee tener en servicio en forma inmediata, resulta perjudicial y peligroso llevar esta sucesión de hundimientos hasta alcanzar la estabilización del terraplén con reposición de materiales de relleno. Siguiendo el procedimiento mismo de recargues, se puede acelerar el proceso de hundimiento y estabilización sobrecargando el terraplén con el material acarreado, elevándolo a un nivel más alto que el de proyecto. De esta manera se consigue obtener pesos mayores y el hundimiento se opera más rápidamente, sólo que en este caso los deslizamientos que tiene lugar con el desplazamiento de la turba hacia los lados, son los que ocurren principalmente y el proceso de consolidación de la turba abajo del terraplén se verifica en menor escala, necesitándose por lo tanto, mayor cantidad de material acarreado para llegar con el relleno a ponerse casi en contacto con el suelo firme.

Otro procedimiento más rápido para alcanzar la estabilidad del terraplén, pero a la vez más caro, es el ya conocido de emplear explosivos para desalojar la turba, con objeto de que el relleno de material acarreado pueda rápidamente llegar a ponerse en contacto con el suelo firme sobre el cual quedará apoyado.

Como ejemplo del tipo de fallas de hundimiento por su propio peso tenemos el de las fotografías siguientes:

Aparecen en la corona del terraplén grietas de grandes proporciones, características de la falla por deslizamiento que se inicia.

Después de abrirse las grietas, viene el deslizamiento del prisma formado conjuntamente por una parte del terraplén y una parte de la turba desplazada, acusándose esto por el asentamiento de un lado de la corona del camino. Fotografía No. V.9.

El descenso de la parte fallada de la corona, fue en este caso de cerca de 2 metros, como se puede observar en la fotografía No. V.10.

Otra de las fallas comunes de taludes en cortes y terraplenes son las originadas por erosión, que tienen lugar principalmente por el arrastre que provoca el agua de lluvia.



Fotografía No. V. 9.



Fotografía No. V.

El esquema siguiente representa las características de una falla de erosión.

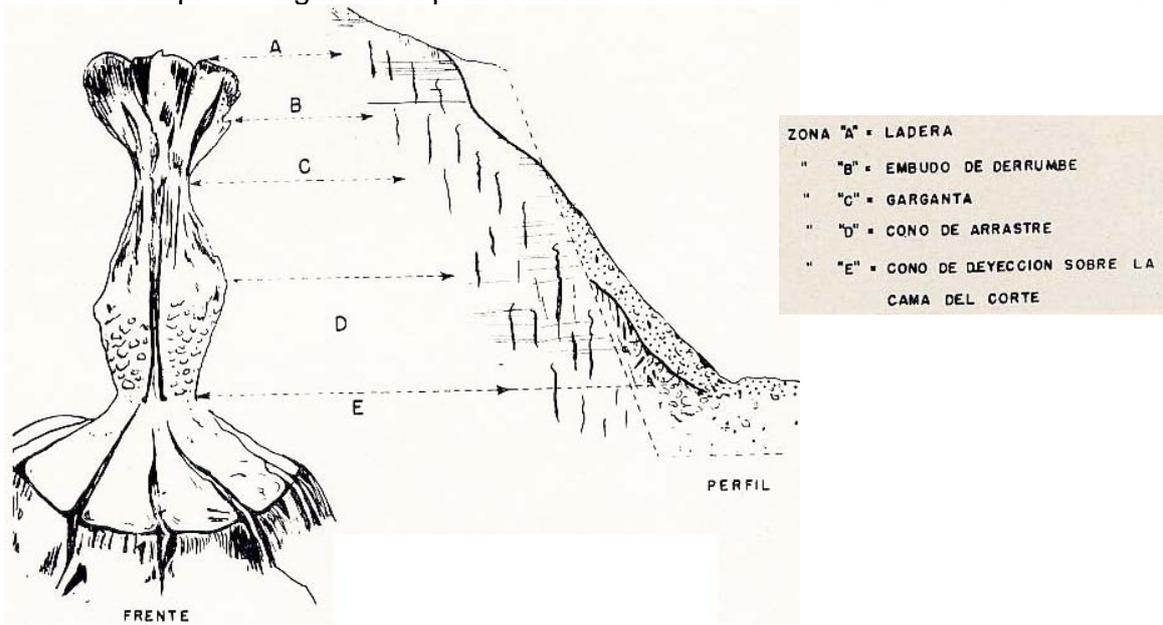


Figura No. V. 17

Las siguientes fotografías representan casos reales de este tipo de fallas.

En el talud de un corte. Fotografía No. V. 11

En el talud de un terraplén. Fotografía No. V. 12.



Fotografía No. V. 11



Fotografía No. V. 12.

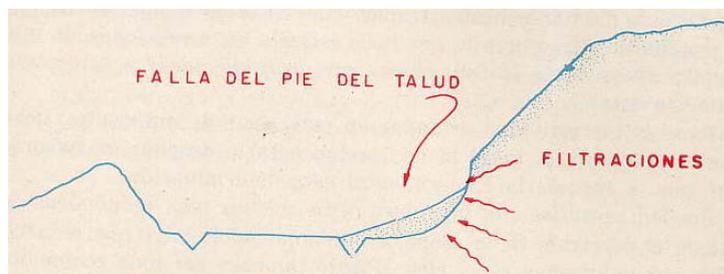
La solución de este tipo de fallas puede ser muy variada y tendiente siempre a evitar la concentración del agua formando corrientes que atacan con mayor facilidad.

En los cortes evitan esto las contra-cunetas, cuya localización debe hacerse teniendo en cuenta la topografía del lugar y cuya sección debe proyectarse de acuerdo con la calidad del material que compone el suelo, indicando esta calidad la pendiente que debe darse aproximadamente a las contra-cunetas y la necesidad que puede haber de revestirlas.

En caso de terraplenes se puede evitar estas concentraciones de agua, encauzándolas por medio de guarniciones a la orilla de los acotamientos y lavaderos (caídas de agua en canales de mampostería sobre el talud del terraplén), eliminando el ataque al terraplén.

Es de gran importancia para disminuir o evitar la erosión y de acuerdo con la clase de material con que se construya el terraplén, que éste tenga la mayor capacidad posible y proteger los taludes con vegetación que evita el arrastre de la tierra que los forma.

Otro tipo de fallas de talud en los cortes es aquel que ocurre en suelos francamente arenosos cuando a dicho talud no se le da la inclinación adecuada. Figura No. V. 18.



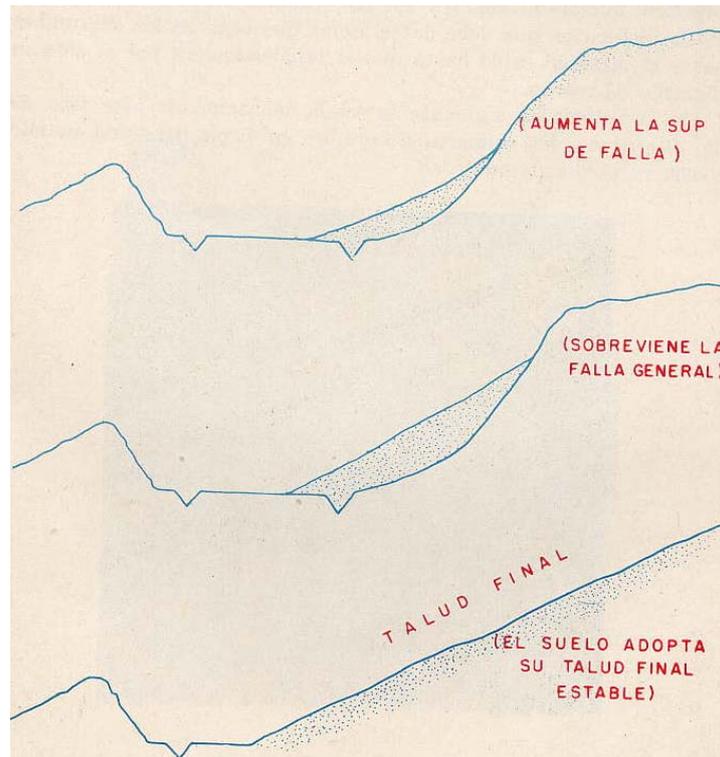


Figura No. V. 18.

En el talud original se inicia generalmente el derrumbe en su pie y posteriormente se produce la falla.

Esto ocurre principalmente cuando la arena ha perdido la humedad que le dio una cohesión transitoria. El talud fallado queda con una pendiente mayor que la original, estando en condiciones de que se repita nuevamente la falla, hasta que el talud llegue a tener una inclinación estable.

Para evitar este tipo de fallas en esta clase de materiales, debe darse inicialmente al talud la inclinación estable después de haberse hecho por la Ingeniería Experimental esta determinación.

Puede ocurrírsele al Ingeniero otros medios más económicos de contener el derrumbe de la arena, o que no siéndolo haya que recurrir a ellos por exigencias especiales. Puede ser también más económico y práctico, aunque se conozca por los estudios de estabilidad de taludes la inclinación que debe darse, dejar que ocurran los derrumbes y sacar el material caído hasta que el talud adquiera por sí sólo una inclinación de reposo.

En la fotografía siguiente se ve la iniciación de este tipo de falla, al aparecer los primeros derrumbes en el pie del talud cuando la arena va perdiendo humedad.



Fotografía No. V. 13

Otro caso importante de fallas de talud es el que ocurre cuando se abren cortes en suelos de calizas arcillosas (margas).

Este material que presenta una buena resistencia y compacidad cuando mantiene su humedad, al grado de que pueda considerarse casi como un lecho de roca, se desintegra progresivamente hasta llegar a fragmentos muy pequeños cuando pierde esa humedad.

Según esto, en el caso de los cortes, la falla se opera como sigue.

Al abrirse el corte y antes de que el material pierda su humedad, se ve un talud limpio y consistente figura No. V. 19., que empieza a contraerse y a agrietarse al perder humedad figura No. V. 20., desprendiéndose fragmentos en una forma continua y progresiva figura No. V. 21.

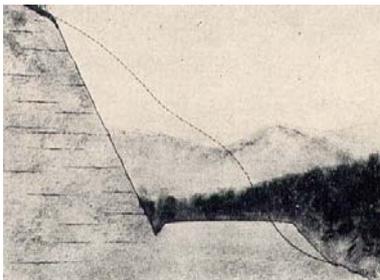


Figura No. V. 19

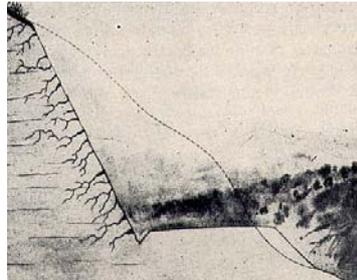


Figura No. V. 20.

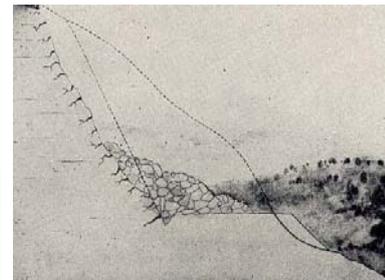


Figura No. V. 21.

Estos derrumbes obstruyen frecuentemente el camino, sobre todo al principio, disminuyéndose esta invasión a medida que el paramento derrumbable se va alejando.

Si el material producto de la excavación de los cortes se emplea en terraplenes, éstos llegan a ser verdaderamente inestables cuando el agua de la lluvia llega a saturarlos por la característica que tiene de convertirse casi en lodos, cuando una vez desintegrados se les proporciona agua en abundancia.

La manera de evitar estas fallas puede ser la siguiente:

1. Inmediatamente después de abrirse el corte, debe protegerse el talud con césped, con otra protección impermeable o con un zampeado, tendiendo a evitarse por estos medios la pérdida de humedad en la marga.
2. En los terraplenes, evitando de la mejor manera posible la penetración del agua, con obras de drenaje adecuadas que impidan la saturación de la marga que la convierta en lodo.

Es de gran importancia para la Ingeniería Experimental al llevar a cabo el estudio de suelos sobre la línea localizada, definir la existencia y características de este tipo de materiales, y de ser posible y económico, cambiar la localización para no construir en ellos, sobre todo en regiones de precipitación muy alta que son, por cierto, en donde generalmente se encuentran.

No sólo en los materiales suaves o semiduros, como son los que hasta ahora hemos visto, se producen fallas en los taludes de los cortes al cambiar las condiciones de equilibrio de la corteza terrestre, cuando se retira el material excavado, sino también en las formaciones de roca se presentan frecuentemente casos de inestabilidad; uno de estos casos lo encontramos a menudo en las rocas sedimentarias que presentan planos definidos de estratificación. Figura No. V.22.

En este caso es de verdadera importancia conocer por medio de los sondeos y de la exploración superficial, la posición e inclinación de los estratos así como el estado de resquebrajamiento en que se encuentra la roca y la existencia de arcillas en las grietas y entre estratos.

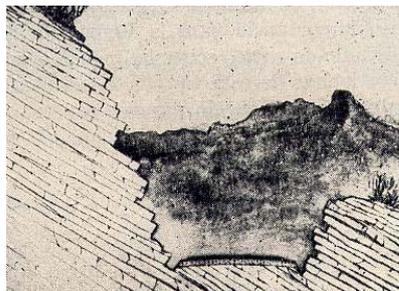


Figura No. V. 22.

En el caso descrito en la figura anterior, se puede ver el talud superior que esta en peligro de que produzca derrumbe por el deslizamiento en alguno de los planos de estratificación. A este deslizamiento le favorecen la inclinación de los estratos y la existencia de arcilla en los planos de contacto que el agua ha introducido a través de los años por las grietas de la roca resquebrajada.

En tiempo seco generalmente no ocurren derrumbes, pero cuando se presentan las lluvias y el agua penetra por las fisuras y grietas de la roca humedeciendo las arcillas o simplemente sirviendo el agua de lubricante, se

producen los deslizamientos que en ocasiones son de grandes masas de roca. Figura No. V. 23.

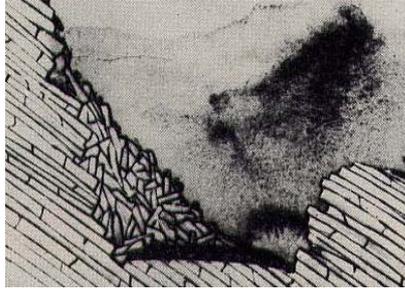


Figura No. V. 23.

Las soluciones a este tipo de fallas son, en primer lugar y si las condiciones topográficas lo permiten, cambiar la localización para evitar abrir cortes en estas condiciones; pero si es inevitable hacerlo, entonces debe verse la manera de impedir la penetración del agua por las grietas y fisuras, cubriendo la ladera con algún material impermeable.

Estos derrumbes son de gran peligro para el tránsito en las carreteras, pues ocurren en forma violenta, desprendiéndose en ocasiones grandes bloques de roca.



Figura No. V. 14.

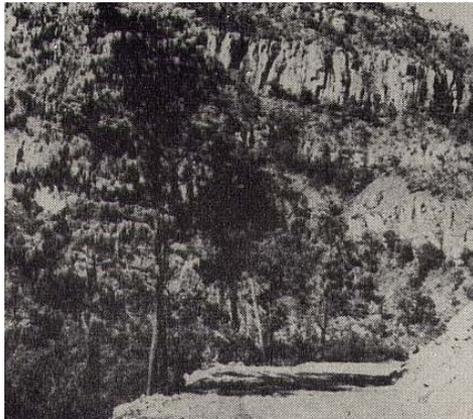


Figura No. V. 15.

Otro caso de formaciones de roca inestable, es la de los basaltos y riolitas columnares. Fotografía No. V. 16.

Al abrirse un corte se aumenta la posibilidad de derrumbe de las columnas basálticas.

El derrumbe en estos casos es menos frecuente pudiendo disminuirse este peligro, removiendo la roca que está sobre la ladera superior en posición más inestable. Figura No. V. 24.



Fotografía No. V.16.

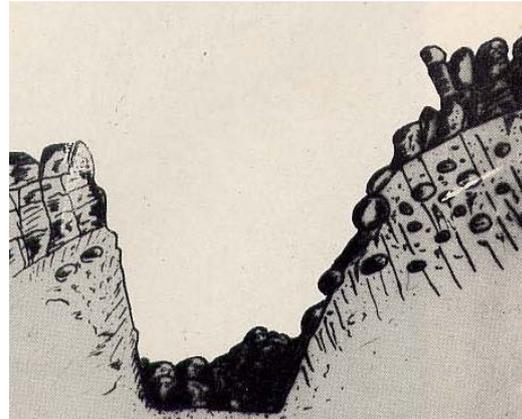


Figura No. V.24.

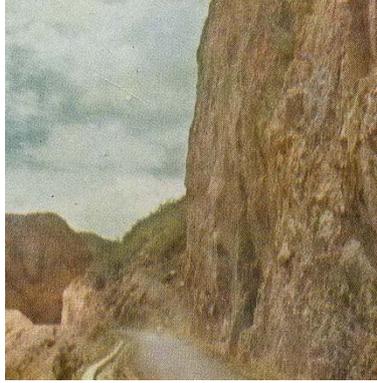
Otro caso de derrumbes, y éste si muy frecuente, es el que ocurre en las formaciones en que la roca ha sido fracturada y aún molida por grandes presiones y movimientos de la corteza terrestre. En estos casos la roca fracturada no presenta ninguna cohesión y sí gran permeabilidad, por lo que, en la época de lluvias copiosas las filtraciones y sub-presiones originadas por el agua, facilitan los derrumbes. Pero no ocurre sólo favorecido por la acción del agua, sino aún por la acción del aire.

En estos casos los derrumbes son de grandes proporciones, y su tendencia es la de no dejar ocurrir hasta que el talud se aproxime al que tenía la ladera de la montaña. Fotografía No. V. 17.



Fotografía No. V.17.

Los cortes hechos en la roca son estables cuando ésta se encuentra sana y es resistente. En este caso el corte se puede abrir con un talud vertical de gran altura sin ningún peligro. Fotografía No. V. 18.



Fotografía No. V. 18.

A la Ingeniería Experimental le toca llevar a cabo el estudio de estabilidad de taludes, el cual debe iniciarse desde la localización del camino y confirmarse o modificarse durante la construcción. Pero esto debe definirse en primer termino, los tipos de suelos que se van a atacar durante la construcción, su estructura geológica y sus condiciones hidrológicas.

Cuando se trata de suelos finos (arcillas, limos y arenas), los estudios se llevan a cabo en términos generales como sigue:

1. Se toma una muestra inalterada del terreno. Fotografía No. V. 19.
2. Se le pone una envoltura hermética y se empaca. Fotografía No. V. 20.
3. Se manda al laboratorio para su ensaye. Fotografía No. V. 21.
4. Se labran los especímenes de prueba. Fotografía No. V. 22.
5. Los especímenes se sujetan a pruebas diversas como compresión axial o compresión triaxial, esfuerzo cortante simple y permeabilidad cuando es necesario.



Fotografía No. V.19.



Fotografía No. V.20.

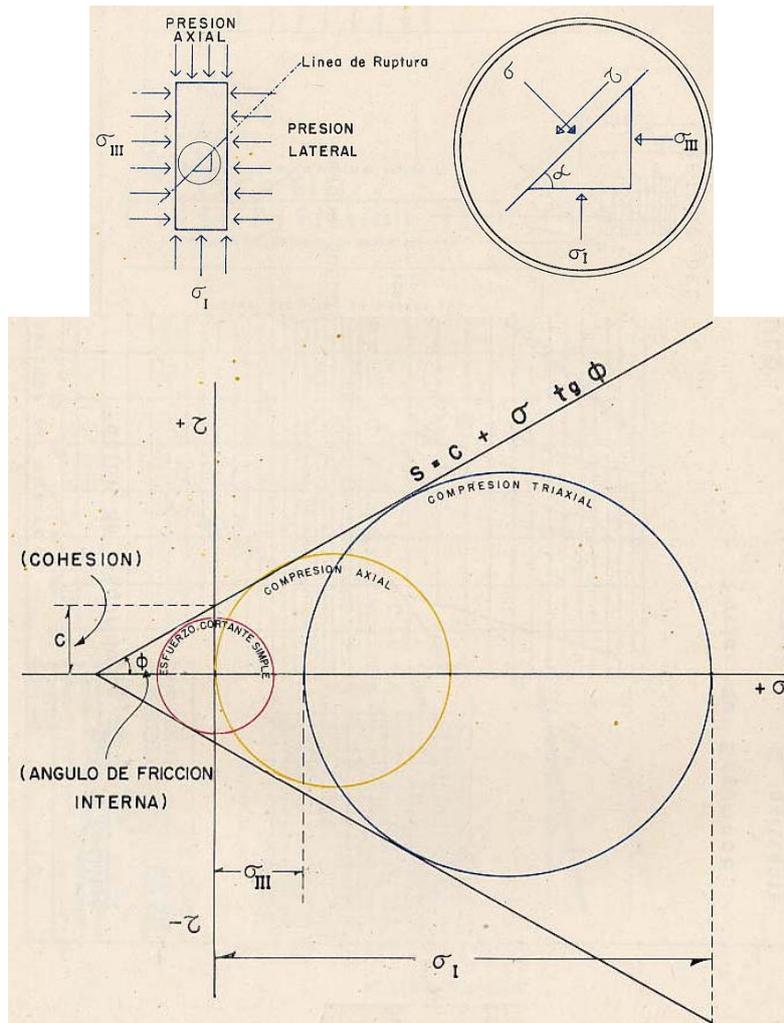


Fotografía No. V.21.



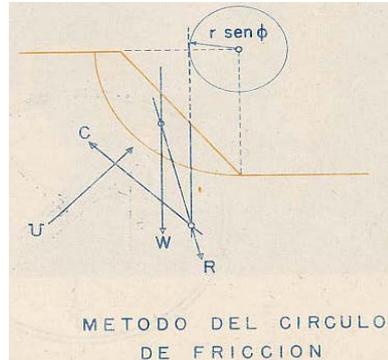
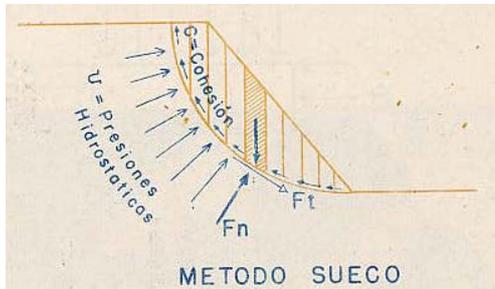
Fotografía No. V.22.

6. Con los resultados de estas pruebas se hace la determinación de los valores de cohesión, ángulo de fricción y esfuerzo cortante. Grafica No. V.1.

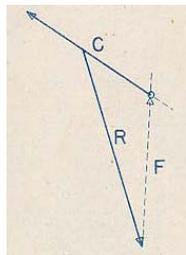


Grafica No. V.1.

7. Se procede entonces con la determinación del talud estable, por diversos métodos. Grafica No. V.2 a. y Grafica No. V.2 b.



$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\sum cL + \sum (Fn - U) \text{tg} \phi}{\sum Ft}$$

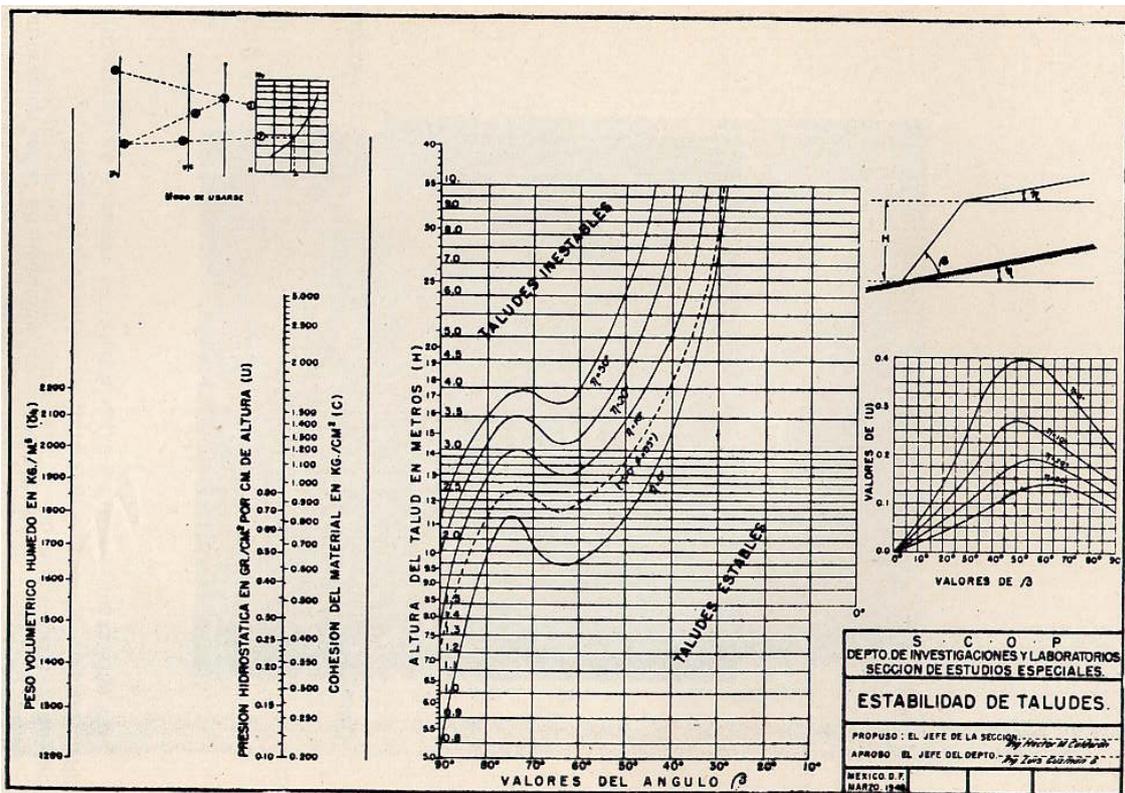


Factor de Seguridad

(por cohesión) =  $\frac{C \text{ existente}}{C \text{ requerida}}$

(por fricción) =  $\frac{\text{tg} \phi \text{ existente}}{\text{tg} \phi \text{ requerida}}$

Grafica V.2.a.



Grafica No. V. 2 b.

Cuando no se requiere mayor precisión de pruebas, en el propio campo se toman, se labran las muestras y se hacen pruebas de compresión axial en pequeños aparatos portátiles.

En el caso de los terraplenes como ya antes se ha dicho, el conocimiento del perfil de suelos tiene la gran importancia de definir la calidad y condiciones de los materiales que se van a emplear en su construcción, ya sea que procedan de cortes o préstamos.

En este caso, el estudio experimental se enfoca a lo siguiente:

Obtención de muestras alteradas de los cortes o de los préstamos, y llevar estas muestras al laboratorio, para hacerles las pruebas de rutina, tales como:

- Granulometría por cribado.
- Granulometría por sedimentación (hidrómetro).
- Densidad.
- Límite líquido.
- Límite plástico.
- Contracción lineal.
- Prueba Proctor.
- Prueba California (C.B.R.).

Los datos obtenidos, servirán para definir el tratamiento de construcción que deberá dársele al terraplén.

Para determinar la altura de la corona de los terraplenes en regiones inundables o sujetas a la acción de excesiva humedad capilar o de filtración, se lleva a cabo la prueba de capilaridad.

En capilarímetros de tubo en donde se mide la altura y velocidad de la ascensión capilar, así como los grados de humedad.

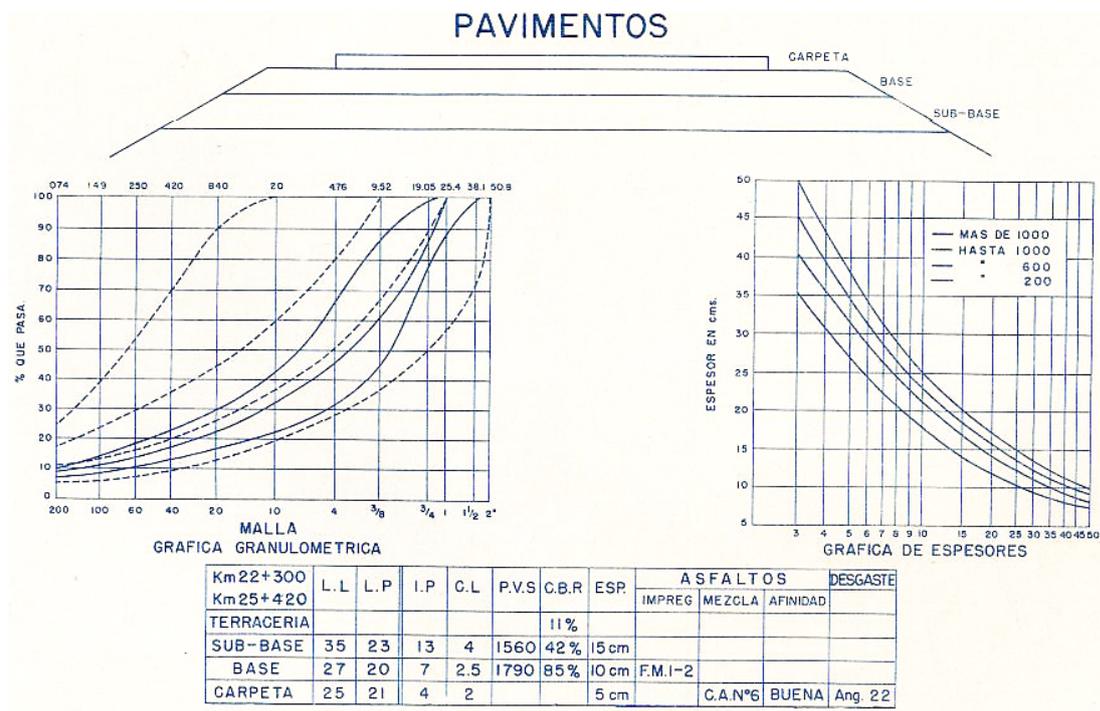
Para pruebas rápidas se hacen las determinaciones con el capilarímetro de Beskow.

Con todos los estudios anteriores, la Ingeniería Experimental traza sobre el plano de la línea localizada, el perfil de suelos con todos los datos necesarios para hacer modificaciones en el perfil y en el trazo si es necesario, con el objeto de corregir alineamientos, compensar terracerías y asegurar mayor estabilidad al camino.

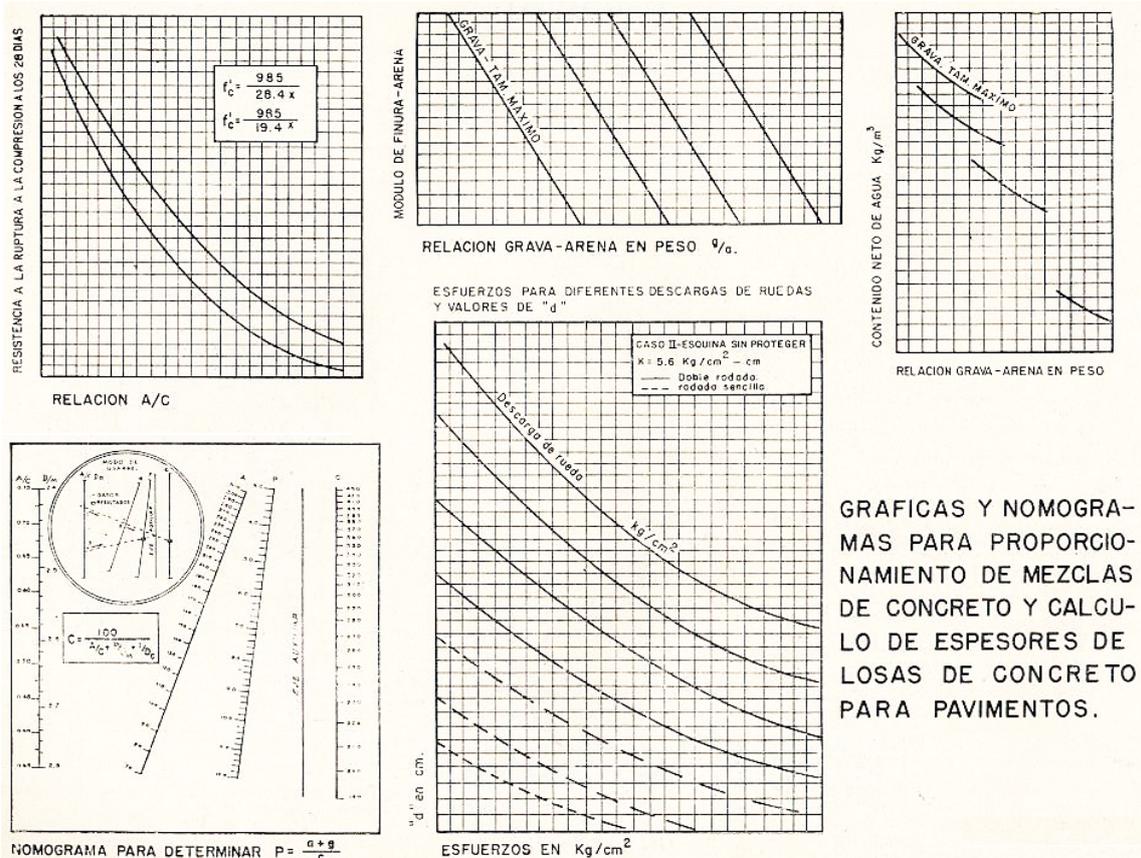
A continuación y después de haberse resuelto los problemas de terracerías, la Ingeniería Experimental enfoca sus actividades al problema de los pavimentos.

La elección de un pavimento rígido o flexible, es consecuencia casi exclusiva de la resolución económica del camino, pero en ambos casos su proyecto depende de las condiciones de las terracerías sobre las cuales se construya.

Cuando se trata de pavimentos flexibles, que son de estructura mixta por estar compuestos de dos o tres capas (sub-base, base y carpeta), los datos y pruebas que se requieren son los que se consignan en le gráfica No. V.3., cuando se trata de pavimentos rígidos los que se consignan en el gráfica No. V.4.



Gráfica No. V.3.



En los pavimentos mixtos, cuando el procedimiento del C.B.R. es el que se emplea para determinar espesores, el total del pavimento lo determina el C.B.R. de la terracería y, el de la base más carpeta, el C.B.R. de la sub-base.

En estos pavimentos hay tres elementos que intervienen en su estructura:

1. El material inerte (material pétreo).
2. El aglutinante, propio del suelo que es la arcilla.
3. El aglutinante procedente también de la corteza terrestre, pero que ha pasado por un proceso de elaboración como son el asfalto, el alquitrán, etc.

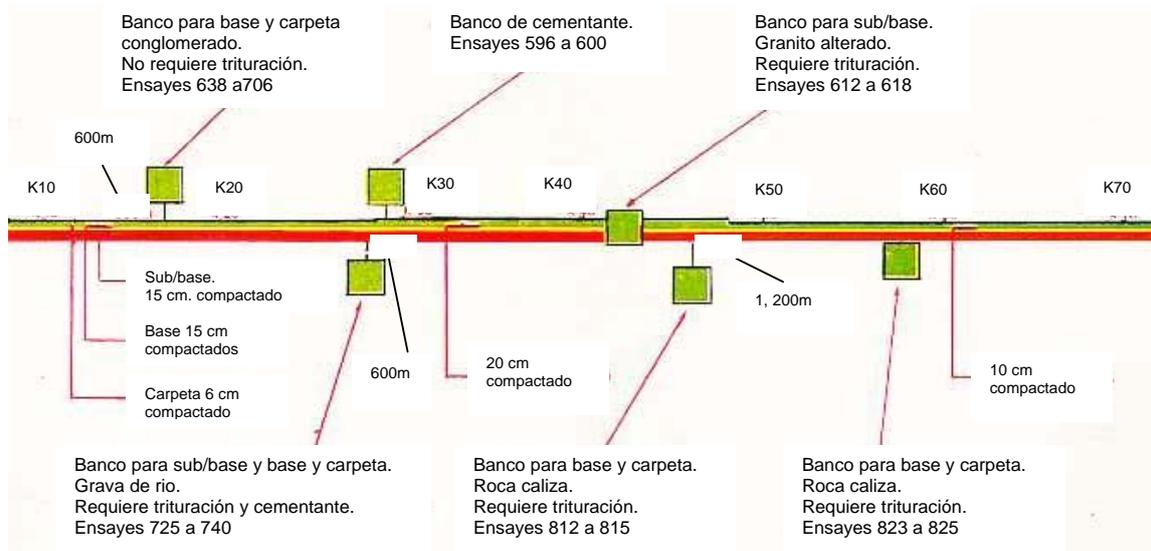
Los materiales pétreos requieren localización, exploración y muestreo de bancos que contengan los materiales adecuados para cada una de las partes que componen el pavimento.

Determinar su granulometría, límites de Atterberg, pesos volumétricos, grados de compactación y C.B.R.

Con las siguientes pruebas, la Ingeniería Experimental proporciona al proyecto los datos necesarios para la construcción:

- La prueba de desgaste para los materiales de carpeta.
- La de afinidad de la piedra con el asfalto.
- La del contenido óptimo del asfalto para carpetas de mezcla asfáltica.

Una vez obtenidos los datos de las pruebas necesarios para el proyecto, se consignan de manera esquemática de manera parecida a como se presenta a continuación:



Grafica No. V. 5.

El expediente formado con los estudios anteriores, pasa al estudio topográfico para llenar la quinta etapa.

A continuación interviene la Ingeniería Experimental en lo que se relaciona con las estructuras que se proyectan para el camino, tal como se indica en la sexta etapa.

El estudio de los causes para el proyecto de puentes, tiene tres fases que están entre sí íntimamente relacionadas:

1. El escurrimiento en el cause en aguas mínimas y en aguas máximas ordinarias y extraordinarias, con las características propias de cada una de ellas.
2. La erosión en las márgenes y socavación en el fondo del cause para cada una de estas corrientes.
3. La resistencia del suelo en sus diversos estratos o a diferentes profundidades, para soportar la carga de la estructura.

El escurrimiento del cauce en sus diversos aspectos se obtienen de estadísticas u observaciones hidrológicas anteriores, o se determina con los datos proporcionados por observadores del lugar, huellas en el cauce, características del cauce, etc.

La socavación y erosión tiene importancia en los cauces formados por materiales fácilmente erosionables por la corriente, y principalmente en las zonas curvas de los ríos.

Cuando el puente lo requiere, dada su importancia, puede hacerse un estudio sobre modelos hidráulicos, con lo que se define la erosión en las márgenes y la socavación en el fondo del cauce combinado con el obstáculo que presenta la sub-estructura del puente. Se puede definir principalmente en forma cualitativa cómo se operará el fenómeno de erosión y socavación que permita, al proyectarse la subestructura, darle la mayor seguridad posible y construir las defensas necesarias para el encauzamiento del río en la zona del puente.

La repetición de estas pruebas fijan con cierta precisión las características del fenómeno de socavación y dan idea aproximada de su magnitud.

Tanto para el estudio de erosión como para el de cimentación, es necesario conocer el perfil geológico del cauce en el tramo o los tramos donde hay probabilidad de alojar el puente. Para esto, en una zona determinada del cauce, hay que hacer sondeos preliminares como se indican en el figura No. V. 25, que corresponde a un tramo de cauce de un río en el cual los círculos rojos representan los sondeos.



Figura No. V. 25.

Después de obtener con estos sondeos un perfil geológico general del cauce, se define, combinando estas condiciones con las hidrológicas y las topográficas, el sitio adecuado para el cruzamiento; en él se llevan a cabo los sondeos necesarios para detallar la estructura geológica, como se marcan en el figura No. V. 26. y obtener la calidad de los materiales que la constituyen.

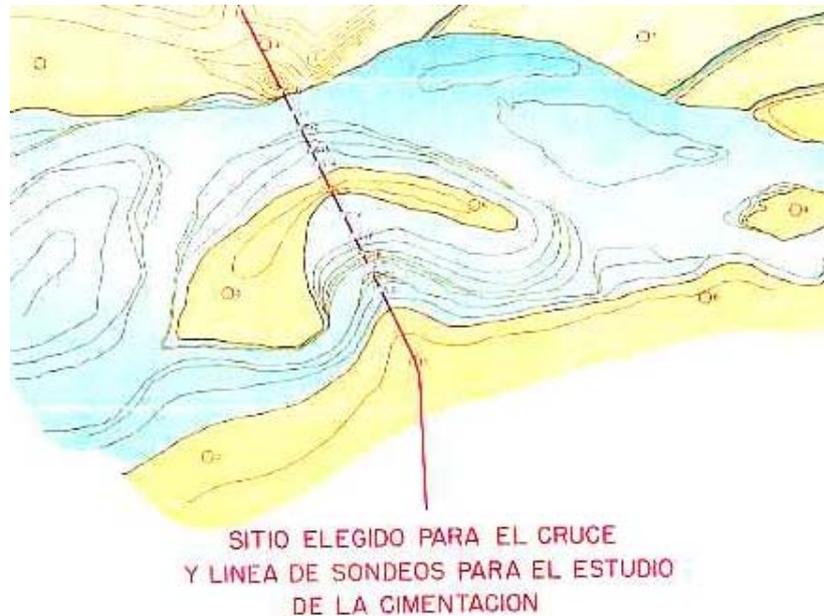


Figura No. V. 26.

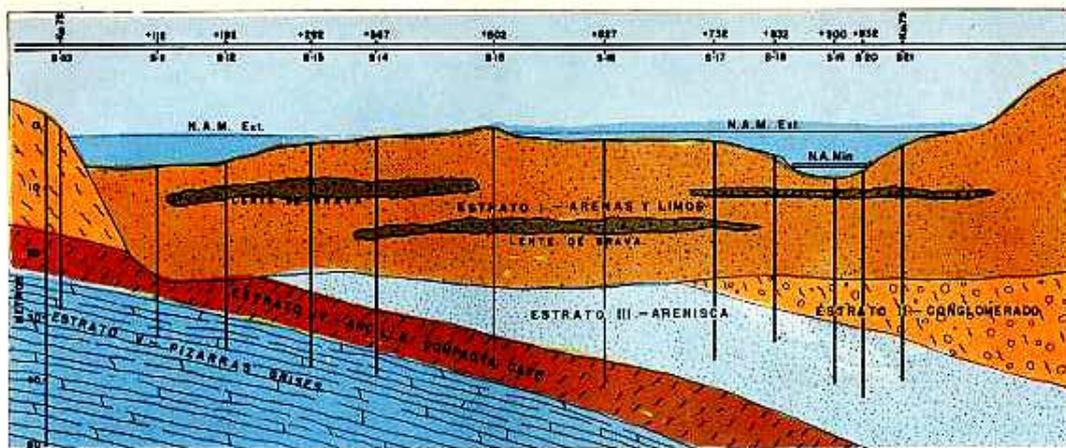
Los sondeos que dan mayor idea de las condiciones del terreno, son los que se hacen a cielo abierto.

Sólo que estas perforaciones pueden hacerse únicamente en las márgenes hasta donde las filtraciones moderadas lo permiten o hasta donde, por su profundidad, sean económicas.

Para mayores profundidades en terrenos suaves, se emplean diferentes brocas de mano y muestreadores, ó se emplean máquinas perforadoras en profundidades aún mayores o en suelos duros.

Cuando las exploraciones se hacen dentro de cauces con aguas permanentes, las máquinas se montan en chalanes.

Clasificadas las muestras por el geólogo en el laboratorio, se traza el perfil geológico gráfica No. V. 6. Las muestras de material pétreo tomadas en bloques, se llevan a la máquina cortadora para formar cubos, y se prueban en la máquina de compresión.

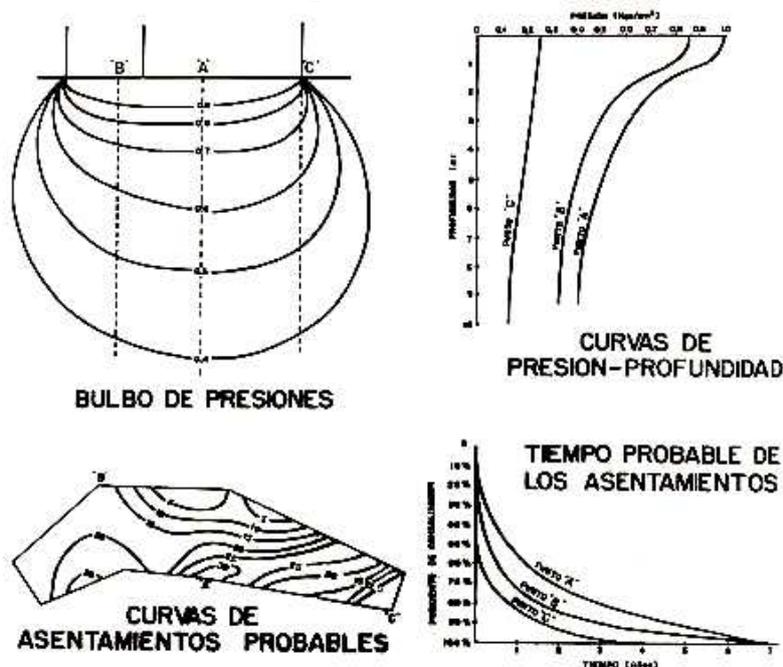


OBSERVACIONES: CAUCE DIVAGANTE - REQUIERE ESTUDIO DE ENCAUZAMIENTO CON MODELOS.

MATERIALES DISPONIBLES PARA CONST. PUENTE	ARENA	PLAYON EN MARGEN IZQUIERDA A 400 mts. AGUA ABAJO.-REQUIERE CRIBADO-ENSAYES 968 e 978
	GRAVA	BANCO "LAS PALMAS" EN KM. 76+620 A 200 mts. D.- REQUIERE TRITURACION-ENSAYES 983 e 992
	AGUA	DEL RIO - EN AGUAS MEDIAS O BAJAS - ENSAYE 752
	PIEDRA	DEL CORTE DEL KM. 81+910 - ENSAYES 1343 y 1344

Gráfica No. V. 6.

Los materiales suaves (arcilla-limo-arena) requieren un estudio más profundo de mecánica de suelos. Las muestras que se toman inalteradas en bloques en pozos a cielo abierto o con muestreadores en perforaciones a máquina, se llevan al laboratorio en donde se labran, para hacer pruebas de consolidación, con lo que se definen los asentamientos probables que vaya a sufrir la estructura, como se indica en la gráfica No. V. 7.



Gráfica No. V. 7.



En el proyecto y la investigación de esfuerzos en las estructuras, la Ingeniería Experimental tiene intervenciones importantes, como son:

- Los estudios foto-elásticos.
- La determinación de deformaciones y esfuerzos en fragmentos de estructuras con deformímetros eléctricos SR4 en una máquina de carga.

La determinación de esfuerzos y deformaciones por medio de los deformímetros eléctricos SR4 en estructuras construidas en dimensiones reales:

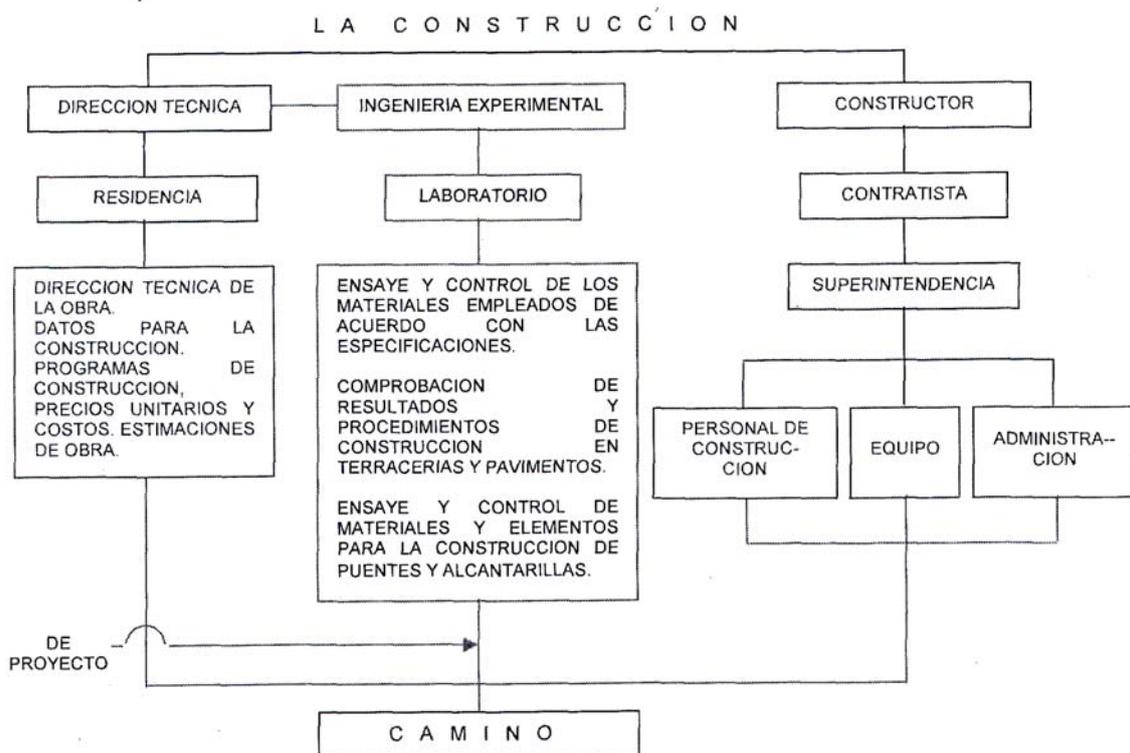
Trabe pretensada de 35m. de claro cargada hasta la ruptura, con deformímetros eléctricos instalados en varias secciones de la trabe, para registrar deformaciones en los aparatos de medición.

La anterior es la última intervención de la Ingeniería Experimental en el proyecto, pasando el expediente al estudio de estructura.

El expediente general de planos, especificaciones y presupuestos, pasa a la construcción para la ejecución de la obra.

Vamos a ver a continuación cual es la función que desempeña la Ingeniería Experimental en la construcción.

El proceso constructivo se divide de la siguiente manera:



Cuadro No. V. 2.

En la construcción, como queda expresado en el cuadro anterior, la Ingeniería Experimental tiene la misión de vigilar y comprobar que la ejecución de la obra se haga conforme a lo especificado en el proyecto.

Una intervención de gran importancia, es la de delinear y aconsejar los procedimientos de construcción y el equipo más adecuado en concordancia con los suelos que van a ser atacados y los materiales que se van a emplear, teniendo desde luego en cuenta en las recomendaciones que se hagan sobre las condiciones topográficas existentes.

Para ilustrar la aseveración anterior, se mencionan a continuación algunos ejemplos típicos de los muchos casos que se pueden presentar de esta índole.

Supongamos un caso de construcción en montaña. La Ingeniería Experimental indica en su perfil de suelos, que se trata de hacer una excavación en materiales suaves, semiduros y en roca. Por la topografía del lugar, los terraplenes serán altos y las pendientes para llegar al fondo de la barranca lo suficientemente fuertes, para que no pueda descender o subir por ellas el equipo de construcción.

Para la estabilidad del terraplén, se requiere que se de a los materiales la mayor capacidad posible.

Para conseguir esto, habría que tender por capas el material que se excave en el corte desde el fondo de la barranca, y compactarlo con el equipo especial para este objeto.

Por no ser accesible el fondo de la barranca por las laderas que quedan sobre el trazo, habría que construir brechas de construcción que llegaran abajo. Esto haría dilatada y costosa la construcción.

La Ingeniería Experimental puede definir de acuerdo con las características del material que va a formar el relleno, la resistencia que requiere el terraplén a distintas alturas para reducir a un mínimo los asentamientos o eliminarlos. De acuerdo con esto se puede fijar el procedimiento de construcción y el equipo adecuado tal como se ilustra en el esquema siguiente:

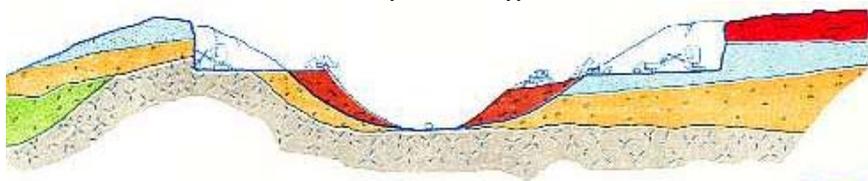


Figura No. V. 28.

Se inicia el relleno a volteo, transportando con Buldózer al principio, y con camiones cuando la distancia de acarreo es mayor.

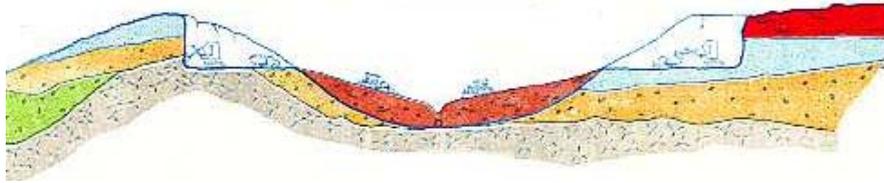


Figura No. V. 29.

Con Buldózer se extienden los rellenos al centro de la barranca hasta darle una pendiente que puede ser vencida por las máquinas de transporte, procurando que este relleno que queda en columpio y que tiene un grado bajo de compactación, tenga el menor espesor posible.

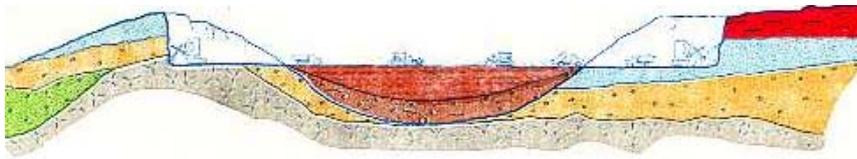


Figura No. V. 30.

Sobre todo este relleno accesible a las máquinas de transporte, se sigue levantando el terraplén por capas a las que se puede dar con el equipo de compactación el grado de consolidación que se requiere.

Se tiene un terraplén en el cual la parte inferior que es la menos consolidada, queda sujeta a las cargas unitarias menores y por lo tanto tiene menos posibilidades de asentamiento. Las capas superiores tienen mayor capacidad de carga en donde ésta es más necesaria.

Cuando la excavación de la parte de roca representa un volumen corto en relación con el del terraplén, la piedra excavada puede tirarse sobre los taludes y servirles de protección e éstos. Cuando el volumen de roca excavada representa un por ciento considerable en relación con el terraplén, entonces la piedra deberá formar parte del relleno y esto puede hacerse de acuerdo con las proporciones de una y otra ya sea formando una capa separada de la tierra o mezclada con ésta. Al definirse cual de estos dos procedimientos se adopta de acuerdo con la clase de materiales y proporciones, se determinará que máquinas son las más indicadas para el trabajo.



Figura No. V. 31

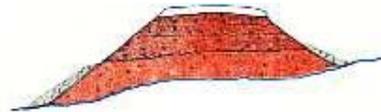


Figura No. V. 32.

Otro caso típico es el de la construcción de terraplenes con préstamos laterales. En el esquema siguiente se indican procedimientos diversos de construcción.



Figura No. V. 33.

La construcción del terraplén se hace cargando, transportando y descargando el material por medio de escrepas mecánicas o por medio de tornapools que hacen un trabajo semejante.

La construcción con estas máquinas significa que el relleno se haga por capas y que las máquinas, por su peso, a través de los neumáticos, compacten el material.

Emplear este procedimiento es adecuado con determinada clase de suelos. Estos son los que presentan características plásticas en diversos grados. En los francamente arenosos, el procedimiento es generalmente antieconómico, cuando la rodada de la escrepa tiende a atascarse en la arena. También es inadecuado cuando la tierra contiene cantidad considerable de boleo grande.

Desde luego que la compactación dada al terraplén con este procedimiento, tiene el inconveniente de no ser completa ni uniforme, porque es difícil hacer pasar las escrepas sobre toda la superficie de cada capa y además el número de pasadas que se dan para descargar el material, es insuficiente para alcanzar una compactación alta para una longitud de circuitos que pueda ser económica.



Figura No. V. 34.

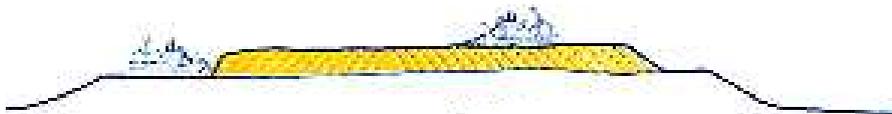


Figura No. V. 34 a.

El terraplén se construye por medio de Bulldozers que empujan el material de los préstamos hacia el cuerpo del terraplén, dejando montones sin más compactación que su propio peso.

Este procedimiento inadecuado en materiales cohesivos en diversos grados, es perfectamente adecuado cuando se trata de arenas sin cohesión ninguna, ya que en este material su propio peso puede ser suficiente para darle un

grado regular de compactación, que se aumenta posteriormente a un porcentaje alto por la vibración del tránsito.



Figura No. V. 35.

Pueden emplearse los Bulldozers en este tipo de construcción con materiales cohesivos cambiando el procedimiento y combinando estas máquinas con otras que compacten el terraplén. Para esto los Bulldozers no empujan el material simplemente para formar el cuerpo del terraplén, sino que lo van tendiendo por capas subiendo sobre él. Aunque los tractores estén pasando sobre las capas de material que ellos mismos extienden, no es suficiente esto para darle compactación, ya que las orugas reparten la carga en una superficie muy amplia. Se necesita, por lo tanto, que simultáneamente al trabajo de relleno y extendido hecho por los tractores, se haga el de compactación con las máquinas adecuadas de acuerdo con el tipo de material.



Figura No. V. 36.

El terraplén se construye con excavadora elevadora, este procedimiento en materiales cohesivos es inadecuado si no se combina con otro equipo que distribuya el material por capas y que lo compacte.

En materiales granulares, como son las arenas limpias y secas de médano, el procedimiento se puede aceptar como bueno, ya que la compactación la tendrá el material por su propio peso y principalmente por las vibraciones del tránsito.

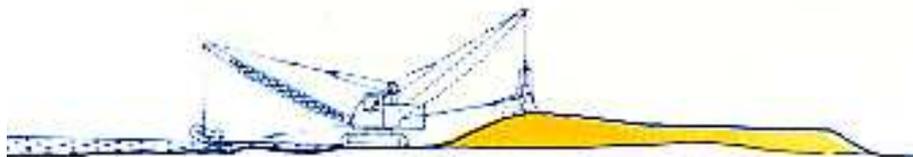


Figura No. V. 37.

Este caso se refiere a la construcción de un terraplén con préstamos laterales en terrenos que permanecen inundados y cuando el material adyacente al terraplén por construir, tiene calidad adecuada. El equipo indicado para llevar a cabo esta construcción es la pala de arrastre, pues otras máquinas como la escrepa y el Bulldozer se atascan en el suelo saturado.

La calidad del terraplén construido con este procedimiento es mala, por la baja compactación y los huecos que quedan entre los terrones, su compactación se consigue sólo en forma lenta y a través del tiempo en que las cargas del tránsito van aumentando su consolidación.

Se puede, desde luego para tener un terraplén mejor desde un principio, pero dependiendo esto de la calidad del material y de las condiciones de humedad en que se encuentre, combinar la pala de arrastre con otras maquinas que distribuyan el relleno por capas y lo vayan consolidando.

En los cinco casos descritos en las figuras anteriores, la elección del equipo y el procedimiento del trabajo, como se ve, son una consecuencia directa de la calidad de los materiales y de las condiciones físicas en que se encuentren, debiendo la Ingeniería Experimental, al hacer el estudio de suelos y conocer sus características físicas, delinear el procedimiento de construcción más adecuado con el equipo más conveniente.

Como una ilustración de los procedimientos antes descritos, tenemos las fotografías siguientes:

Se construye un terraplén alto con material limo-arenoso que proviene de un corte. El procedimiento de volteo es inadecuado, quedando el terraplén con compactación muy baja.



Fotografía No. V. 23.

Escrepa cargando el préstamo para depositar en el terraplén que se ve al fondo; el material es arcillo-limo-arenoso, y el procedimiento es adecuado.



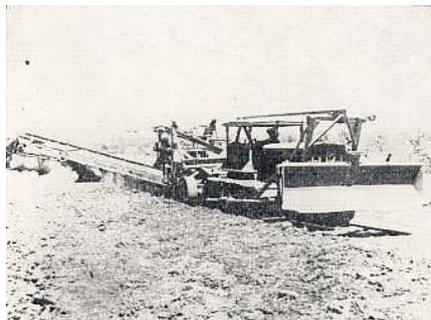
Fotografía No. V. 24.

Bulldozer formando un terraplén; el material es arcillo-arenoso, siendo éste por lo tanto, un procedimiento inadecuado.



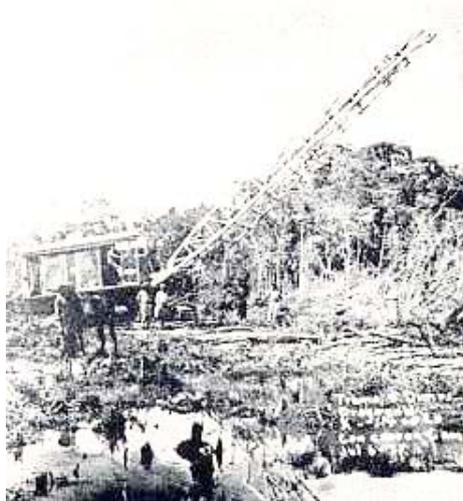
Fotografía No. V. 25.

Se construye un terraplén con excavadora en un material arcillo-limo-arenoso. El procedimiento es inadecuado porque este material queda sin consolidación y con gran cantidad de huecos entre terrones.



Fotografía No. V. 26.

Se construye un terraplén en una zona inundada, con préstamo lateral por medio de una pala de arrastre. Este procedimiento que deja un terraplén de mala calidad está obligado por las condiciones propias de la región y por razones económicas.



Fotografía No. V. 27.

La fotografía siguiente representa una pala trabajando en un corte de formación de roca en donde no es necesario el empleo de explosivos para la excavación.



Fotografía No. V. 28.

En este caso la constitución misma del suelo y el grado de cementación y humedad en que se encuentran los fragmentos de roca, definen el equipo indicado para atacar el corte, que en este caso es la pala mecánica.

Pero puede ser también, según el estado de fragmentación de la roca y las condiciones topográficas, que el Bulldozer sea la máquina indicada para el ataque y aún el transporte.



Fotografía No. V. 29.

Como los anteriores, podríamos repetir un sinnúmero de ejemplos, ya que la diversidad de materiales que componen la corteza terrestre es enorme en calidad y estructura.

Se pone de manifiesto la intervención de la Ingeniería Experimental (y la de planeación en todas las actividades), desde el momento en que se hace el estudio del perfil de suelos para el proyecto, hasta que propone las recomendaciones o delineamientos de los procedimientos de construcción y equipo más adecuados.

Durante el proceso de construcción, su intervención está en el control mismo del trabajo que se realiza en las terracerías por medio de los laboratorios de campo, y que se ilustran en las siguientes fotografías:

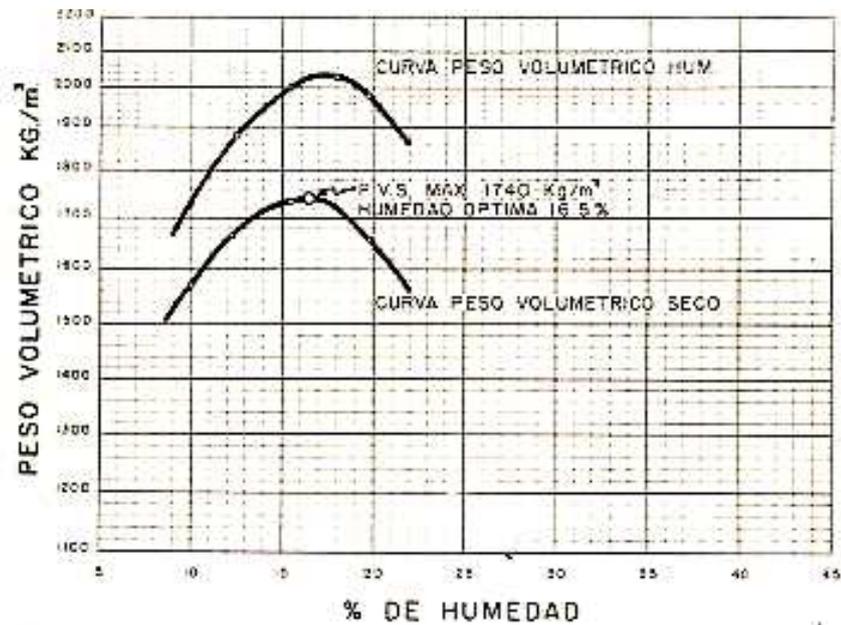
Abriendo perforaciones en la capa compactada del terraplén durante el proceso de construcción, para hacer la determinación del peso volumétrico y comparar los resultados con los obtenidos en la curva proctor.



Fotografía No. V. 30.



Fotografía No. V. 31.



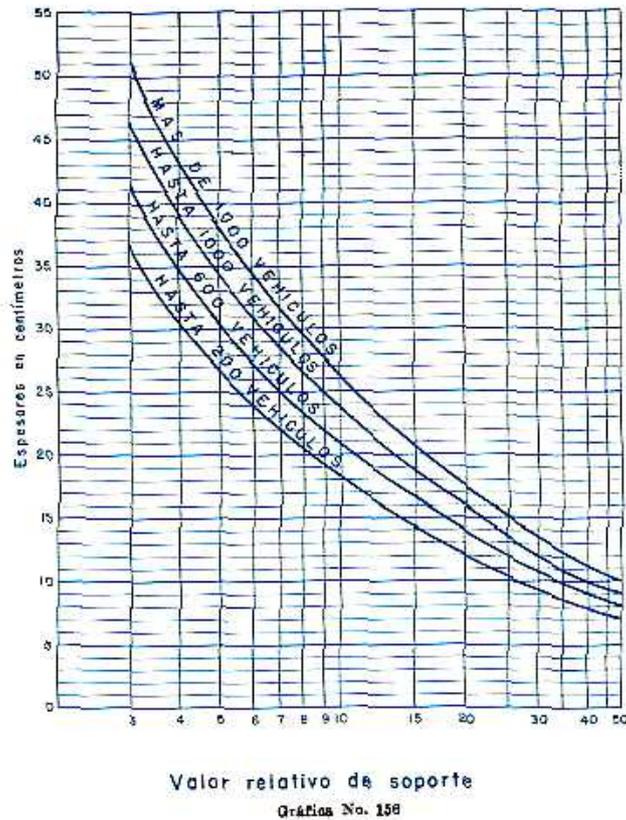
Grafica No. V. 9.

Compactada la última capa de la terracería, se hace prueba del valor relativo de soporte (C.B.R.) directa, para determinar el espesor necesario del pavimento, de acuerdo con la intensidad probable del tránsito que vaya a tener el camino.



Fotografía No. V. 32.

GRAFICA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE  
LOS PAVIMENTOS DE CAMINOS



Grafica No. V. 10.

Sobre la terracería terminada se procede a la construcción del pavimento con el material tomado de los bancos fijados por el laboratorio de campo.

Los materiales de sub-base y base se extienden sobre el camino para darle al material la humedad óptima de compactación determinada por la prueba de Porter.

De acuerdo con las características físicas de estos materiales, ya sea que se empleen tal como se obtienen del banco o que sea necesario hacer mezcla de dos diferentes, se deben compactar con el procedimiento y equipo más adecuado a sus características:

- Con rodillo liso
- Con plancha rígida.
- Con rodillo flexible.
- Con rodillo neumático.

Durante el proceso de compactación de la sub-base y base de pavimento, el laboratorio de campo lleva el control de la humedad óptima y de los pesos volumétricos.

Terminada la construcción de la base, se observa su textura para determinar la cantidad de asfalto necesario para el riego de penetración, cuyo objeto es el de formar una transición entre la base cementada con arcilla y la carpeta cementada con asfalto.

Sobre la base impregnada se construye la carpeta. La construcción de la carpeta asfáltica ya sea de concreto o de penetración, requiere también el control absoluto de la Ingeniería Experimental a través del laboratorio de campo. Los materiales pétreos se controlan en la planta de trituración y cribado.

El asfalto se muestra en los tanques de almacenamiento, y se ensaya en el laboratorio de campo a través de las pruebas de destilación, de penetración y de viscosidad para comprobar que se encuentra dentro de especificaciones.

En la planta mezcladora, el laboratorio de campo comprueba continuamente la dosificación de los componentes, que se pueden hacer por el procedimiento rápido del colorímetro, con el cual en unos minutos puede dar la cantidad de asfalto que contiene la mezcla, y a continuación, en el tendido, el laboratorio fija el tiempo de fraguado para que en el momento oportuno se compacte al porcentaje especificado.

Cuando las mezclas no se hacen en planta sino sobre el camino, la intervención del laboratorio en la construcción de la carpeta es similar.

Semejante intervención tiene el laboratorio de campo en la construcción de pavimentos rígidos, sólo que en este caso se refiere a la fabricación del concreto.

En la construcción de puentes y alcantarillas, la Ingeniería Experimental tiene, a través del laboratorio de campo, una intervención total, desde la localización y muestreo de los bancos de agregados pétreos que se ensayan en el laboratorio, con las pruebas de:

- Granulometría.
- Densidad.
- Materia orgánica.
- La prueba de resistencia de los cementos, con los ensayos de rutina:
- Fabricación de briquetas.
- Curado.
- Resistencia a la tensión.
- Sanidad.
- Finura.

El proporcionamiento de los agregados, para obtener concreto de la resistencia que se requiera:

- Proporcionamiento.
- Curado.
- Resistencia.

Los aceros de refuerzo son también ensayados con las diversas pruebas especificadas:

- Tensión, alargamiento, etc.
- Doblado.

Sobre la construcción, el laboratorio de campo controla en la planta de mezclado la proporción de los agregados, y las resistencias que se obtienen con el concreto fabricado.

En las estructuras metálicas, el laboratorio hace la inspección en las fundiciones y plantas laminadoras, de los apoyos y de las piezas laminadas.

Su última intervención es en las pinturas que preservarán a la estructura metálica de la corrosión, y se ensayan también las pinturas que se emplearán en las señales de tránsito.

Para las estructuras menores, como son las alcantarillas tubulares, se hacen las pruebas de los elementos que las componen.

Así termina la intervención de la Ingeniería Experimental en la construcción de un camino, el cual pasa a la siguiente fase, que es el uso o finalidad para el cual fue construido.

## VI. CONCEPTOS PARA EL DISEÑO.

### VI.1. Estándar de Proyecto.

El término “estándar de proyecto” se refiere a aquellas decisiones estratégicas relacionadas con el nivel geométrico de calidad al cual, se construye una carretera. Dichas decisiones se realizan frecuentemente en la fase de planeación, y se ven afectadas primordialmente por consideraciones sobre capacidad vial y eficiencia económica, pero la seguridad vial debe también tomarse en cuenta. A medida que el tráfico vehicular aumenta, resulta necesario o económico diseñar y construir carreteras con estándares geométricos más elevados. En general, a medida en que el estándar geométrico sea mayor, la carretera será más segura. De hecho, uno de los factores económicos que deben tomarse en cuenta al seleccionar el nivel geométrico de calidad, son los beneficios en seguridad vial derivados de mejores estándares geométricos. Por ejemplo, “una arteria es una vía principal utilizada para el tránsito, a lo largo de una ruta continua”, al investigarse los beneficios en seguridad de mejoras carreteras en la Gran Bretaña, se examinó 85% de los proyectos constructivos distintos a autopistas entre 1982 y 1984, encontrándose las reducciones porcentuales de accidentes (a un nivel de significancia de 10% o mayor) para diferentes tipos de proyecto:

- Libramientos de pueblos rurales 32%
- Separación de niveles en intersecciones urbanas 57%
- “Otros” proyectos en áreas rurales 28%

No se encontraron reducciones significativas de accidentes en libramientos urbanos, en separaciones de niveles en intersecciones en áreas rurales, ni en “otros” proyectos urbanos.

El mayor estándar geométrico para una carretera corresponde a una velocidad de proyecto elevada, control total de acceso de las propiedades aledañas, zonas laterales benignas, rampas de entrada y salida en intersecciones a desnivel, y sentidos opuestos de tránsito separados por mediana. Este tipo de carretera es referido generalmente como autopista. Es la forma más segura de carretera porque muchas de las posibilidades de colisión han sido eliminadas. En la fotografía VI.1 se muestra un ejemplo.

Se presentan los índices de mortalidad (accidentes con muertes por cada 100 millones de vehículos-kilómetro) para carreteras:

- Carreteras de un carril 800 – 1,200
- Carreteras angostas de dos carriles 100 – 200
- Carreteras anchas de dos carriles 20 – 100
- Arterias no divididas 20 – 100

- Arterias divididas 10 – 100
- Todas las autopistas 10
- Autopistas nuevas 5
- Todas las carreteras 200 – 800

En síntesis, la seguridad vial se incrementa significativamente al aumentar el estándar de proyecto geométrico, y las autopistas son mucho más seguras por kilómetro viajado que otras carreteras. La ventaja precisa de seguridad no puede establecerse, porque hay una amplia variación dentro de los tipos de carretera, sin embargo, las autopistas son cuando menos cuatro veces más seguras que otras carreteras, pudiendo ser hasta 20 veces más confiables que otras arterias. Las nuevas autopistas, construidas con estándares contemporáneos, son las formas más seguras de carretera, pudiendo tener hasta el doble de seguridad que autopistas más antiguas, construidas con estándares más bajos.



Fotografía VI.1. Vista panorámica de una autopista con elementos de seguridad carretera

Algunos trabajos correspondientes a la bibliografía han tenido éxito al identificar las diferencias entre las velocidades operativas de los conductores y las velocidades de proyecto de las carreteras; no obstante, no han llegado a establecer claramente el vínculo entre esas diferencias y la ocurrencia de accidentes, a partir del cual se generen las recomendaciones de proyecto geométrico pertinentes. Lo presentado en este capítulo es un primer intento para autopistas, a reserva de generar una mayor cantidad de información estadística en el futuro, que dé mayor sustento y complemento a lo aquí mostrado.

Se presentan inicialmente algunos conceptos generales sobre la curvatura, y las velocidades de diseño y operación en autopistas, relacionados con la seguridad; se incluye un análisis estadístico sobre accidentes en curvas de diferente radio en autopistas mexicanas, así como algunos comentarios concluyentes. Se hace referencia fundamentalmente al alineamiento horizontal de las carreteras, aunque esto da lugar a sugerencias relacionadas con los demás elementos del proyecto geométrico.

## Curvatura y velocidad

La decisión para circular por una carretera o por alguna alterna (cuando la hay) resulta de la valoración del conductor en términos del tiempo, conveniencia y dinero, además de la percepción de la seguridad que se tenga de las opciones. Por ende, la velocidad es uno de los factores más importantes para el conductor al momento de seleccionar rutas o modos de transporte. La velocidad de proyecto debe cumplir con las expectativas de casi todos los usuarios en cuanto al deseo de transitar a cierta velocidad, sujetándose a consideraciones de seguridad y economía.

En este sentido, considerando que sólo un pequeño porcentaje de los usuarios circula a velocidades extremadamente altas, no resulta económicamente factible diseñar únicamente para ellos, como tampoco conviene hacerlo para los conductores en las condiciones de circulación más desfavorables, que también son un pequeño porcentaje, pues se obtendría un camino inseguro, de ahí que frecuentemente se recomiende diseñar para la velocidad más alta razonable (por Ejemplo, 85 % de las velocidades esperadas) que cubra los niveles deseados de seguridad, de movilidad y de eficiencia considerando las restricciones ambientales, económicas, estéticas y los impactos sociales y políticos. Asimismo, la velocidad de proyecto debe ser coherente con respecto a la topografía, el uso del suelo adyacente y el tipo de camino.

Un aspecto muy importante en torno a la velocidad y a la seguridad en carreteras es la estabilidad de los vehículos en las curvas. Se dice que un vehículo es inestable cuando experimenta tendencias muy acentuadas a salirse de la trayectoria impuesta por el conductor, generalmente como resultado de las fuerzas transversales que actúan en él, ya sea por carga mal distribuida, llantas desinfladas, suspensión defectuosa o por la fuerza centrífuga que experimenta cuando transita por una curva, etc. pudiendo suscitarse que el vehículo se deslice o vuelque.

Tomando en cuenta las fuerzas y los elementos que ayudan a contrarrestar los efectos de la fuerza centrífuga, los accidentes en una curva determinada, en condiciones normales de operación, pueden resultar de una velocidad excesiva (para las condiciones prevalecientes), de una inadecuada sobre elevación, de un pavimento derrapante o de la combinación de varios de estos elementos. El primer factor mencionado, la velocidad, es uno de los que más influye en la magnitud de la fuerza centrífuga de un vehículo cuando transita por una curva, dado que la fuerza centrífuga,  $F$ , es función del peso,  $W$ , de la velocidad,  $V$ , del vehículo, así como de la aceleración de la gravedad,  $g$ , y del radio de la curva,  $R$ , conforme la siguiente ecuación 1:

$$F = \frac{WV^2}{gR} \quad \text{Ec. 1}$$

Por tanto, para un vehículo y una curva dados, la variable fundamental es la velocidad y si ésta se incrementa, la fuerza centrífuga también lo hará, pudiendo

resultar eventualmente en la pérdida de control del vehículo; por ejemplo, si la velocidad se duplica, con los demás elementos constantes la fuerza centrífuga resultante se cuadruplicará; si la velocidad se triplica, la fuerza centrífuga resultará nueve veces mayor. Por otra parte, si se considerara la velocidad como un factor constante y el radio de curvatura,  $R$ , se modificara, al ser éste inversamente proporcional a la fuerza centrífuga, entre mayor sea el radio, menor será la fuerza centrífuga resultante y viceversa; es decir, para un vehículo circulando a una misma velocidad por curvas de distinto radio, entre menor es el radio de éstas, más difícil será controlar el vehículo. Es por eso que los conductores “cortan la curva”, o sea, conducen describiendo una curva con mayor radio a la que ha sido construida para disminuir la fuerza centrífuga, al invadir uno o varios carriles. Se tiene en este caso, al mismo tiempo, un aumento en la seguridad al circular por una curva con radio mayor, pero también un incremento en el riesgo por la invasión de carriles.

Cabe señalar que las tendencias naturales anteriores (a mayor velocidad y menor radio mayor probabilidad de pérdida de control del vehículo) se han visto disminuidas al paso de los años por las innovaciones tecnológicas en los nuevos vehículos: suspensión, frenos, dirección, potencia, etc., que han hecho que los conductores tengan mayores velocidades de circulación y tomen las curvas a mayor velocidad, incluso aquella para las que fueron proyectadas, sin que se presente la inestabilidad.

Para dar una idea de lo anterior, se mencionan un par de ejemplos sobre una muestra de velocidades de punto tomadas a vehículos en curvas con alta incidencia de accidentes, en algunas autopistas; una de ellas, construida a principios de los 50, con ampliaciones y modernizaciones recientes, la velocidad de proyecto en terreno plano es de 90 km/h, y en lomerío de 70 km/h. Sin embargo, una curva específica de dicha autopista (con radio igual a 150 m), en lomerío, se diseñó para 70 km/h, siendo sin embargo la máxima velocidad permitida para esa curva de 50 km/h.

En contraparte real la velocidad promedio registrada a la entrada de esta curva fue de 67 km/h, con una máxima registrada de 105 km/h, una mínima de 24 km/h y un percentil 85 de 79 km/h en la muestra de todos los vehículos explorados. La velocidad promedio registrada dentro de esta curva fue de 71 km/h, con una máxima registrada de 85 km/h, una mínima de 45 km/h y un percentil 85 de 81 km/h. En esta curva, en los últimos cinco años, se han registrado en promedio 40 accidentes por año.

En otra autopista, construida a finales de los 50, también con ampliaciones y modernizaciones recientes, la velocidad de proyecto en terreno plano es de 110 km/h, en lomerío es de 90 km/h y en montaña es de 70 km/h. En dicha autopista, hay una curva (con radio igual a 350 m), también en lomerío, que se diseñó para 100 km/h; la máxima velocidad permitida en ella es de 70 km/h. La velocidad promedio registrada dentro de esta curva fue de 89 km/h, con una máxima registrada de 142 km/h, una mínima de 42 km/h y un percentil 85 de 113 km/h. En

esta curva se han registrado en promedio 10 accidentes por año, aunque en 2005 ocurrieron 19 accidentes.

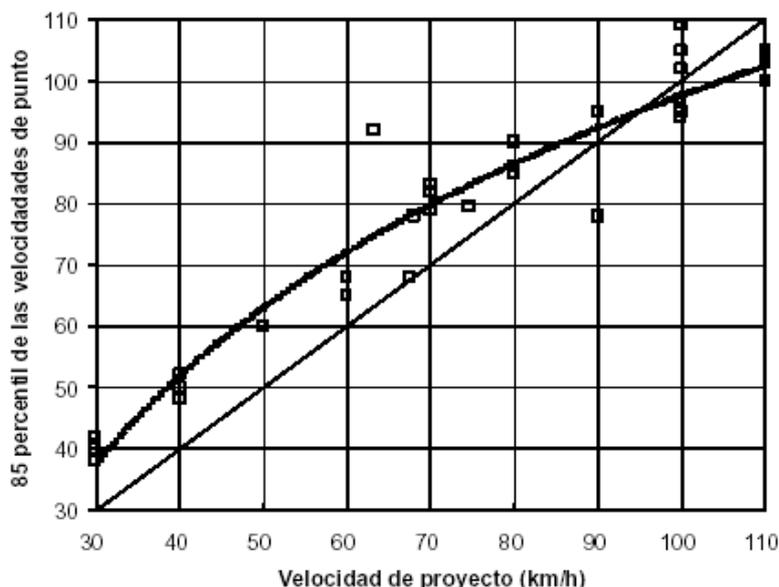
De ambos ejemplos resulta evidente que el deseo de la mayoría de los conductores es circular a altas velocidades, inclusive mayores que la velocidad de diseño y que la máxima permitida. En el primer ejemplo, la diferencia entre el 85 % y la velocidad de proyecto es de alrededor de 10 km/h. En el segundo ejemplo, la diferencia es mayor aun.

Aparentemente, las menores velocidades de proyecto en el primer caso se reflejan en una mayor incidencia de accidentes que en el segundo. Un elemento que contribuye a este comportamiento, lo proporciona una serie de mediciones de velocidad de punto en diferentes sitios de la Red Carretera Federal. A partir de éstas se comparó el 85 %, de las velocidades medidas contra la velocidad de proyecto, estimada en esos sitios a partir de sus radios de curvatura, sobre elevaciones y ampliaciones de sección transversal.

Los resultados de la comparación se ilustran en la gráfica VI.1, en la cual se presenta en línea continua, la relación de igualdad entre 85%, y velocidades de proyecto; y con línea discontinua, la línea de mejor correlación entre esos parámetros para los sitios explorados. En la gráfica VI.1 es evidente que en promedio, para velocidades de proyecto de menos de 95 km/h, el 85%, queda por encima de la velocidad de proyecto, y viceversa para velocidades de proyecto de más de 95 km/h. Esto indica que entre más bajas son las velocidades de proyecto utilizadas, se verán excedidas más significativamente en frecuencia y magnitud por parte de los conductores; hasta un cierto límite, definido básicamente por la tecnología de los vehículos circulantes, a partir del cual ya no se dan excedencias a las velocidades de proyecto. Un comportamiento similar ha sido detectado en otros lugares.

Otros problemas importantes a considerar, aunque no se abordan en este trabajo, se refieren a:

- Escaso cumplimiento de los límites máximos permitidos, pues sólo el 10% de los conductores explorados los cumplieron.
- Elevado diferencial de velocidad entre automóviles y vehículos pesados, el cual llegó a ser hasta de 80 km/h.



Grafica VI.1.

En síntesis, parece evidenciarse la tendencia de que a menores velocidades de proyecto, mayores excedencias en las velocidades de los conductores en relación con ellas y, por lo mismo, más accidentes. Asimismo, si se desea un comportamiento de los flujos vehiculares más congruente con las propiedades físicas y geométricas de las autopistas (es decir, una autopista más congruente con los deseos de los usuarios), éstas deberán diseñarse para velocidades de proyecto relativamente elevadas (por ejemplo 110 km/h). Con ello, se tendrá un camino de mejores características y, por lo mismo, más seguro (con menores índices de accidentalidad).

A su vez conviene hacer referencia a que ha sido una práctica frecuente entender por modernización de un camino, su incremento de capacidad mediante la adición de carriles e incluso cuerpos adicionales, sin actualizar sus condiciones geométricas para las velocidades reales de circulación (deseo de movilidad). Esto también ha sido, frecuentemente, fuente de problemas de accidentalidad.

A continuación se tratará de dar mayor respaldo a los argumentos anteriores, relacionando la curvatura y las especificaciones de proyecto geométrico con la ocurrencia de accidentes.

## VI.2. Análisis estadístico sobre la ocurrencia de accidentes en curvas de diferente radio.

Los respectivos análisis se circunscriben a una red mexicana de autopistas de alrededor de 1,300 km. En ella, en el año 2000 se registraron alrededor de 4,540 accidentes, con saldos de 320 muertos, 3,260 lesionados, daños materiales

por 9 millones de dólares y costo total de accidentes estimado en 94.8 millones de dólares, considerando costos promedio de 215 mil dólares por deceso, y 5,200 dólares por herido.

Sin salirse del ejemplo anterior, en la tabla VI.1 se muestra, en primer lugar, información sobre la distribución de frecuencias de accidentes en el año 2000, en todos los segmentos de 100 m. de cada sentido de la red considerada, clasificados en diferentes rangos según su radio de curvatura, R.

La información de la tabla mencionada proviene de la combinación de dos fuentes de datos: a) un levantamiento georreferenciado del eje de cada sentido de la red considerada, realizado con una unidad GPS MAGELLAN, modelo PROMARK X, corregido diferencialmente, y manejado con ArcView y ArcInfo, que son dos paquetes de cómputo diseñados para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés); y b) una base de datos de los accidentes registrados en 2005 en dicha red. En esta base de datos, cada registro corresponde a un accidente.

El levantamiento georreferenciado se segmentó en elementos de 100 m., LC, mediante comandos de ArcInfo, obteniéndose además la distancia euclidiana entre los puntos inicial y final de cada segmento, "C". Como resultado, se generó una vista (mapa) de ArcView con un tema (capa o layer) que tiene asociada una base de datos para todos los segmentos; en ella se registró para cada segmento, su radio de curvatura estimado mediante la solución de forma abierta, ecuación 2.

Ec. 2

$$R = \frac{C}{2\text{sen}\left(28.648 \times \frac{LC}{R}\right)}$$

$$C = 2R\text{sen}\frac{\Delta}{2}$$

**Tabla VI.1. Numero de accidentes y de segmentos para rangos de curvas de radio, R**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Radio (m)	Frecuencia de segmentos	Porcentaje de segmentos	Porcentaje de Segmentos Acumulado	Frecuencia de accidentes	Porcentaje de accidentes	Porcentaje de accidentes acumulados	%Accidentes(6)
							%Secciones(3)
0-100	100	0.30	0.30	206	4.53	4.53	11.06
101-200	848	3.28	3.67	415	9.15	13.68	2.8
201-300	1522	5.8	9.56	609	13.41	27.00	2.27
301-400	1357	5.25	14.81	349	7.6	34.78	1.47
401-500	1070	4.14	18.06	128	2.82	37.60	0.68
501-600	1137	4.40	23.33	160	3.72	41.32	0.85
601-700	1463	5.66	29.02	182	4.01	45.33	0.71
701-800	1468	5.68	34.60	136	3.00	48.33	0.53
801-900	1498	5.64	40.34	211	4.64	52.97	0.83
901-1000	1303	5.04	45.33	161	3.54	56.51	0.70
1001-1100	1401	5.42	50.79	201	4.42	60.93	0.81
1101-1200	1088	4.21	55.00	192	4.24	65.17	1.01
1201-1300	1101	4.26	59.26	168	3.70	68.87	0.87
1301-1400	1230	4.76	64.02	153	3.38	72.25	0.71
1401-1500	887	3.43	67.44	105	2.32	74.57	0.67
1501-1600	775	3.00	70.45	102	2.25	76.82	0.76
1601-1700	682	2.84	73.00	123	2.82	79.64	1.07
1701-1800	434	1.68	74.77	38	0.83	80.47	0.49
1801-1900	615	1.38	77.15	102	2.25	82.72	0.95
1901-2000	494	1.91	79.08	75	1.65	84.37	0.87
>2000	5413	20.94	100.00	710	15.63	100.00	0.75

En la ecuación 2, C y LC se ingresan en metros, y su argumento se encuentra en grados. C y LC son conocidos para todos los segmentos, pudiéndose valorar R por iteraciones, ingresando un valor inicial de R del lado derecho de la ecuación, para posteriormente recalcular con la misma un nuevo valor de R, que después se reingresa en el lado derecho de la ecuación y así sucesivamente.

En la base de datos de segmentos, también se registró para cada segmento, la secuencia kilométrica de sus puntos inicial y final, según los hitos kilométricos de cada sentido de las autopistas consideradas, también levantados con GPS y sus coordenadas corregidas diferencialmente.

Como en la base de datos de accidentes, la ubicación de los mismos se registra según los hitos kilométricos, fue posible realizar la “geocodificación” de todos los accidentes en esa base de datos para el año 2005, sobre la vista de ArcView de segmentos. “Geocodificación” es el proceso mediante el cual se añaden puntos (accidentes en este caso) de determinada ubicación en un mapa (vista de segmentos), de acuerdo con cierto sistema de domicilios contenido en dicho mapa (nombre de la autopista y secuencia kilométrica según los hitos). Al realizarse la geocodificación, ArcView coloca cada accidente de manera precisa, en la vista de segmentos, con base en su cadenamamiento a lo largo de la autopista correspondiente.

Como salida de la geocodificación, se genera un nuevo tema en la vista de segmentos, el cual al ser activado, muestra la representación geográfica de los accidentes en dicha vista. Este nuevo tema es el mismo archivo de accidentes geocodificado, adicionado a una serie de datos entre los que se encuentra la identificación del segmento de ocurrencia de cada accidente. La figura VI.2 ejemplifica la representación que se genera al activar este tema en la vista de segmentos, a la vez que muestra la ubicación de los accidentes dentro de la red considerada. Una ventaja que se obtiene con la geocodificación es que permite integrar a la vista de segmentos, todos los datos contenidos en el archivo de accidentes, pudiéndose generar con ello los elementos de información en la tabla VI.1, así como otros muchos más, mediante las herramientas convencionales de consulta de ArcView.

La primera columna de la tabla VI.1 presenta los rangos de R en los que se clasifican los alrededor de 26,000 segmentos de 100 m. en los que se dividieron ambos sentidos de la red de autopistas considerada. La tercera columna muestra el porcentaje de segmentos dentro de cada uno de esos rangos (distribución de frecuencias relativas de los segmentos por rangos de R). La cuarta columna, la acumulada de los porcentajes en la tercera columna (acumulada de frecuencias relativas de los segmentos por rangos de R). La sexta columna, el porcentaje de los 4,540 accidentes que ocurrieron en los segmentos dentro de cada rango (distribución de frecuencias relativas de los accidentes por rangos de R). La séptima columna, la acumulada de los porcentajes de la columna anterior. La última columna presenta los cocientes de los porcentajes en la columna seis entre

los porcentajes en la columna tres. Este cociente, para cada rango, es indicativo de la tendencia de los accidentes a concentrarse en ese rango más de lo normal (sobre-representarse en ese rango). La grafica VI. 2 ilustra, en un diagrama de barras, el cociente de sobre-representación obtenido para los distintos rangos de R.

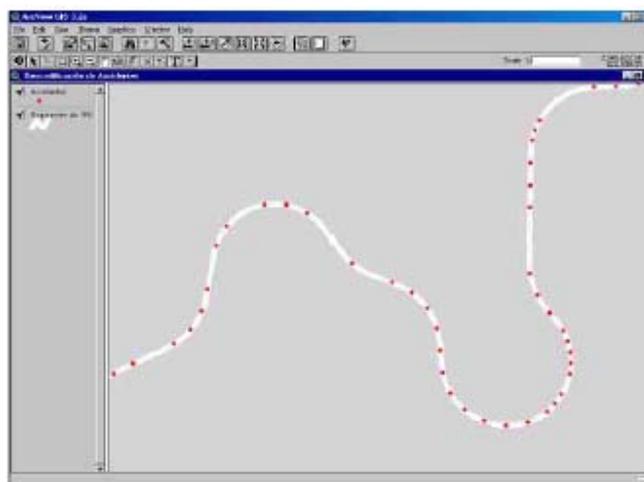
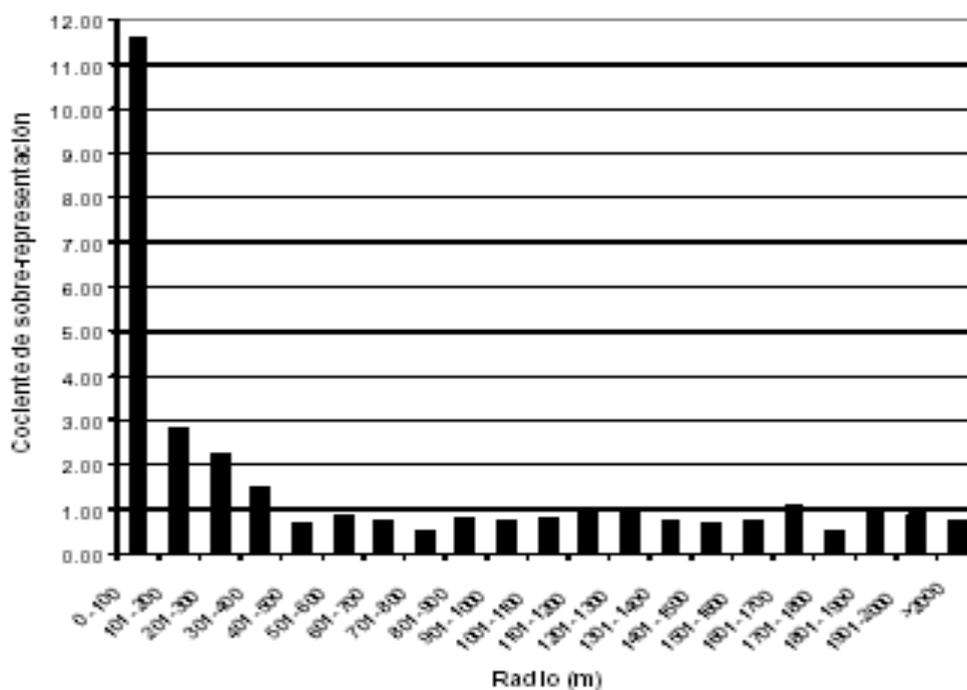


Figura VI.1. Representación geográfica que muestra los segmentos de 100 m., y la geocodificación de accidentes



Grafica VI.2. Cociente de sobre-representación para los distintos rangos de radio

Tanto en la tabla VI.1 como en la Grafica VI. 2, es evidente que la sobre-representación de los accidentes se dispara exponencialmente en dirección inversa a R, para valores de R menores a 400 m. En este rango, al disminuir R, el número de accidentes por sección aumenta y el porcentaje de secciones con esos valores de R disminuye, con lo cual estos dos efectos generan conjuntamente el comportamiento exponencial observado.

A partir de la tabla VI.1 y la figura VI.1 puede concluirse que en el 14.81% de los segmentos con R menor o igual a 400 m, ocurre 34.78% de los accidentes totales registrados. Por tanto, la ocurrencia relativa de accidentes en estos segmentos (34.78/14.81) es tres veces mayor que en los segmentos con R mayor a 400 m.  $((100-34.78)/(100-14.81))$ .

Una conclusión que surge del resultado anterior es que los radios mínimos (Rmín) especificados para prácticamente todas las velocidades de proyecto (Vpoy) consideradas por la normativa de Proyecto Geométrico de Carreteras vigente en caminos Tipo "A" (las menores de 110 km/h), son generadores importantes de accidentes, y, con ello, lo es también una gran cantidad de las curvas que existen en las autopistas de cuota del país (14.81% de sus segmentos de 100 m. según la tabla VI.1).

Dichos radios mínimos y sus correspondientes valores de grado máximo de curvatura (Gmáx) para las distintas velocidades de proyecto en la normativa, se reproducen en la tabla VI.2. Otra interpretación del resultado anterior es que la única Vpoy que conduce a la construcción de autopistas seguras, para las velocidades actuales de circulación en lo referente a sus curvas es 110 km/h, ya que para ella se especifican curvas con R siempre mayor a 417 m., según la tabla VI.2.

VELOCIDAD DE PROYECTO <b>Vpoy</b> (Km/h)	GRADO MÁXIMO DE CURVATURA <b>Gmáx</b> (grados)	RADIO MÍNIMO <b>Rmin</b> (metros)
110	2.75	417
100	3.25	353
90	4.25	270
80	5.50	208
70	7.50	153
60	11.00	104

Tabla VI.2. Velocidad de proyecto (Vpoy), grado máximo de curvatura (Gmáx) y radio mínimo (Rmín)

Las evidencias mostradas apuntan hacia la conveniencia, desde el punto de vista de la seguridad operativa, de buscar una meta de velocidades de proyecto

relativamente elevadas (por ejemplo, 110 km/h) al diseñar y construir futuras autopistas.

Otras recomendaciones pertinentes en aras de la seguridad para diferentes rubros, derivadas de experiencias problemáticas pasadas, públicamente comentadas, se traducen en los siguientes temas:

### **VI.3. Proyecto geométrico**

Evitar una geometría irregular en un sólo trayecto, con curvas horizontales aisladas que restrinjan repentinamente la velocidad de operación.

Construir terceros carriles de ascenso, para permitir el rebase de vehículos pesados. Diseño adecuado o emplazamiento de intersecciones a desnivel.

Evitar la presencia de curvas verticales sucesivas con largas restricciones de rebase (esto sólo en el caso de los “caminos directos”).

Proporcionar rampas de emergencia para detener vehículos fuera de control, en carreteras con fuertes y prolongadas pendientes.

Haber correspondencia entre la geometría del camino, y la estructura de pavimento y superficie de rodamiento proporcionadas.

Proporcionar una “Zona Despejada”, definida como el área adyacente a los caminos, la cual se mantenga libre de peligros laterales, como postes, árboles y arbustos con troncos mayores a 1 m., muros de obras de arte, pendientes fuertes (mayor a 4:1) y otros objetos fijos, o condiciones que representen un peligro. El ancho de esta zona debe ser consistente con el diseño geométrico, velocidad de operación, composición vehicular y nivel de tránsito.

### **Barreras y taludes de terraplenes**

La recomendación de instalar una barrera se basa en la premisa de que sólo debe instalarse si reduce la severidad de accidentes potenciales, ya que el propósito fundamental de las barreras es impedir que un vehículo abandone el camino de manera imprevista y golpee un objeto que lo detenga violentamente, caiga por el borde del terraplén, o que las consecuencias previstas del accidente sean mayores que las provocadas por el impacto con la propia barrera; por eso mismo deben utilizarse barreras de tecnología, para proveer un nivel de seguridad aceptable, los taludes de los terraplenes deben ser lo más tendidos posible. Taludes superiores a 3:1 no son traspasables por un vehículo; en otras palabras, el vehículo que comienza a bajar por estos taludes volcará. Taludes entre 3:1 y 4:1 son traspasables si son uniformes, es decir, si no cuentan con irregularidades importantes, aun cuando el vehículo seguirá bajando hasta donde termine el talud.

Taludes de 4:1 o menores son traspasables y recuperables, o sea que, un vehículo que comienza a descender por éstos, podrá en muchos casos recuperar el control. Un buen proyecto de estabilidad de taludes y una aplicación adecuada de las medidas derivadas del mismo, deben minimizar el problema de la ocurrencia.

La disposición de cunetas no montables junto a la calzada, compromete seriamente la seguridad de un conductor frente al más leve despiste. Debe darse una adecuada disposición a los muros de brocal.

### **Control de acceso**

La expresión “acceso”, en este contexto, se refiere a ingresar a una carretera de tráfico proveniente de otras vías, incluyendo intersecciones, caminos locales públicos y privados así como cruces a nivel de la mediana. El término “control de acceso”, por tanto, reduce o elimina la variedad y espaciamiento de eventos a los cuales el conductor debe responder. Ha sido señalado como el “factor de proyecto más importante por sí mismo, desarrollado para la reducción de accidentes”.

Parte de la ventaja de seguridad de las autopistas se deriva del control de acceso desde las propiedades aledañas, a través de la eliminación de eventos inesperados y la separación de puntos de decisión. Sin embargo, puede lograrse un cierto nivel de control de acceso sin los otros elementos de proyecto de las autopistas (por ejemplo, intersecciones a desnivel).

Controlar el acceso en carreteras existentes a través del uso de calles o vías laterales, puede ser una herramienta efectiva de seguridad, estudios demuestran que la frecuencia de accidentes aumenta rápidamente con la densidad de accesos. Por ejemplo, en uno de esos estudios, la diferencia entre un bajo nivel de desarrollo (menos de 20 accesos por kilómetro), y un alto nivel de desarrollo representó más del doble del número de accidentes de acceso.

Otro de esos estudios también indicó que es un problema tanto en áreas rurales como urbanas (en los Estados Unidos de Norteamérica); y otro más señaló que los accidentes aumentan con la densidad de otras formas de acceso, incluyendo intersecciones y cruce de mediana.

En la mayoría de las carreteras, por supuesto, no es posible o significativo eliminar el acceso, aunque los efectos negativos del acceso pueden ser moderados al reducir el conflicto en los puntos de acceso. Los tratamientos que suelen darse en este sentido incluyen:

- La reducción del número de accesos (por ejemplo, eliminando aberturas en la mediana, proporcionando calles laterales, etc.).

- La separación de los flujos vehiculares de frente, de aquellos que utilizan el acceso (por ejemplo, a través de carriles específicos para dar vuelta, carriles de aceleración y desaceleración, etc.).

Se recomienda “controlar el acceso, siempre que sea posible, en aquellas vías que transportan la mayor cantidad de tráfico, o que conectan centros de actividad principales, y/o que son arterias regionales principales”.

En síntesis, el control de acceso (por ejemplo, a través de la reducción de la frecuencia de intersecciones y aberturas en la mediana, así como el impedimento del acceso directo desde las propiedades aledañas a las carreteras expresas de largo recorrido), el uso de calles laterales, carriles específicos para dar vuelta, y carriles de aceleración y desaceleración, así como las restricciones al acceso desde las propiedades aledañas, todos estos elementos tienen beneficios en el rubro de la seguridad.

## **Medianas**

Las medianas, o reservaciones centrales de espacio entre sentidos de circulación de una carretera, se utilizan para separar el tráfico de direcciones opuestas. Hay varios tipos que incluyen:

Medianas anchas sin barrera física que proporcionan espacio para que el conductor de un vehículo descontrolado retome nuevamente el control del mismo, así como para suministrar carriles para dar vuelta. Medianas angostas con barrera física (metálica o de concreto), diseñada para hacer volver a su propio flujo vehicular a un vehículo descontrolado que choque con ella. Estas medianas también tienen el efecto de desalentar el cruce inadecuado de la carretera por peatones (fotografías VI. 2 y VI. 3).

Medianas angostas sin barrera física, que pueden hacer muy poco por los vehículos descontrolados, pero que claramente separan los flujos vehiculares de direcciones opuestas, y proporcionan una oportunidad a los peatones para cruzar la carretera en dos etapas (fotografías VI. 4 y VI. 5).

Debido a la separación del tránsito en direcciones opuestas, las medianas tienen un efecto positivo en la seguridad vial, proporcionando algunos beneficios adicionales a los peatones. Las carreteras divididas (con mediana central) tuvieron una tasa de accidentes por vehículo-kilómetro de dos terceras partes de las carreteras no divididas.

Asimismo, se comparó las frecuencias de accidentes para carreteras de cuatro carriles con medianas anchas, angostas, y angostas pintadas, con

carreteras de cuatro carriles sin medianas. En comparación con las carreteras no divididas, las primeras redujeron la frecuencia de accidentes como sigue:

- Mediana angosta pintada 30%
- Mediana angosta con vialetas, o banda vibradora 48%
- Mediana ancha 54%

En áreas urbanas, las medianas deben ser, donde sea posible, suficientemente amplias para proteger un vehículo que dé vuelta, o que cruce la vía. De hecho, éste es el criterio para definir medianas anchas.

En áreas rurales deben proporcionarse medianas anchas para permitir al conductor de un vehículo descontrolado, retomar el control, y que con un ancho de mediana de 9 m., entre 70 y 90% de los vehículos que se refugian en ella, no alcanzan los carriles de circulación del otro sentido.



Fotografías VI. 2 y VI. 3. Ejemplos de medianas angostas con barrera de concreto



Fotografías VI. 4 y VI. 5. Ejemplos de medianas sin ningún tipo de barreras

Las medianas angostas con una barrera física, tienen típicamente una mayor frecuencia global de accidentes, pero una menor severidad dado que los accidentes frontales son reducidos o eliminados. Por ejemplo, instalar una barrera metálica en la mediana de carreteras divididas condujo a una reducción de 15% en el número de muertes, pero llevo a un incremento en los accidentes sin lesionados, de 14%.

El talud de la mediana, cuando ésta es ancha, también puede influir en los accidentes. Un talud máximo de 6:1 es deseable en medianas anchas, y que taludes de 4:1 o más pronunciados están asociados con la ocurrencia de volcaduras.

Para máxima efectividad en seguridad, el número de aberturas en la mediana debe ser minimizado, aunque esto es, por supuesto, a expensas de un acceso adecuado. Se establece que en tanto que el suministro de mediana mejora la seguridad vial de carreteras principales, tal mejora es inversamente proporcional al número de aberturas en la mediana.

En resumen, la separación de flujos vehiculares de sentido opuesto a través de una mediana conduce a beneficios significativos en seguridad. En áreas urbanas, las medianas deben ser suficientemente amplias para proteger los vehículos que dan vuelta o que cruzan la vía, en tanto que un ancho mínimo de 9 m. con un talud no mayor de 6:1 son adecuados para áreas rurales. Las medianas pueden proporcionar beneficios a los peatones, permitiéndoles cruzar la carretera en etapas.

## **Elementos de la sección transversal**

La sección transversal de la carretera incluye los carriles de circulación, los acotamientos, bordillos, elementos del drenaje, así como los cortes y los terraplenes. A través de los años se han realizado estudios dirigidos a investigar los efectos en la seguridad vial, del ancho de carriles y acotamientos, tipo de acotamiento, pendiente transversal del pavimento, etc. Sin embargo, pocos de ellos han sido capaces de establecer el efecto de otros factores, tales como el alineamiento, la zona lateral libre de obstáculos, o de determinar las relaciones lógicas entre los tipos de accidentes y los elementos de la sección transversal, aunque parece haber consenso general sobre los aspectos que se indican enseguida, siendo estas condiciones importantes para el diseño carretero.

### **Ancho de carril**

Los anchos de carril de 3.4 a 3.7 m. a la vez que generan las menores frecuencias de accidentes en carreteras, y también representan el balance más apropiado entre seguridad y eficiencia del flujo vehicular.

Se ha demostrado que anchos de carril menores de 3 metros contribuyen a generar accidentes multi-vehiculares.

Varios estudios han demostrado las ventajas en seguridad derivadas de la ampliación de carriles. Ampliaciones de carril de 2.7 a 3.4 m. y de 3 a 3.7 m. en carreteras, generaron reducciones en la incidencia de accidentes con heridos graves de 22%. La misma referencia reporta resultados acerca de la cantidad de

ampliación, a diferencia del ancho final de carril, fue el factor primordial que afectó la disminución de la frecuencia de los accidentes relacionados con el ancho de carril (tales como los choques frontales o las salidas del camino). Las reducciones porcentuales obtenidas fueron:

- Para una ampliación de carril de 0.3 m: 12% de reducción
- Para una ampliación de carril de 0.6 m: 23% de reducción
- Para una ampliación de carril de 0.9 m: 32% de reducción
- Para una ampliación de carril de 1.2 m: 40% de reducción

Así como se ha demostrado que los anchos de carril de menos de 3 m., contribuyen a la ocurrencia de accidentes multi-vehiculares, también se ha comprobado el poco beneficio, si no es que ninguno, si se incrementa el ancho de carril más allá de 3.7 m., excepto en el caso de que por elevados volúmenes de camiones de carga, carriles de 4 m. pudiesen ser apropiados. De hecho, anchos de carriles mayores que los anteriores pueden ser contraproducentes, dado que estimulan la realización de maniobras inseguras, tales como rebasar a lo largo de la línea central ante tráfico vehicular frontal.

No se recomienda proporcionar un ancho de circulación tan amplio que permita tres carriles, pero que sólo se dibujen dos. Esto invita a los conductores de vehículos de ambas direcciones a rebasar de cara el tránsito vehicular frontal. Esto sería una seria negligencia por parte de la autoridad carretera al no proporcionar al conductor una guía clara sobre cómo debe utilizar la carretera, así como un incumplimiento de su responsabilidad de disuadir maniobras inesperadas e inseguras. Sería mucho mejor, desde el punto de vista de la seguridad y del servicio al usuario, dibujar una carretera con tres carriles, y un carril de rebase claramente definido en una dirección. Sería también mucho más barato, dado que los carriles de rebase no necesitan ser colocados en toda la longitud del camino, sino quizá sólo en 10% de la misma.

La información relacionada con el efecto del ancho de acotamiento en los accidentes es menos concluyente. El aspecto más importante de los acotamientos parece ser si se encuentran revestidos o no. Sin embargo, hay alguna evidencia de que la incidencia de accidentes se reducen en la medida en que el ancho de acotamiento aumenta hasta alrededor de 3 m. Por ejemplo, algunos resultados muestran un 21% de disminución en accidentes totales cuando una carretera sin acotamientos es provista de ellos, con ancho entre 0.9 y 2.7 m. Asimismo, recomienda que para carreteras sin acotamiento, el ancho óptimo de acotamiento a proporcionar es 1.5 m.

Una reducción en los accidentes al incrementarse el ancho de acotamientos de 0 a 2 m., y que poco beneficio adicional es con anchos de acotamiento por encima de 2.5 m.

## Ancho de carril y acotamiento

Los anchos de carril y acotamiento no son independientes, por lo cual, los resultados presentados no deben tomarse como concluyentes.

Estas relaciones mostraron claramente que el incrementar el ancho de carril (hasta 3.7 m) y el ancho de acotamiento (hasta 3 m) tienen efectos benéficos, pero que estos dos efectos no son independientes. La ampliación de carriles de 2.7 a 3.7 m, sin mejoramiento de acotamientos, puede reducir los accidentes en 32%. La ampliación de acotamientos es menos efectiva que la de carriles. Por ejemplo, añadir acotamientos revestidos de 0.9 m. a una carretera sin ellos, redujo los accidentes en 19%. Si esa adición de 0.9 m. fuese pavimentada, la baja esperada sería de 22%. las mayores ganancias provienen de una combinación de mejoras. Por ejemplo, ampliar una carretera con carriles de 2.7 m. y sin acotamientos, a carriles de 3.7 m y acotamientos de 1.8 m., redujo los accidentes en 60%. Sin embargo, la tendencia a la baja de accidentes como resultado de mejorar un elemento, será mayor si los otros elementos también son mejorados.

La tabla VI. 3, sintetiza las recomendaciones sobre anchos, conjuntos de carril, y acotamiento.

TDPA	VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS DE CARGA			
		>10%		<10%	
		ANCHOS EN METROS			
		CARRIL	CARRIL + ACOTAMIENTO	CARRIL	CARRIL + ACOTAMIENTO
1-750	< 50	3.0	3.7	2.7	3.3
	> 50	3.0	3.7	3.0	3.7
751-2000	< 50	3.3	4.0	3.0	3.7
	> 50	3.7	4.6	3.3	4.3
> 2000	Todas	3.7	5.5	3.3	5.2

Tabla VI. 3. Anchos de Carril y Acotamiento Recomendados  
TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual

Los anchos de carril y acotamiento en la tabla VI. 3, representan la recomendación más actualizada. Los anchos de carril en exceso de 3.7 m. son innecesarios, excepto donde haya altos volúmenes de camiones de carga; anchos de carril menores de 3 m. son menos seguros. El ancho de acotamiento debe ser considerado a la luz del ancho de carril, como es el caso en la tabla VI. 3. La calidad del acotamiento (revestido, no revestido o pavimentado) así como su condición, son también consideraciones importantes. Adicionalmente, en el

proyecto de los elementos de la carretera debe prestarse especial cuidado a consideraciones del drenaje, con el fin de evitar el hidropneumático.

### **Pendiente transversal o drenaje.**

El drenaje es una parte esencial en cualquier carretera, e involucra tres aspectos: drenaje de la superficie, drenes en zonas laterales y puentes y alcantarillas.

Es fundamental contar con un buen drenaje superficial, ya que una película o capa de agua de 6 mm puede generar hidropneumático al reducir el coeficiente de fricción cercano al cero, haciendo virtualmente imposibles las operaciones de frenado así como de dar vuelta. La mayoría de los accidentes en ambiente húmedo o mojado, ocurre en pavimentos con baja resistencia al derrapamiento, y que una película de agua en curvas de radio elevado, puede tener casi el doble de espesor que la de una sección en tangente con bombeo a uno y otro lado de la rasante, con la misma pendiente transversal.

Este es un factor importante a considerar en el proyecto carretero, especialmente donde la distancia de drenaje superficial es más larga que el ancho de un carril.

### **Distancia de visibilidad**

Todo conductor debe ser capaz de ver la carretera que está por transitar, con el fin de navegar, guiar y controlar su vehículo. Esta distancia de visibilidad frontal (a diferencia de la distancia de visibilidad en intersecciones) no debe ser menor que la distancia requerida para hacer alto, conocida como distancia de visibilidad de parada (DVP). De ahí la importancia de que el proyectista llegue a garantizar que el conductor pueda viajar con seguridad a la velocidad adecuada según la carretera, proporcionando la distancia de visibilidad frontal apropiada.

En la mayoría de los casos, la incidencia de accidentes se reducen al aumentar la distancia de visibilidad promedio, especialmente para los accidentes de noche con un sólo vehículo involucrado. Asimismo, que distancias de visibilidad menores de 200 m. son frecuentes en curvas horizontales en las que se generan elevadas frecuencias de accidentes.

### **Distancia de visibilidad en curvas verticales en cresta**

Por su parte, en estudios se reporta frecuencias de accidentes 52% mayores en sitios con restricciones a la visibilidad debidas a la curvatura vertical, en relación con sitios de control. Asimismo, a partir de un modelo generado con el fin de estimar cuando es rentable alargar una curva vertical para aumentar la

distancia de visibilidad sobre una cresta, se concluye que reconstruir esas crestas es rentable cuando la velocidad de proyecto es 33 km/h menor que las velocidades operativas en el sitio, el flujo vehicular excede 1,500 vehículos por día y/o existe un riesgo importante (por ejemplo, una intersección de flujo elevado, una curva horizontal cerrada, una pendiente descendente pronunciada o una interrupción de carril).

Sin embargo, se concluyó que es rentable mejorar la distancia de visibilidad en curvas en cresta, sólo cuando la mejora va de distancias de visibilidad muy cortas a distancias de visibilidad muy largas, así como cuando los flujos vehiculares son suficientemente elevados para justificar el gasto. También advierte sobre el peligro de mejorar curvas verticales en cresta con deficiencias extremas de visibilidad, actualizándolas a un estándar que aún es menor que el mínimo, pues puede conducir a un deterioro en la seguridad, ya que la longitud carretera con distancia de visibilidad deficiente, necesariamente tiende a aumentar.

### **Distancia de visibilidad en curvas horizontales**

Se señala que mejorar la distancia de visibilidad en curvas horizontales es altamente rentable. Sugiere que ciertos tratamientos de bajo costo, tales como la eliminación de la vegetación u otros obstáculos menores en el interior de las curvas horizontales, puede ser eficiente en casi todas las carreteras. Es importante enfatiza la conveniencia de aprovechar trabajos de reconstrucción o rehabilitación mayor de las carreteras, para mejorar las distancias de visibilidad.

La distancia de visibilidad es particularmente importante para los camiones de carga, dado que en general éstos tienen un comportamiento inferior al frenado el que debe ser compensado, en parte, por una mayor distancia de visibilidad. Concluyendo que el aumento de la altura del ojo en los camiones de carga compensa el inferior comportamiento al frenado para el promedio de todos los tamaños de camiones; esto no se cumple para los camiones más grandes y más pesados, los cuales requieren mayores distancias de frenado.

Los requerimientos de distancia de visibilidad en curvas verticales en columpio, determinados por la distancia de visibilidad nocturna generada por los faros, son satisfactorios para los camiones de carga. Sin embargo, las distancias de visibilidad en el entorno de las curvas horizontales pueden ser un problema para los camiones de carga, dado que en esos sitios la mayor altura del ojo es de poca utilidad.

En resumen, las distancias de visibilidad insuficientes están asociadas con la ocurrencia de accidentes. El grado de riesgo varía con las características de la carretera, pero algunas características y combinaciones de ellas son más peligrosas que otras. La reconstrucción de curvas horizontales para incrementar la distancia de visibilidad suele no ser rentable, excepto en casos extremos. Por otra parte, mejorar la distancia de visibilidad de curvas horizontales suele ser rentable

si involucra medidas de bajo costo, tales como la eliminación de vegetación u otros obstáculos menores. Esto es particularmente recomendable cuando hay flujos considerables de camiones de carga.

### **Consideraciones para el alineamiento y diseño carretero.**

La curvatura horizontal es el factor principal que afecta la velocidad de los vehículos en carreteras, particularmente a velocidades por debajo de 100 km/h. Por tanto, las curvas horizontales deben ser proyectadas de tal forma que puedan ser transitadas seguramente. Las curvas verticales y las pendientes también afectan la seguridad vial, pero el proyectista debe preocuparse primordialmente del requerimiento de integrar los detalles de los alineamientos vertical y horizontal, así como de la necesidad de mantener un estándar uniforme de proyecto a lo largo de toda la carretera.

### **Alineamiento horizontal**

Es más probable que los accidentes ocurran en las curvas que en las tangentes (secciones rectas de carretera). La frecuencia promedio de accidentes en segmentos en curvas horizontales es tres veces la de segmentos en tangente, siendo esta relación de cuatro veces para accidentes de un vehículo del tipo "salidas del camino". Adicionalmente, los segmentos en curva suelen tener mayores proporciones de accidentes severos en superficie mojada.

En numerosos estudios se ha tratado de investigar la relación entre el proyecto de curvas horizontales y los accidentes; inclusive, han identificado varias características geométricas, de la sección transversal y del tránsito, relacionadas con la seguridad vial de las curvas horizontales, prestando atención al radio y la longitud de la curva, la intensidad vehicular, el ancho de carriles y acotamientos, los peligros en las zonas laterales, la distancia de visibilidad de frenado, el alineamiento vertical en las curvas horizontales, la distancia a curvas adyacentes, la distancia a intersecciones cercanas, la presencia de dispositivos para el control del tránsito, etc.

A su vez, el radio es el principal factor que afecta la seguridad en curvas horizontales, pero que el ancho de acotamiento, el ancho de circulación y la longitud de la curva (en ese orden) son también importantes.

Asimismo, radios de curvatura mayores a 500 m. no generan problemas de seguridad, pero que curvas con radios menores a ese valor están asociadas con un incremento abrupto en el riesgo.

La frecuencia de accidentes en carreteras de un carril por sentido aumenta en curvas con radio por debajo de 1,000 m., así como si el radio excede los 3,300

m. Este último comportamiento quizá se deba a que curvas con radio elevado, por lo mismo pueden ser muy largas dando lugar a maniobras peligrosas de rebase.

Por su parte la relación entre los accidentes y la geometría de la carretera tiene que ver con la consistencia de sus características dentro del contexto global del segmento carretero. Lo anterior sirvió como base para desarrollar guías para el “suavizamiento” de curvas (es decir, la reconstrucción de la curva para darle un mayor radio). Los resultados sugirieron que esto es rentable si el flujo vehicular excede los 750 vehículos por día, y la velocidad de proyecto se encuentra más de 25 km/h por debajo del percentil 85 de las velocidades de los vehículos aproximándose a la curva. Asimismo, se fortalece el uso del “suavizamiento” de curvas mediante argumentos sobre beneficios adicionales derivados a los usuarios en términos de reducción de tiempos de viajes y costos de operación vehicular.

Sin embargo, no es conveniente generar guías universales, debido al alto grado de variación en las condiciones de sitio a sitio. También se evaluaron los niveles de fricción lateral generados por cada conductor transitando por curvas, antes y después del “suavizamiento”, concluyéndose que en tanto que la velocidad aumenta, las demandas de fricción lateral generalmente disminuyen, pero que el margen de seguridad se incrementa en todas las curvas, lo cual se respalda con datos de accidentes.

De mayor importancia que su consideración por sí sólo desde el punto de vista de la seguridad, es la consideración del radio de curvatura de manera consistente con otros parámetros a lo largo de un segmento.

El “suavizamiento” de curvas es caro y únicamente es rentable bajo ciertas condiciones. Otros tratamientos alternos que pueden utilizarse para mitigar problemas de seguridad vial en curvas horizontales, son:

La rehabilitación física y/o la reconstrucción parcial, incluyendo la remoción de riesgos en las zonas laterales (árboles, postes, etc.), la reducción de los taludes laterales, la reposición de la superficie de los carriles de circulación con el fin de mejorar la resistencia al derramamiento, el aumento de la sobre elevación, la pavimentación de los acotamientos y la eliminación de escalones en los bordes del pavimento.

Tratamientos de bajo costo, tales como el repintado de las rayas centrales y laterales del pavimento, la instalación de vialetas reflejantes, la colocación de delineadores del alineamiento de la curva, la rehabilitación del señalamiento preventivo, etc.

### **Alineamiento vertical**

Incluye las pendientes y las curvas verticales. Las curvas verticales en columpio rara vez son un problema (excepto cuando se encuentran en la vecindad

de una curva horizontal), en tanto que en el caso de las curvas verticales en cresta los problemas tienen que ver con la distancia de visibilidad.

Las pendientes pronunciadas están generalmente asociadas con mayor frecuencia a los accidentes. La frecuencia y la severidad de los accidentes aumentan con la pendiente, tanto en el sentido ascendente como en el descendente. Asimismo, ha encontrado que el sentido descendente es más problemático, debido principalmente a los accidentes de camiones de carga, aunque se reconoce que el comportamiento y capacidad de frenado de estos últimos han mejorado en los últimos años. Concluye que las pendientes pronunciadas de más de 6% se asocian a una mayor presencia de accidentes.

Cualquier pendiente es potencialmente un problema y que las pendientes de 2.5 y 4% tienden a ser frecuentes en accidentes mayores a 10 y 20% respectivamente, en relación con segmentos horizontales adyacentes.

Asimismo, curvas y pendientes deben considerarse conjuntamente en relación con la ocurrencia de accidentes, para cada tipo de ellas, como referencia para modernización y construcción de nuevas carreteras.

### **Combinaciones de alineamiento vertical y horizontal**

Más importante que el alineamiento vertical o el horizontal considerados individualmente, es la forma en que ambos se combinan a lo largo de un tramo carretero. Los alineamientos vertical y horizontal no deben ser considerados independientemente entre sí, o independientemente de los estándares de proyecto aplicables al resto de la carretera.

Al respecto, que aquellos casos en los que se violan las expectativas de los conductores, suelen ser importantes generadores de accidentes; por ejemplo, curvas horizontales precedidas de tangentes largas; intersecciones con alto flujo vehicular en zonas rurales aisladas; curvas horizontales compuestas en el mismo sentido, en donde la primera es muy ligera y la segunda muy pronunciada, etc. Asimismo, indica que la presencia simultánea de dos o más factores (pendientes, curvas, intersecciones, estructuras), produce de 2 a 3 veces el número de accidentes que en segmentos sin esas características; y que la presencia de combinaciones de elementos geométricos genera mayor frecuencia de accidentes que la presencia de los elementos individuales.

Las combinaciones generan frecuencias de hasta seis veces la que se presenta en segmentos sencillos. Recomienda evitar curvas horizontales con radio menor de 450 m. y pendientes de más de 4%, particularmente de manera combinada.

Asimismo, se genera una situación particularmente peligrosa donde una curva horizontal es ubicada justo en una curva vertical en cresta.

La consistencia a lo largo de una carretera es particularmente importante. En otras palabras, el efecto de una característica del proyecto geométrico depende de su contexto. De aquí que, por ejemplo, una curva cerrada aislada en una carretera constituida básicamente de tangentes largas y curvas de gran radio, tenga una alta probabilidad de generar accidentes, pero la misma curva en una carretera de menor estándar geométrico podría no generar problemas. Por la misma razón, la primera curva en una serie de curvas podría tener más accidentes que curvas similares e incluso más severas ubicadas en contextos más sencillos.

Curvas cuya velocidad de proyecto queda más de 10-15 km/h por debajo del 85 % de las velocidades del flujo, representan un peligro para los conductores. Debe recordarse que para éstos la carretera es una sola, y la continuidad es crítica para sus expectativas y comportamiento.

La implicación de lo anterior es que la consistencia es muy importante, y cuando las expectativas de los conductores sean violadas, es necesario tomar medidas serias para alertarlos, por ejemplo, a través del uso extensivo de señalamiento preventivo u otros elementos de delineación, incluyendo aquellos que afectan las percepciones visuales de los conductores. Lo anterior también implica que cualquier trabajo de reconstrucción realizado en una carretera, debe realizarse a un estándar consistente; es decir, a menos que haya una política específica para actualizar la longitud total de una carretera que de origen tenga un estándar bajo, cualquier trabajo que se realice en ella debe ser a ese estándar bajo, en interés de la consistencia.

Guías para tratar casos de estándares geométricos diversos, así como características inesperadas:

- La colocación de transiciones geométricas graduales, apropiadas a la velocidad vehicular anticipada.
- El mejoramiento de la distancia de visibilidad para la detección oportuna de la presencia de características críticas.
- La implementación de zonas laterales seguras con pendientes laterales suaves y sin obstáculos peligrosos, en los sitios críticos.
- La instalación de dispositivos de control del tránsito, apropiados a la situación.

### **Curvas de transición**

Las curvas horizontales son casi siempre diseñadas como arcos circulares. Un vehículo no puede cambiar instantáneamente, de moverse en línea recta a moverse en un arco circular, sino que le llevará alguna distancia cambiar su trayectoria. Algunas veces se inserta un pequeño segmento carretero entre la tangente y la curva circular para facilitar dicho cambio; tal curva tiene un radio de

curvatura que cambia constantemente, propiedad que suele denominarse como espiral.

De manera similar, la pendiente transversal de la carretera puede variar a medida que el alineamiento cambia de una tangente a un arco circular, particularmente en el carril exterior donde la pendiente transversal puede cambiar de descendente a partir de la rasante en la tangente (para efectos de drenaje) a ascendente en la curva. Esta sección transversal en la curva se denominada sobre elevación, y deber ser implementada también a través de cierta longitud. Hay, por tanto, cuando menos dos longitudes de transición que son requeridas: una para el cambio de curvatura, y otra para el cambio de sobre elevación.

El uso de espirales de transición tiene un efecto positivo en la seguridad al reducir las demandas de fricción de los movimientos vehiculares críticos a través de la curva. Demuestra que su uso reduce los accidentes en curva de 2 a 9%, dependiendo del radio de curvatura y la deflexión.

Asimismo, reporta que su aplicación a ambos extremos de una curva de una carretera de dos carriles y dos sentidos, redujo los accidentes totales en la curva en 5%. También examina el efecto de tener una cantidad incorrecta de sobre elevación, concluyendo que, para un déficit de sobre elevación (o diferencia entre la cantidad recomendada por las especificaciones menos la medida en la curva) de 0.2, puede esperarse una reducción en los accidentes de 10% en promedio si se corrige ese déficit. Si dicho déficit es de entre 0.1 y 0.2, la reducción esperada en los accidentes podría ser de 5%.

Los problemas relacionados con la ausencia de curvas de transición, son particularmente críticos para los camiones de carga articulados. La ausencia de curvas de transición afecta la fricción desarrollada entre la llanta y la superficie, la trayectoria a través de la curva y la probabilidad de invasión del carril contrario o el acotamiento. Sugiere que el enfoque de ingeniería convencional para el proyecto de curvas horizontales, es satisfactorio para los automóviles, pero existe preocupación en relación con la estabilidad y control de los vehículos con centro de gravedad más elevado y torsionalmente menos rígidos, como son los camiones de carga. Asimismo, enfatiza en relación con las rampas de autopistas, que al ser éstas segmentos cortos de curva (sin espiral), parecen ser puntos críticos que afectan negativamente a los camiones.

En síntesis, las curvas horizontales de carreteras no deben tener radio menor a 600 m; por debajo de 450 m, puede esperarse una mayor frecuencia de accidentes. Las pendientes no deben exceder 6%, ni 4% cuando haya una alta proporción de camiones pesados. Al mejorar las carreteras, conviene prestar particular atención a las características críticas aisladas o inesperadas, incluyendo curvas horizontales cerradas y pendientes pronunciadas, así como otros elementos tales como intersecciones.

La peor situación ocurre cuando dos o más de esas características se presentan simultáneamente o cercanamente entre sí; esto puede generar una situación varias veces más peligrosa que donde sólo hay un segmento recto plano. Sin embargo, la consistencia en el estándar de proyecto a lo largo de la carretera es más importante que el estándar de un elemento individual, dado que las expectativas de los conductores determinan significativamente su comportamiento.

Las curvas horizontales deben tener transiciones en ambos extremos que conecten las tangentes con el arco circular, particularmente en carreteras con alta proporción de camiones pesados. También contribuye a la seguridad proporcionar la cantidad adecuada de sobré elevación.

### **Puentes, estructuras y alcantarillas**

Los puentes y alcantarillas pueden ser significativos en términos de su influencia en los accidentes por salida del camino, requiriendo por tanto ser considerados en programas para mejorar la seguridad.

Para nuevos puentes, se recomienda que el puente debe ser 1.8 m. más ancho que la sección de circulación (por ejemplo, llevando dos acotamientos de 0.9 m. a lo largo del puente). En carreteras de flujo vehicular elevado, los anchos completos de ambos acotamientos deben ser llevados a lo largo del puente (fotografías VI. 6).



Fotografías VI. 6. Detalles diferentes de estructuras de puentes en el cruce de una autopista, con protección de barrera metálica

Los pasos superiores deben tener pilas diseñadas para posible impacto. Sus contrafuertes tienen que estar alejados de la sección de circulación que pasa perpendicularmente por debajo, e idealmente no son aconsejables las pilas en los bordes de la misma; si el contrafuerte está ubicado en la cima del terraplén, estará alejado de la sección de circulación que pasa por debajo.

Dependiendo del claro del puente, se requerirá una pila en la mediana de la carretera que pasa por debajo.

Las barandillas de los puentes son barreras longitudinales diseñadas para prevenir que un vehículo descontrolado al salirse del camino, caiga del puente. Por tanto, deberán tener poca o ninguna deflexión. Sin embargo, si existe una barrera a lo largo de las aproximaciones al puente, ésta seguramente se habrá diseñado para deformarse ante un impacto, de ahí que, se requiere una transición en la rigidez de dicha barrera en la dirección del poste final del puente; asimismo, la barandilla debe fijarse rígidamente a este poste.

En síntesis, la seguridad vial es una consideración importante en el diseño de puentes nuevos. Apegarse a estándares vigentes relacionados con el ancho del puente, acotamientos, barandillas y postes, así como con la ubicación de las pilas y columnas, es importante para asegurar que el nuevo puente será seguro y funcional.

## **Rebase**

Restringir las oportunidades de rebase en carreteras de un carril por sentido, combinado con la presencia de vehículos más lentos, puede generar un congestionamiento sustancial y, por ello, accidentes al rebasar. Alrededor de 10% de los accidentes carreteros con heridos se generaron en este tipo de operaciones.

En carreteras de un carril por sentido, el vehículo que rebasa debe superar al vehículo rebasado, ingresando al carril opuesto, así que, la oportunidad para rebasar requiere de un espacio suficientemente grande en el tránsito de frente para que la maniobra pueda realizarse, más la distancia recorrida por el vehículo que rebasa, más un margen de seguridad. El alineamiento vertical y horizontal tiene que proporcionar distancias de visibilidad de la suma de los tres elementos anteriores, y con ello permitir el rebase. En carreteras de alto flujo vehicular, el tráfico de frente limitará las oportunidades para rebasar, en tanto que en terreno en lomerío o montañoso, la distancia de visibilidad puede no ser suficiente.

En estas circunstancias, los carriles de rebase pueden ser muy efectivos al mejorar las operaciones del tránsito, desahogando la vía y reduciendo los retrasos causados por oportunidades inadecuadas de rebase sobre longitudes sustanciales de carretera. En tráfico moderado, un esquema razonable de varios de estos

carriles, totalizando una longitud de 10% de la carretera, puede proporcionar mucho del beneficio de duplicar la carretera (por ejemplo, proporcionar otro cuerpo).

Una reducción de 35% en todos los accidentes al haber proporcionado este tipo de carriles en carreteras de Australia, así como de 25% en los accidentes con muertos y/o heridos. Una baja de 10 a 20% en los accidentes al instalarse carriles de rebase en pendientes ascendentes de 3 a 4%, así como una reducción de 20 a 40% en pendientes más pronunciadas.

Ambas referencias señalan que la reducción de accidentes también se extiende un poco más allá de la sección ampliada, lo cual es indicativo de un alivio en la presión por rebasar vehículos más lentos.

Este efecto puede a su vez extenderse antes de la sección ampliada mediante la instalación de señalamiento informativo anticipado, 2 a 5 kilómetros antes del inicio de la sección ampliada. El efecto de secciones cortas de cuatro carriles, proporcionan oportunidades para rebasar en ambos sentidos, lo cual puede ser parte de una construcción por etapas de una duplicación eventual de toda la longitud de la carretera. Para este tipo de solución, se reporta 35% de reducción en todos los accidentes y 40% en los accidentes con muertos y/o heridos.

Los detalles de proyecto de los carriles para rebasar varían, sin embargo, hay bastante consenso en que es más deseable proporcionar un número de carriles de rebase relativamente cortos y frecuentes a lo largo de una carretera, en vez de secciones aisladas de carriles más largos. Para carreteras de un carril por sentido con velocidad de proyecto de 100 km/h, una longitud mínima de carril de rebase (incluyendo transiciones inicial y final) de 600 m. y una longitud máxima de 1,200 m., así como una longitud para cada transición de 250 m. (fotografías VI. 7). Asimismo, sugiere que vale la pena considerar carriles de rebase en carreteras de un carril por sentido cuando la oportunidad de rebasar ocurre en menos de 30% del tiempo. El espaciamiento óptimo también varía con las oportunidades para rebasar, lo cual se determina primordialmente por el alineamiento y el flujo vehicular. Se sugieren espaciamientos típicos del orden de 10 a 15 km. para carreteras con flujos vehiculares moderados.

Las ubicaciones adecuadas para los carriles de rebase incluyen cuellos de botella (por ejemplo, pendientes pronunciadas), sitios que presentan alta incidencia de accidentes por rebase, ubicaciones donde la construcción es de bajo costo (por ejemplo, se evitan cortes o terraplenes profundos, la ampliación de puentes, etc.) y sitios donde pueden generarse distancias de visibilidad apropiadas en las transiciones inicial y final. Deben evitarse ubicaciones, tales como sitios cercanos a pueblos, segmentos que incluyan intersecciones importantes, o segmentos con una gran cantidad de puntos de acceso.

Debe prestarse particular atención al señalamiento de los carriles para rebasar a fin de maximizar su efectividad. La colocación de señalamiento

anticipado al inicio de la sección ampliada reduce las presiones de los conductores por realizar maniobras, dado que pronto tendrán la oportunidad para rebasar. La práctica más común es inducir a todos los vehículos al carril de baja velocidad (el de la derecha), lo cual significa que los conductores deben realizar una maniobra deliberada para rebasar, en vez de que directamente se metan al carril de rebase.



FigurasVI. 7. Vista del inicio y terminación de un tercer carril de ascenso en una carretera de un carril por sentido

Al final del segmento para rebasar, los vehículos en el carril de rebase tienen la preferencia, ya que los que se encuentran en el carril de la derecha poseen mejor visibilidad de la carretera y del tránsito y de llegar a presentarse un conflicto que requiriese una maniobra evasiva a la salida, es mejor que el vehículo

de la derecha se meta en el acotamiento a que el vehículo en el carril de rebase invada el carril del sentido opuesto.

Para concluir, las operaciones de rebase están asociadas con los accidentes en carreteras por lo que los carriles para rebasar proporcionan significativos beneficios operativos y de seguridad. Su efecto específico depende de la ubicación, siendo mayor su efectividad si son instalados como parte de una estrategia para la carretera en su conjunto, en términos de los intervalos entre carriles de rebase y el número proporcionado en relación con el flujo de tránsito y el terreno.

### **Rampas de escape para camiones de carga**

Uno de los pocos tratamientos de seguridad específicamente diseñados para camiones de carga involucra la instalación de una rampa de escape que reduzca el riesgo de un camión descontrolado en una pendiente descendente.

Los siguientes factores están asociados con tales incidentes:

- La pendiente
- Error en la conducción tal como no hacer el cambio de velocidad adecuado
- Falla del equipo (de los frenos, por ejemplo)
- Inexperiencia en la conducción en montaña
- Inexperiencia en la conducción del vehículo
- Falta de familiaridad con el sitio
- Presencia de fatiga o alcohol en el conductor
- Señalamiento inadecuado en la pendiente

Hay seis tipos diferentes de diseño general para las rampas de escape destinadas a camiones de carga:

- Pila de arena
- Rampa de gravedad
- Cama de detención sobre tramo con pendiente ascendente
- Cama de detención sobre tramo horizontal
- Cama de detención sobre tramo con pendiente descendente
- Cama de detención sobre las zonas laterales

Dichos tipos funcionan cuando menos con dos de los siguientes métodos básicos de desaceleración de vehículos: por gravedad, o mediante alguna forma de material de detención que aumenta la resistencia a que giren las ruedas del camión (Fotografía VI. 8 y VI. 9).

La más exitosa de las rampas que se analizó mostró un 400% de reducción en accidentes, con una relación beneficio/costo de 10/1. Asimismo, se demuestra

que este tipo de rampas son utilizadas, lo cual en principio implica una reducción en la severidad de los accidentes.

Una técnica correlacionada se refiere al uso de señales en la cima de las pendientes descendentes, las cuales recomiendan determinada velocidad a los vehículos pesados dentro de diferentes rangos de peso bruto vehicular. Las velocidades recomendadas varían entre rampas de diferentes pendientes y longitudes. Como conclusión puede decirse que, las rampas de escape para vehículos pesados, cuando se diseñan apropiadamente, resultan efectivas para detener camiones descontrolados, no obstante el alcance de su aplicación se limita a pendientes pronunciadas largas, instalándose sólo cuando la geometría lo permite.

Estas rampas son únicamente efectivas después de que el camión se ha descontrolado. Una medida efectiva es el uso de señales en la cima de las pendientes descendentes, que recomiendan determinadas velocidades a los vehículos pesados dentro de diferentes rangos de peso bruto vehicular.



Figuras VI. 8 Detalle de una rampa de emergencia ubicada en una autopista.



Figuras VI. 9. Detalle de una rampa de emergencia ubicada en una autopista.

Se concluye que tanto en el diseño de carreteras nuevas como en la reconstrucción de carreteras existentes, debe darse particular atención a la seguridad vial como un criterio principal de proyecto. En este trabajo se ha presentado una serie de consideraciones en lo referente a la seguridad. Aunque se buscó que las consideraciones presentadas tuviesen el carácter más general posible, debe destacarse que su aplicación puede variar de un lugar a otro debido a aspectos tales como el clima, el comportamiento de los usuarios, el cumplimiento de las regulaciones, etc.

## VII. PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OBRA.

Ya que la construcción no es más que la movilización y utilización de los recursos financieros, humanos, materiales y equipo, para la realización física de los proyectos, las empresas constructoras, por lo general se especializan en categorías dentro de la construcción (ligera y pesada). En lo que respecta a la empresa "Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V." (ICA), por el tamaño de la misma, su especialización realmente esta enfocada a la construcción pesada.

La razón de esta especialización es que los métodos de construcción, capacidad de supervisión, mano de obra y equipo son muy diferentes para cada una de las categorías, esta especialización no es otra cosa que un sistema administrativo acoplado a las funciones de la empresa en relación al tipo de obras que realiza..

La administración o dirección de construcciones puede comprender la planeación, ejecución y control de operaciones de construcción para cualquiera de los tipos de construcción antes mencionados. La planeación exige determinar los métodos de financiamiento, estimar costos reales de construcción, programar el trabajo y seleccionar métodos y equipos de construcción adecuados que se vayan a utilizar. Inicialmente se hace necesario un estudio detallado de los documentos del contrato, que llega a conjuntar todos los elementos de la obra que se va a realizar y a agrupar los relacionados en un plan maestro, al cual se hace mención como punto central de este capítulo, pues este plan maestro es el sistema administrativo de una construcción que engloba la planeación y programación de obra; esto es seguido por el establecimiento de una secuencia de operaciones de construcción y se determina el tiempo de ejecución para cada elemento de la obra.

Por su parte, la empresa "Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.", a quien en lo sucesivo se denominará como (ICA), tiene su propia secuencia o metodología normalizada a sus requerimientos, en el que se han ido depurando y actualizando los métodos para cada obra, con ello se satisface el trabajo y se reducen lo más posible los costos de construcción; sin en cambio, la imagen de la empresa es verdaderamente importante, por ello, sobre los montos o utilidades, se encuentra la imagen que se tenga ante sus clientes, en donde los más importante es cumplir con las estipulaciones de los contratos que la misma obtiene y de los cuales se responsabiliza, esto habla del profesionalismo y madurez de una empresa, la cual no es tan sólo una empresa más, sino todo lo contrario, la empresa constructora más importante de México e incluso de Latinoamérica. Es importante para los profesionales de la construcción tomar como ejemplo las experiencias y las actitudes de una empresa tan importante, para poder avanzar y evolucionar profesionalmente.

Una vez planteada la metodología, ICA reconoce que no sólo el costo de construcción sino también el costo total del proyecto aumenta con la duración de la construcción, por lo que es esencial la rápida ejecución de una obra. Aún cuando en casos extremos la empresa tiene que gastar recursos extraordinarios para cumplir con los compromisos adjudicados; como ejemplo es el caso del puente Nexcapa de esta obra, en que no tan sólo se modificó el método de construcción, evolucionando el mismo, sino que también se inyectaron más recursos con el fin de cumplir con dichos compromisos.

Del mismo modo, para la ejecución de la carretera "Tejocotal-Nuevo Necaxa", se ha implementado supervisión del proyecto (por ambas partes), para asegurarse que la construcción se apegue tanto al proyecto como a las estipulaciones del contrato, así como, el establecimiento de medidas para garantizar la seguridad en el trabajo. Por otra parte, para una exitosa ejecución de la obra se requirió de instalaciones provisionales de campo, entre las que se incluyen oficinas, caminos de acceso, bancos de materiales, etc. Tal y como se explicará más adelante.

## **VII.1. Descripción general del proyecto.**

Este capítulo establece la planeación en obra (que pone en práctica y complementa la planeación del proyecto), administración y trabajos para realizar las actividades concernientes a la obra carretera en estudio ("Tejocotal-Nuevo Necaxa"):

- a) La construcción de pasos a desnivel, puentes y obras complementarias
  - Alcance: del Km 122+500 al Km 131+560, con una longitud aproximada de 9 Km del tramo Entronque Tejocotal – Entronque Nuevo Necaxa de la autopista México – Tuxpan en los Estados de Hidalgo y Puebla.
- b) La construcción de terracerías, obras de drenaje, pavimentos y obras complementarias.
  - Alcance: Alcance: del Km 122+500 al Km 131+560, con una longitud aproximada de 9 Km del tramo Entronque Tejocotal – Entronque Nuevo Necaxa de la autopista México – Tuxpan en los Estados de Hidalgo y Puebla.
- c) La construcción de pasos a desnivel, puentes y obras complementarias.
  - Alcance: del Km 131+560 al Km 139+603 (con una longitud aproximada de 8.5 Km), Entronque Nuevo Necaxa y Ramal a Huachinango del tramo Entronque Tejocotal – Entronque Nuevo Necaxa de la autopista México – Tuxpan.
- d) La construcción de terracerías, pavimentos, obras de drenaje y obras complementarias (del sub-tramo 131+560 - 139+603).
  - Alcance: del Km 131+560 al Km 139+603 (con una longitud aproximada de 8.5 Km.), Entronque Nuevo Necaxa y Ramal a Huachinango del

tramo Entronque Tejocotal – Entronque Nuevo Necaxa de la autopista México – Tuxpan.

## VII.2. Descripción de las actividades.

La ejecución del proyecto contempla la construcción de 8 estructuras, 12 pasos a desnivel (PIV's), 1 paso inferior de las tuberías de PEMEX (PIT), un paso inferior para personas y ganado (PIPG), 11 bóvedas, 8 muros de contención y obras de drenaje.

Desglose :

- P.I.V. EN TERRENOS DE CULTIVO, KM 122+535.
- P.I.V. S/N KM 122+845.
- PUENTE TEJOCOTAL KM 623+378.
- P.I.V. S/N KM 623+504.
- PUENTE TEXCAPA KM 124+064.
- P.I.V. S/N KM 625+198 (Carretera Federal).
- P.I.T. TUBERIAS DE PEMEX KM 625+220.
- P.I.V. S/N KM 126+368.
- P.I.V. S/N KM 126+810.
- P.I.V. S/N KM 127+687.
- P.I.P.G. KM 128+390.
- P.I.V. VENTA GRANDE – HUACHINANGO KM 128+764.
- P.I.V. S/N KM 129+196.
- PUENTE HUAYATLAXCO KM 129+380
- BOVEDAS DEL KM 127+068, KM 127+489, KM 128+571, KM 629+890.53 Y KM 131+179.
- TERRACERIAS, PAVIMENTOS, OBRAS DE DRENAJE Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DEL KM 122+500 AL 131+560.
- P.I.V. HUACHINANGO – TEOPATZINGO, KM 131+742.
- P.I.V. HUACHINANGO – CHICONCUAUTLA, KM 133+620.
- P.I.V. HUACHINANGO – AHUACATLAN, KM 133+940.
- PUENTE ACUNTITLA, KM 136+130.
- PUENTE ACHACUNTLA, KM 139+433.
- ENTRONQUE NVO. NECAXA, KM 139+752 (remanente extra de la obra general hasta el km 139+603).
- ENTRONQUE NVO. NECAXA I, KM 140+010.60 (remanente extra de la obra general hasta el km 139+603).
- ENTRONQUE NVO. NECAXA II, KM 140+010.60 (remanente extra de la obra general hasta el km 139+603).
- BOVEDAS DEL KM 131+946, KM 132+150, KM 132+540, KM 133+171, KM 638+180, KM 638+400.

- TERRACERIAS, PAVIMENTOS, OBRAS DE DRENAJE Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DEL KM 131+560 AL KM 139+603.

### **VII.3. Descripción de las obras.**

En las 8 estructuras denominadas Puente Texcapa, Puente Tejocotal, Puente Huayatlatxco, Puente Acuntitla, Puente Achacuntla, Entronque Nvo. Necaxa, Entronque Nvo. Necaxa I y Entronque Nvo. Necaxa II, se requiere un excelente control (atención y seguimiento), ya que en este tipo de estructuras si no se sigue la planeación tal como se especifica, es seguro que no se cumplan las metas propuestas, tanto en los tiempos de obra como en los costos; al ser estructuras complicadas se requiere bastante atención en su proceso, ya que fallas de rendimientos, materiales o incluso una mala planeación darían por consecuencia sobrecostos bastante altos y tiempos de contrato no cumplidos, que conllevarían a sanciones económicas o jurídicas en casos extremos.

Otras obras que en específico a este proyecto es necesario contemplar con mucha atención son los P.I.V.: Huauchinango-Teopatzingo, Huauchinango-Chiconcuautla y Huauchinango-Ahuacatlan, debido a la cercanía con el poblado de Huauchinango, Puebla; Ya que el tránsito en esta zona se ha contemplado desde la planeación del proyecto como de importancia y que influye en la realización y tiempos de dichas estructuras, es necesario llevar un control exhaustivo para lograr que se cumplan las fechas de cada actividad y así garantizar la terminación de la obra en tiempo y costo.

Los 12 pasos a desnivel ubicados en los cadenamientos antes indicados, son estructuras menores que dan servicio a caminos vecinales que cruzan la autopista por construir (excepto el ubicado en el km global 625+198<sup>7</sup>). Así también el paso inferior para ganado del km 128+390, pero existe un paso a desnivel, el cuarto antes mencionado, ubicado en el km 625+198 que será el más importante en su género por ser éste, el que dará continuidad a la Carretera Libre Federal México-Tulancingo-Tuxpan y que cruza la autopista por construir. Asimismo se tiene el paso inferior de tuberías de PEMEX ubicado en el km 625+220, el cual fue asignado posteriormente al inicio de los trabajos contratados, dada la necesidad de asegurar la integridad de las tuberías propiedad de PEMEX.

---

<sup>7</sup> En este punto es necesario diferenciar los cadenamientos que pertenecen al kilometraje global de la carretera y los cadenamientos propios del proyecto. Ejemplo cadenamiento 625+198 y cadenamiento 128+390 respectivamente.

## **VII.4. Ejecución del proyecto.**

### **Descripción general.**

Anterior a la presentación de la oferta de concurso, se realizaron visitas al lugar de la obra, en las cuales se ubicaron las poblaciones contiguas al proyecto para así determinar la ubicación más adecuada de las oficinas generales, los campamentos, comedor y áreas de instalación de plantas.

Concretada y ganada la licitación de obra se montaron oficinas, campamentos, plantas de concreto y demás instalaciones necesarias para la obra en los sitios escogidos estratégicamente; se tomo como mejor opción la ubicación de las oficinas generales del proyecto en el ejido la Bóveda por estar éste a tan sólo 3 km del proyecto y de las estructuras Tejocotal y Escapa, también se definió esta zona por la cercanía a Tulancingo, Hidalgo por la autopista, reduciendo así el riesgo que conlleva el transitar por la carretera federal al poblado de Huauchinango, Puebla.

Gracias a dicha planeación, las oficinas generales del proyecto se encuentran con una ubicación estratégica para que los departamentos de Ingeniería, Seguridad y Control de Proyectos, se desplacen sin problemas y seguros a las diferentes zonas del proyecto y se logren los objetivos de vigilancia de las diferentes actividades que se desarrollan en cada estructura.

Para iniciar los trabajos de construcción de estructuras y terracerías se deben de considerar los siguientes puntos:

- El tramo debe de estar liberado.
- Contar con el proyecto ejecutivo autorizado para construcción, con el fin de realizar la planeación.
- Adecuación de los caminos de acceso a las estructuras y frentes de trabajo de terracerías.
- Movimiento de equipo y vehículos, para traslado de personal.
- Instalaciones en obra (oficinas, campamentos, plantas, etc.).
- Elaboración del plan de subcontratación de actividades especializadas.

Entregado el proyecto ejecutivo autorizado, se realizan los trabajos de topografía y ubicación de las estructuras y diversos tramos y secciones de la obra carretera. Una vez concluidos estos trabajos se procede a identificar las actividades a realizar según el programa establecido para cada estructura.

La construcción de las terracerías a partir de los preoperativos, los cuales consisten principalmente en los ya mencionados y unos extras que son:

Localización del trazo de proyecto, bancos de nivel de proyecto, bancos de tiro para material producto de la excavación del corte y bancos de préstamo para utilizar como capas del terraplén, subyacente y subrasante, etc.

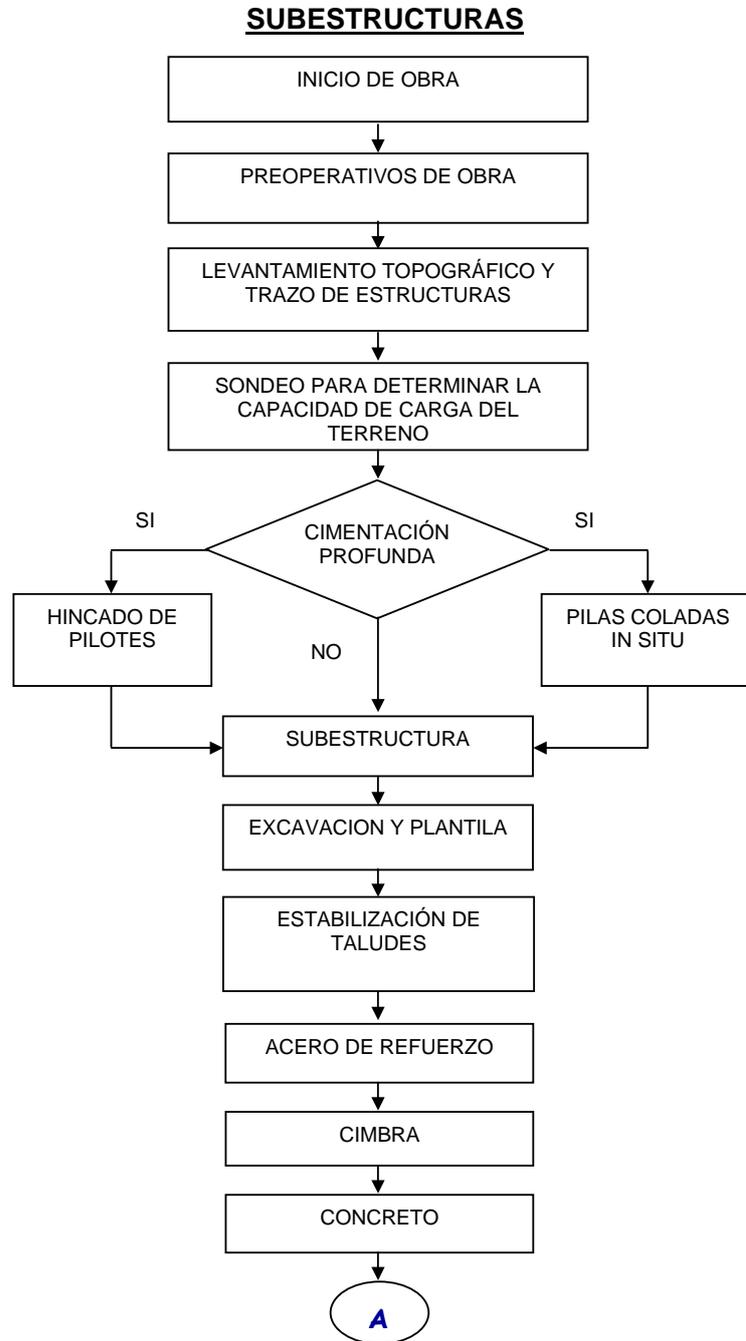


Diagrama VII.1.

## SUPERESTRUCTURAS

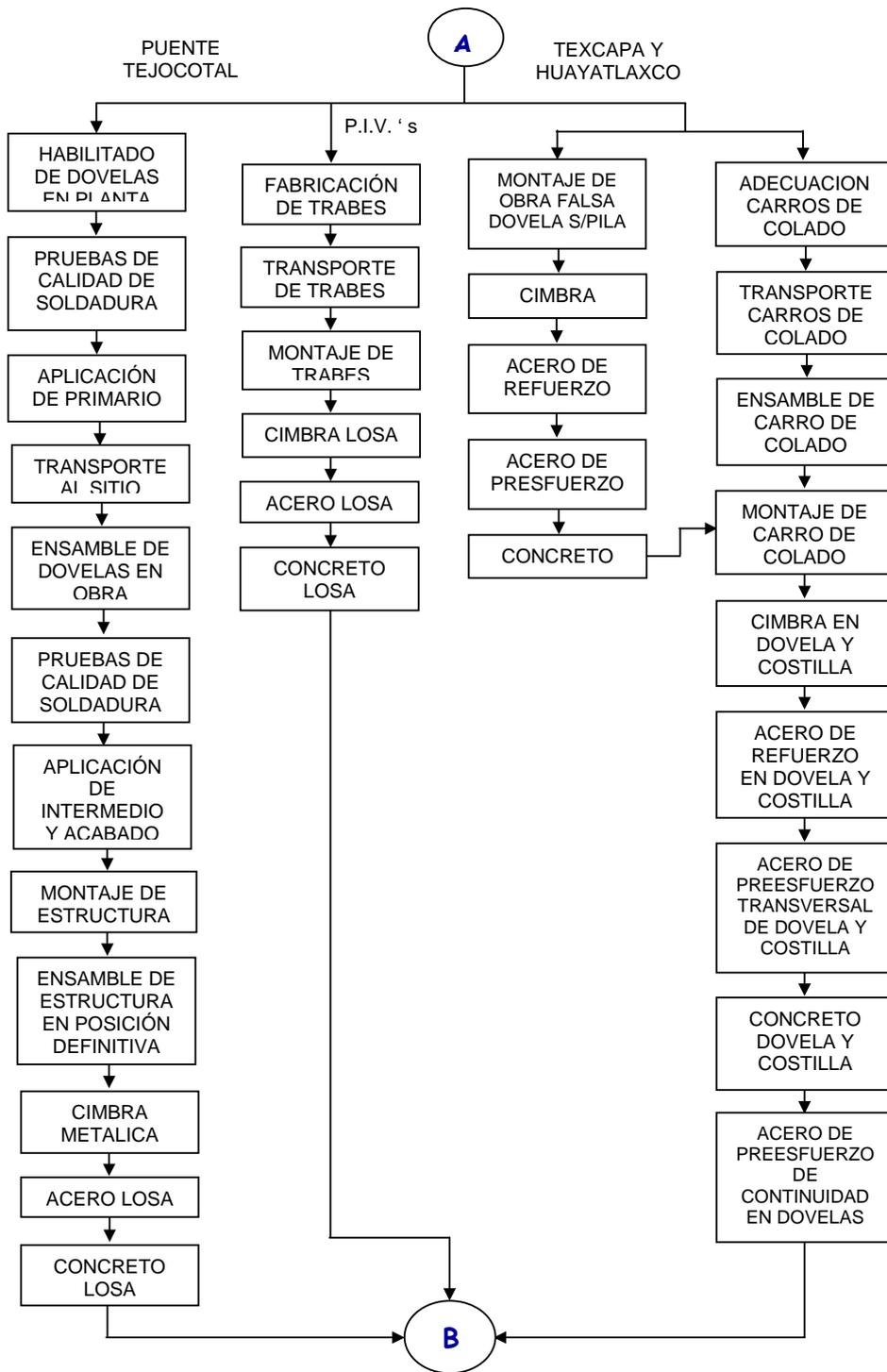


Diagrama VII.2.

## OBRAS COMPLEMENTARIAS

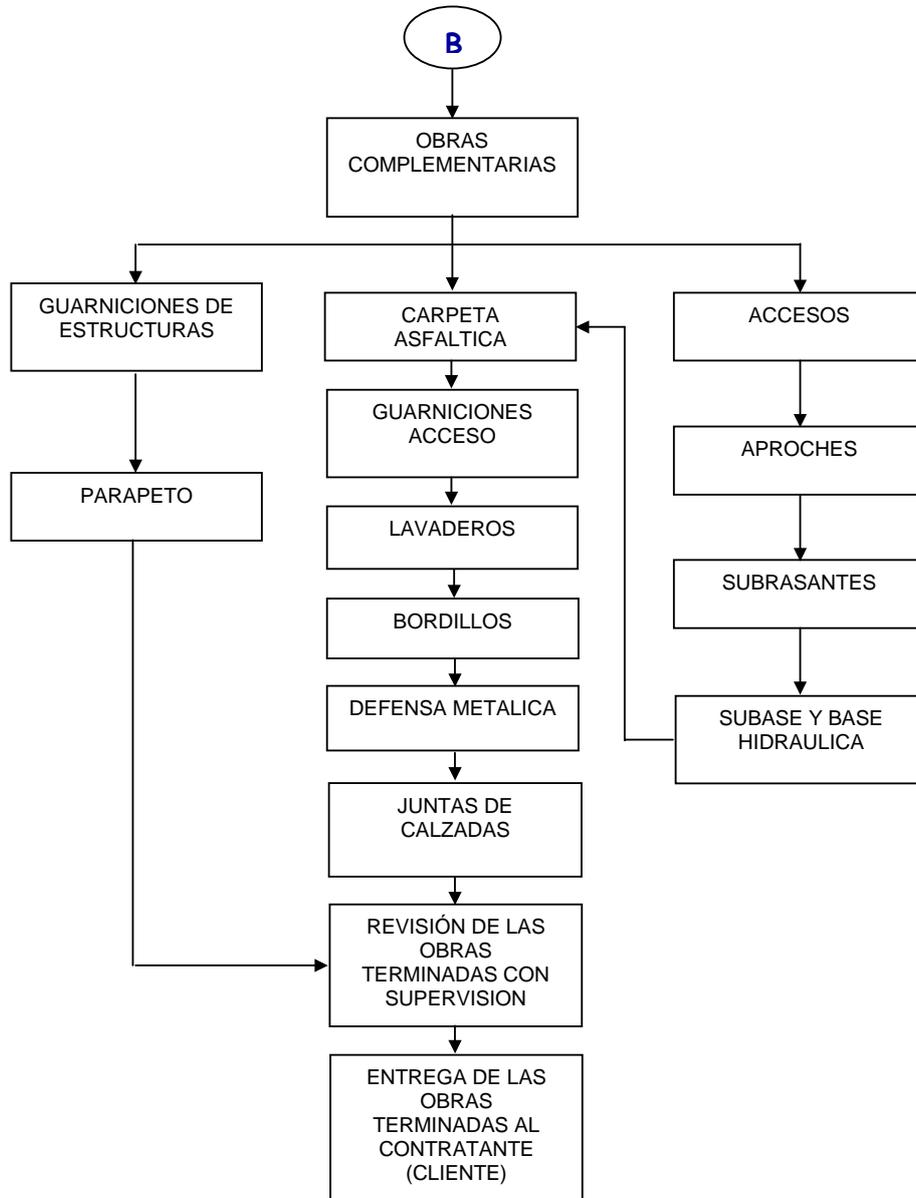


Diagrama VII.3.

Una intervención de gran importancia, es la de delinear y aconsejar los procedimientos de construcción y el equipo más adecuado en concordancia con los suelos que van a ser atacados y los materiales que se van a emplear, teniendo desde luego en cuenta las recomendaciones que se hagan, el problema topográfico, hidrológico, climático, geológico, etc.

Para ilustrar la aseveración anterior, se propone un ejemplo típico de los muchos casos que se pueden presentar de esta índole:

Supongamos un caso de construcción en montaña, esquema siguiente. La Ingeniería Experimental indica en su perfil de suelos, que se trata de hacer una excavación en materiales suaves, semiduros y en roca. Por la topografía del lugar, los terraplenes serán altos y las pendientes para llegar al fondo de la barranca lo suficientemente fuertes, para que no pueda descender o subir por ellas el equipo de construcción.

Para brindar la estabilidad del terraplén, se requiere que se de a los materiales la mayor capacidad posible.

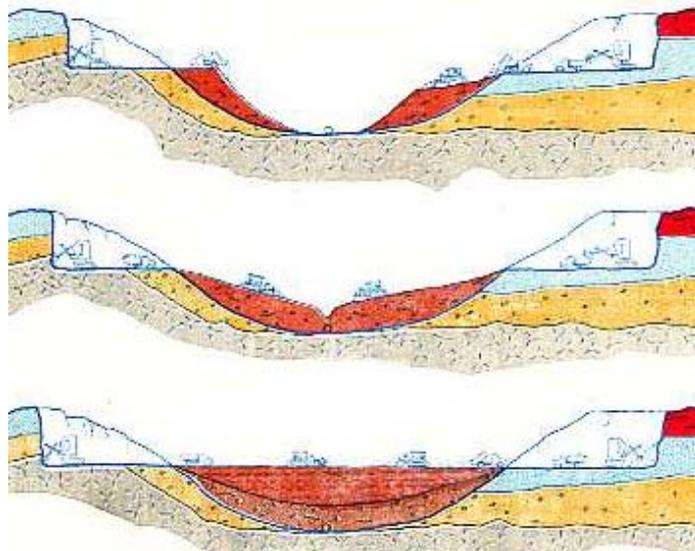


Figura VII.1.

Para conseguir esto, requiere tener por capas el material que se excave en el corte desde el fondo de la barranca, y compactarlo con el equipo especial para este objeto.

Por no ser accesible el fondo de la barranca por las laderas que quedan sobre el trazo, habría que construir brechas de construcción que llegaran abajo. Esto haría dilatada y costosa la construcción.

La Ingeniería Experimental puede definir de acuerdo con las características del material que va a formar el relleno, la resistencia que requiere el terraplén a distintas alturas para reducir a un mínimo los asentamientos o eliminarlos.

De acuerdo con esto se puede fijar el procedimiento de construcción y el equipo adecuado, así como la seguridad en obra, estos conceptos se encuentran bien definidos en lo que es la administración del trabajo (obra), la cual implementa lo establecido en la planeación de proyecto en cada uno de los procesos de la

construcción, permitiendo una planeación adecuada del manejo de recursos sean estos humanos, monetarios, materiales o de otra índole. Por lo tanto esta administración del trabajo, expresándolo de manera general hace una utilización adecuada del trabajo humano, de la energía, la economía y las habilidades científicas y técnicas, con el fin de satisfacer las necesidades presentes y futuras.

Respecto a la constructora de la obra en cuestión, refiriéndonos en específico a la empresa (ICA), después de la etapa de licitación y asignación de contrato, la empresa funge como representante del propietario respecto a la realización de la obra, entregando reportes económicos y avances, así como dejando fianzas por contrato al cliente o propietario, en cumplimiento de su labor y sus acuerdos. Por ello es fundamental tener una buena planeación de proyecto, una mejor planeación de obra y una excelente administración del trabajo.

Todo esto nos lleva a hacer planificaciones en específico por cada sección u elemento de importancia de la obra, como son las terracerías o las estructuras importantes por su magnitud (los puentes), tal como se presenta en el esquema siguiente:

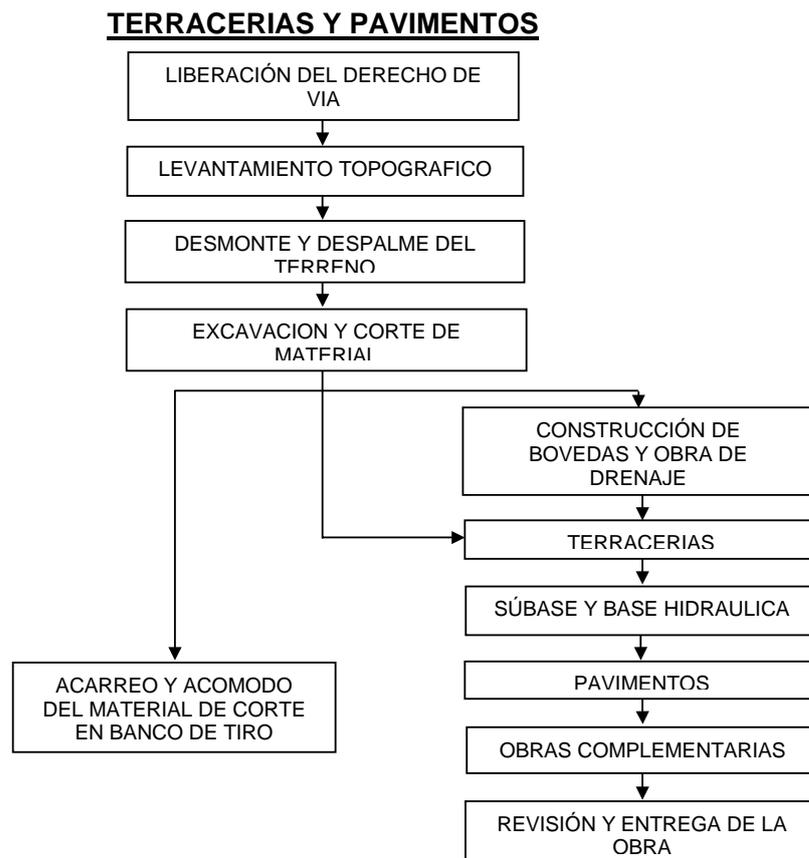


Diagrama VII.4.

Tal y como se mencionó anteriormente el alcance de los servicios se define en las condiciones del contrato. Generalmente esta fase del trabajo comprende representación limitada o cláusulas en el lugar de la construcción, por parte de la empresa contratada para realizar los trabajos. La inspección y consulta periódica durante la construcción son normalmente parte de las obligaciones bajo el contrato. Estas labores comprenden visitas periódicas al lugar de la construcción por parte del contratante, la distribución de planos y dibujos, o cualquier otro recurso para la aclaración de dudas por parte del contratado, comprobaciones de catálogos de volúmenes de materiales, de equipos y de planos del gabinete de proyectos, en apego a los documentos del contrato.

Debido al crecimiento, complejidad y las espirales inflacionarias de los costos de construcción, los servicios para administrar la construcción han evolucionado, e ICA no es la excepción a dicha evolución, por tanto los servicios de un constructor y administrador de obra pueden ser variados; para el caso de la empresa que realiza la obra en estudio los servicios por concepto de administración de la construcción en base a lo estipulado en contrato incluye: La revisión y análisis del programa base, la revisión y evaluación del proyecto, la programación, el escrutinio y adecuación al presupuesto de las cotas y los volúmenes reales de obra, la estimación de los costos, la evaluación e implementación de la ingeniería, la selección de subcontratistas (si los documentos de los contratos lo permiten), la evaluación de las ofertas de los subcontratistas; estas actividades previas al inicio de la obra. Las siguientes actividades inherentes siguen el proceso de la construcción y son: la inspección detallada de la construcción, englobando en el control y calidad de obra, la coordinación de tareas de las distintas áreas de la construcción, implementación de reportes en tiempo, costo y calidad, la coordinación y evaluación de las empresas subcontratadas, el control de los costos erogados y por erogar y en general la administración del proyecto.

Al realizar la administración de esta manera, la empresa ICA, asegura al propietario de la obra el control global y presupuestal del proyecto.

## **VII.5. Métodos y normas corporativas.**

Garantizar una operación eficiente, requiere que una compañía normalice sus sistemas y métodos. Esto no significa que una vez que se ha establecido un procedimiento sea inviolable; el procedimiento esta sujeto a mejoras y refinamientos. Pero, dentro de lo razonable, es necesario seguir los procedimientos normalizados en los proyectos de una misma índole, por esta razón ICA constantemente implementa nuevas normas, métodos y especificaciones en cada una de sus obras, teniendo como resultado procedimientos específicos para cada tipo de obra que la misma ha realizado. En ICA están consientes que sin esta normalización, el resultado es la pérdida de tiempo; gracias a ello la empresa es capaz de operar de manera eficiente dentro de los presupuestos disponibles. ICA asigna un número o código que identifica a

cada proyecto, incluyendo el año durante el cual se inicio el proyecto; este es el punto de partida para la realización del proyecto.

Como la teoría y experiencia lo dicta, para esta obra se estableció en principio un procedimiento típico para indicar como se debe de realizar el trabajo, lo que se denomina como "Plan Maestro", esto incluye establecer un procedimiento para la comprobación de los cálculos y un sistema que indique la forma de preparar y aprobar el proyecto.

Independientemente de cual sea el procedimiento interno que cada empresa establezca e implemente, el objetivo último es el mismo: operar de manera eficiente y económica.

Puesto que muchas especificaciones son parecidas entre sí tanto en lo general como en lo técnico, la normalización de las mismas es muy útil. Esto no significa necesariamente que la empresa deba preparar especificaciones etiquetadas que sean intercambiables en todos los proyectos. Cada proyecto tiene diferentes requerimientos; pero las diversas secciones de las especificaciones se preparan de una manera congruente con todos los proyectos; por ejemplo obras de construcción de vivienda tendrán sus propias normalizaciones, mientras que las obras carreteras tienen las propias; no obstante muchas especificaciones son, en esencia, las mismas en muchos casos, por ejemplo aquellas que se refieren a la calidad del material en general o en un área geográfica en específico.

Para propósitos de simplificación, ICA adopta especificaciones generales preparadas por asociaciones técnicas particulares como por ejemplo el caso del concreto estructural. Según estas especificaciones, el diseñador incluye los requisitos para un proyecto específico, pero de tal manera que elimine la necesidad, calcular, experimentar y escribir de nuevo las secciones de especificación que son, sustancialmente, las mismas en todos los proyectos.

A manera de ejemplificar lo anterior se considera el plan maestro, sin embargo, sólo se describirá a grandes rasgos toda la metodología seguida en esta obra, pues de no hacerlo de esta manera, el propósito de este trabajo de investigación se desvirtuaría por lo engorroso de la cantidad de datos que hay en una obra de tal magnitud, como: presupuestos, análisis y corridas financieras, arreglos legales, contratos y subcontratos, proveedores, planes con proveedores, planes de financiamiento, planes de erogación de gastos, controles de obra, etc., etc.

### DIAGRAMA DE PLANEACION GENERAL

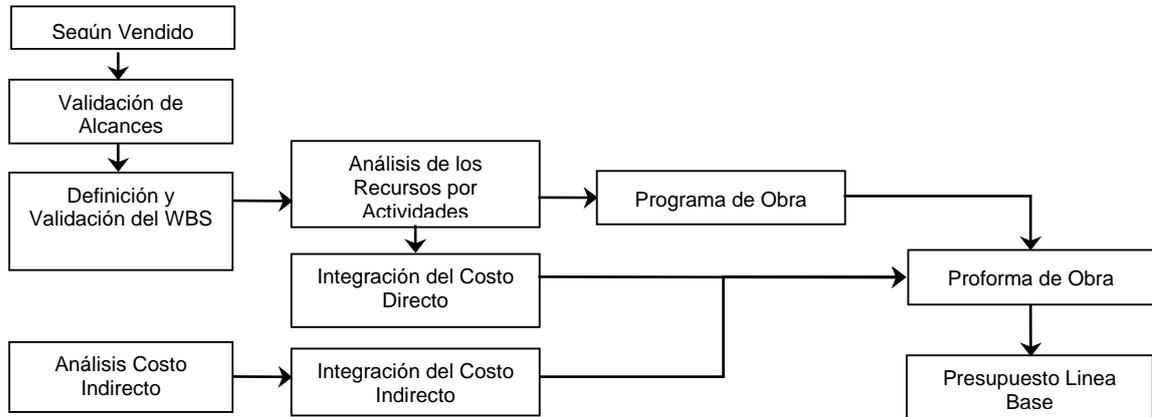


Diagrama VII.5.

ICA realiza revisiones a los conceptos en los que se basa el diseño y calculo del proyecto, estos conceptos son fundamentales para hacer una planificación correcta y adecuada para la construcción, ya que si estos conceptos no se considerarán, la realización de la obra y los cumplimientos de contrato estarían en riesgo. Los conceptos de los que se hablan en este apartado son conceptos generales del proyecto como son: clima, topografía, estudios hidrológicos, estudios de impacto ambiental, ubicación de poblaciones aledañas a la obra, obras extraordinarias, revisión de posibles afectaciones y peticiones por parte del municipio, etc.

### CONTROL DE PROYECTO

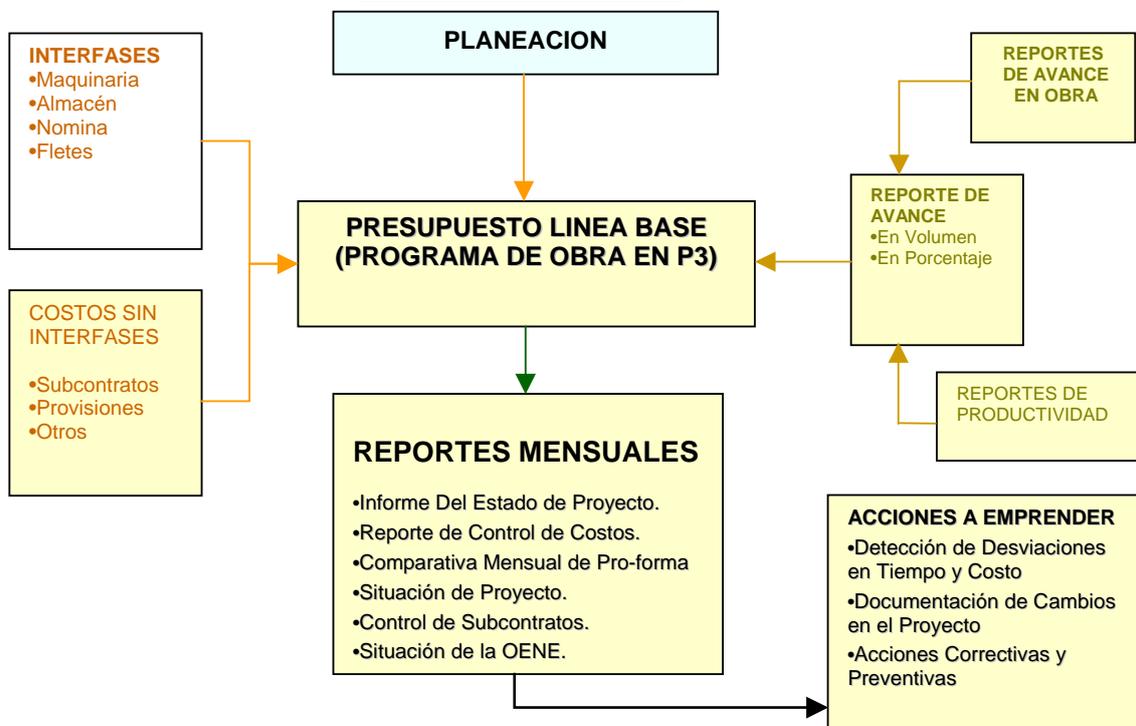


Diagrama VII.6.

## DESARROLLO Y ALCANCES DE LA PLANEACIÓN GENERAL

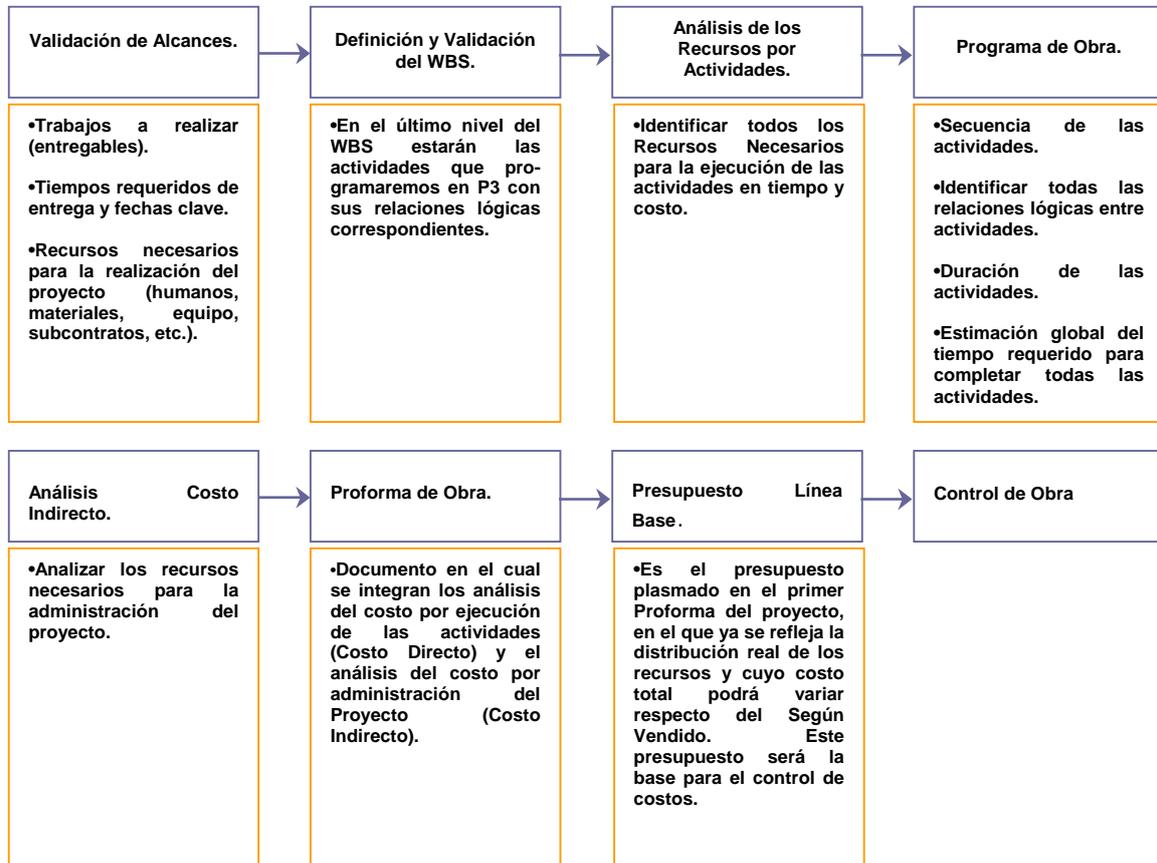
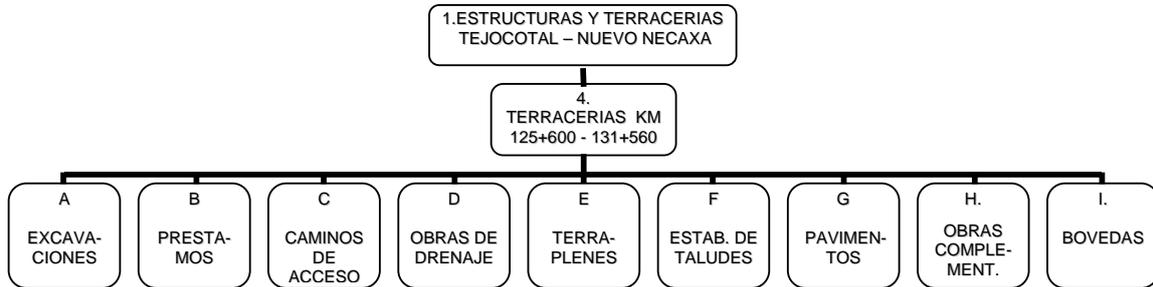


Diagrama VII.7.

A continuación se dan ejemplos prácticos de las etapas de la planeación general, como la empresa ICA los desarrolla en campo para la obra en cuestión. Gracias a estos ejemplos se puede completar el tema de planeación y programación de obra; no es necesario poner todos los rubros de la construcción porque se haría engorroso el trabajo de investigación y del mismo modo la forma de presentarlo, tal y como se mencionó con anterioridad; cabe mencionar, para no hacer parecer incompleta la información, que el manejo de cada etapa y proceso de la obra se manejan de la misma manera que como se presentan los ejemplos siguientes, sin embargo lo importante es dar a conocer el proceso de manera general y retomando los puntos más importantes, los cuales se pueden utilizar en todas las obras de ingeniería, tomando en cuenta el ajuste para cada obra, ya que ninguna obra es igual a otra, aunque pertenezcan al mismo tipo de construcción.

## WBS



## ANÁLISIS DE RECURSOS POR ACTIVIDAD

Recurso	Cantidad	Costo Unitario	Importe
MN001A SOBRESTANTE DE TERRACERIAS	12.00 TNO	\$1,200.00	\$14,400.00
MN01PG03 VELADOR	24.00 TNO	\$225.00	\$5,400.00
MN099 CABO DE OFICIOS	24.00 TNO	\$731.13	\$17,547.12
MN105 AYUDANTE GENERAL	24.00 TNO	\$215.08	\$5,161.92
MQ132 O PIPA P-AGUA/CAM DINA 8000LTS	12.00 DIA	\$1,119.00	\$13,428.00
MQ250 R MOTOCONFORMADORA CAT 120 H	96.00 HR	\$699.98	\$67,198.08
MQ260 O COMPACTADOR MIXTO CAT CS563C	96.00 HR	\$584.26	\$56,088.96
MQ934a O BOMB.CENT.ELEC. BARNES 40MU154	12.00 DIA	\$75.46	\$905.52

## INTEGRACIÓN DE COSTO DIRECTO

Cuenta	Costo Directo	Mano de Obra	Materiales	Maquinaria	Fletes	Subcontratos	Amortizaciones
<b>Excavaciones</b>							
141R1A	\$15,212,970.24	\$574,188.27	\$639,576.00	\$8,241,920.97	\$5,757,285.00	\$0.00	\$0.00
<b>Prestamos</b>							
141R1B	\$25,283,603.22	\$662,096.47	\$1,846,263.74	\$5,456,361.76	\$17,318,881.25	\$0.00	\$0.00
<b>Caminos de Acceso</b>							
141R1C	\$2,017,589.96	\$17,589.96	\$0.00	\$0.00	\$2,000,000.00	\$0.00	\$0.00
<b>Obras de Drenaje</b>							
141R1D	\$7,573,944.78	\$2,067,620.15	\$4,723,791.63	\$600,027.05	\$182,505.95	\$0.00	\$0.00
<b>Formación de Terraplenes</b>							
141R1E	\$5,591,017.00	\$624,197.89	\$0.00	\$4,966,819.11	\$0.00	\$0.00	\$0.00
<b>Estabilización de Taludes</b>							
141R1F	\$775,226.92	\$101,205.72	\$65,742.20	\$0.00	\$0.00	\$608,279.00	\$0.00
<b>Pavimentación</b>							
141R1G	\$22,187,010.50	\$625,399.11	\$8,808,429.73	\$3,653,568.54	\$9,099,613.12	\$0.00	\$0.00
<b>Obras Complementarias</b>							
141R1H	\$7,052,397.40	\$661,487.49	\$1,705,673.20	\$710,000.41	\$682,905.60	\$3,292,330.70	\$0.00
<b>Bovedas</b>							
141R1I	\$3,178,930.80	\$765,955.80	\$1,267,642.00	\$1,033,443.00	\$0.00	\$111,890.00	\$0.00
<b>Bordos en Bancos de Desperdicio</b>							
141R1J							
<b>Geotextil</b>							

## PROGRAMA DE OBRA

INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V. Hoja 1 de 4		OBRA O301TN TEJOCOTAL - NUEVO NECAXA PROGRAMA DE OBRA						J001CV-PE-Rev04-A12 Fecha: 01/MARZO/2004	
Clave de Actividad	Descripción de Actividad	OXE	UNI	% Comp	Dur Orig	Inicio Temprano	Final Temprano	2004	
<b>TEJOCOTAL-NVO NECAXA(TERRACERIAS)</b>								2005	
Total		5,875,094.5		0	455	19MAR04	31AGO05	D I C E N F E B M A A B M A J U J U L A G S E O C T N O D I C E N F E B M A A B M A J U J U L A G S E O C T N O D I C E N F	
<b>Frente 4 (Km 125+600 - Km 127+687)</b>									
Subtotal		1,880,440.7		0	311	19MAR04	16MAR05		
<b>Caminos de Acceso</b>									
F4CA01	CAMINOS DE ACCESO	8.4C	km	0	299	19MAR04	02MAR05		
<b>Excavaciones</b>									
F4EX01	DESMONTE	11.3C	ha	0	149	01ABR04	21SEP04		
F4EX02	DESPALME	17,041.0C	m3	0	151	03ABR04	25SEP04		
<b>Excavaciones en Corte</b>									
F4EC01	DEL KM 125+900 AL KM 126+180	108,507.0C	m3	0	49	12JUL04	06SEP04		
F4EC02	DEL KM 126+260 AL KM 126+460	31,740.0C	m3	0	15	07SEP04	23SEP04		
F4EC03	DEL KM 126+638 AL KM 127+040	179,414.0C	m3	0	84	05ABR04	10JUL04		
F4EC04	DEL KM 127+093 AL KM 127+400	289,347.0C	m3	0	134	24SEP04	26FEB05		
<b>Caja Para Desplante de Terraplenes</b>									
F4CD01	CAJA PARA DESPLANTE DE TERRAPLENES	60,945.0C	m3	0	104	13MAY04	10SEP04		
<b>Obras de Drenaje</b>									
F4OD01	KM 125+860. 2 TUBOS DE 1.20M DE Ø	1.0C	pza	0	17	01JUN04	19JUN04		
F4OD02	KM 126+210. TUBO DE 0.90M DE Ø	1.0C	pza	0	17	20ENE05	08FEB05		
F4OD03	KM 126+600. TUBO DE 1.05M DE Ø	1.0C	pza	0	17	04MAY04	22MAY04		
<b>Bovedas de Concreto Armado</b>									
F4BV01	KM 127+068 DE 4.00 X 2.00 M	1.0C	pza	0	64	04MAY04	16JUL04		
F4BV02	KM 127+488 DE 4.00 X 2.00 M	1.0C	pza	0	66	15JUN04	30AGO04		
<b>Prestamo de Banco</b>									
F4PB01	PRESTAMO DE BANCO	596,711.0C	m3	0	257	13MAY04	08MAR05		
<b>Pedraplen</b>									
F4PD01	PEDRAPLEN	60,611.0C	m3	0	104	13MAY04	10SEP04		
<b>Formacion de Terraplenes 90%</b>									
F4T901	DEL KM 125+620 AL KM 125+920	50,016.0C	m3	0	23	21JUN04	16JUL04		
F4T902	DEL KM 126+160 AL KM 126+260	34,045.0C	m3	0	16	09FEB05	26FEB05		
F4T903	DEL KM 126+460 AL KM 126+640	51,054.0C	m3	0	24	24MAY04	19JUN04		
F4T904	DEL KM 127+040 AL KM 127+093	10,246.0C	m3	0	6	17JUL04	23JUL04		
F4T905	DEL KM 127+380 AL KM 127+640	363,791.0C	m3	0	171	24JUL04	08FEB05		
<b>Formacion de Terraplenes 95%</b>									
F4T951	FORMACION Y COMPACTACION AL 95%	16,875.0C	m3	0	14	28FEB05	15MAR05		
<b>Formacion de Terraplenes 100%</b>									
F4T100	FORMACION Y COMPACTACION AL 100%	10,073.0C	m3	0	11	04MAR05	16MAR05		

## COMPARATIVA REAL VS PROFORMA

INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V. Hoja 1 de 6		OBRA 0301TN TEJOCOTAL - NUEVO NECAXA PROGRAMA DE OBRA							J001CV-PE-Rev04-A12 Fecha: 01/MARZO/2004										
Clave de Actividad	Descripción de Actividad	OXE	UNI	% Comp	Dur Orig	Inicio Temprano	Final Temprano	2005											
								MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
<b>Terracerias 2</b>																			
Total		1,645,364.0		100	174	01JUL05R													
<b>Frente 4 (Km 125+600 - Km 127+687)</b>																			
Subtotal		32,456.0		100	56	01JUL05R	03SEP05R												
<b>Prestamo de Banco</b>																			
4	Prestamo de Banco	11,411.0	M³	100	12	01JUL05R	01SEP05R												
<b>Geotextil</b>																			
9	DEL KM 126+638 AL KM 127+04C	5,256.0	M²	100	6	05JUL05R	22AGO05R												
10	DEL KM 127+093 AL KM 127+40C	4,378.0	M²	100	5	12JUL05R	24AGO05R												
<b>Formacion de Terraplenes</b>																			
6	Formacion y Compactacion al 95%	4,880.0	M³	100	13	01JUL05R	01SEP05R												
7	Formacion y Compactacion al 100%	6,531.0	M³	100	10	06JUL05R	03SEP05R												
<b>Frente 5 (Km 127+687 - Km 129+275)</b>																			
Subtotal		352,644.0		100	93	01JUL05R	19OCT05R												
<b>Obras de Drenaje</b>																			
13	KM 129+018, TUBO DE 1.50M DE Ø	1.00	OBRA	100	22	01JUL05R	26JUL05R												
<b>Prestamo de Banco</b>																			
17	Prestamo de Banco	162,274.0	M³	100	36	01JUL05R	03OCT05R												
<b>Mejoramiento en Desplante de Terraplenes</b>																			
15	GEOTEXTIL KM 129+000 AL KM 129+06C	5,400.0	M²	100	3	27JUL05R	03AGO05R												
16	TEZONTLE KM 129+000 AL KM 129+06C	1,400.0	M³	100	3	27JUL05R	03AGO05R												
<b>Geotextil</b>																			
27	DEL KM 127+640 AL KM 127+76C	1,878.0	M²	100	2	03AGO05R	06AGO05R												
28	DEL KM 127+889 AL KM 128+52C	8,460.0	M²	100	3	06AGO05R	10AGO05R												

En la realización de esta obra ICA llevó a cabo la revisión de los conceptos generales, obteniendo con ello la pauta para planificar su obra y llevarla a buen fin en costo y tiempo. De los conceptos más importantes en dicho proyecto contamos con lo siguiente como generalidades:

- Zona de altas precipitaciones pluviales con más de 3, 500 mm. anuales.
- Estudio de las estadísticas de lluvia de los últimos 6 años, tomando como base los datos de la compañía de LFC.
- Condiciones físicas del material iguales a la de los primeros 3.1 Km.
- Características a los accesos a los cortes, bancos de tiro y bancos de préstamo con condiciones similares al tramo anterior.
- Elaboración del manifiesto de impacto ambiental (MIA) para la construcción de caminos fuera del derecho de vía, en especial para el puente Huayatlaxco.
- Conservación permanente durante toda la obra de los caminos de acceso.
- Los rendimientos de los equipos se tomaron en función de las estadísticas climatológicas.
- Los bancos de desperdicio no deben de ubicarse a una distancia mayor a 2 Km.
- Los frentes de trabajo se ubicaron de acuerdo a los accesos y caminos de penetración, balanceando los volúmenes a excavar.
- En los 6 Km. subsecuentes la actividad de formación de terraplén trae consigo conceptos nuevos como son la construcción de bóvedas de concreto armado y la construcción de tuberías de concreto.
- Con la finalidad de agilizar la construcción de bóvedas y tuberías se estudian cambios a los diseños originales como lo son elementos prefabricados y tuberías de polietileno.

Otros conceptos a considerar son las obras extraordinarias, en este caso los caminos de acceso que se realizaron para poder realizar la obra, en este caso se considera como obra de importancia por la cantidad de Km. de caminos realizados, lo cual generó un costo adicional al proyecto, con un monto significativo. A continuación se proporcionan los datos más importantes de la obra extraordinaria:

### Obras extraordinarias (Caminos de acceso):

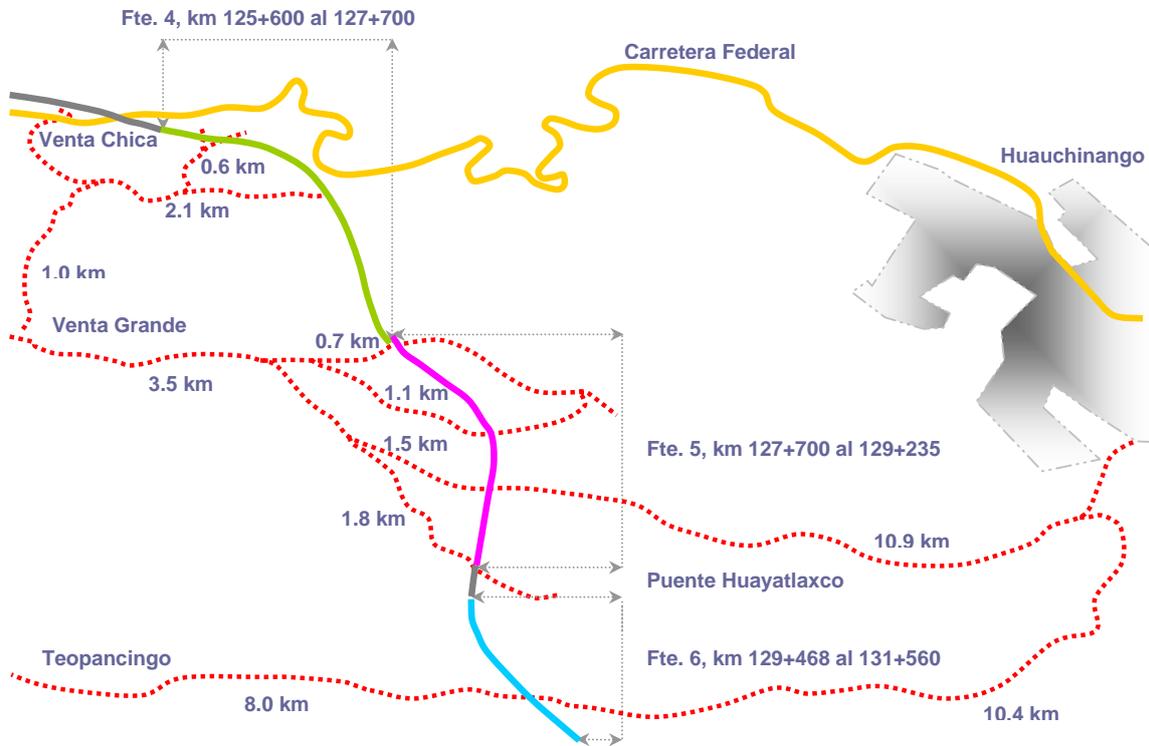
#### PRINCIPALES VOLUMENES

CONCEPTO	CANTIDAD
LONGITUD TOTAL	31.2 Km.
MATERIAL REVESTIMIENTO DE	151,000 m3
DISTANCIA ACARREO DE	23 Km.
GEOTEXTIL	90,900 m2

#### RIESGOS DE CONSTRUCCION.

DESCRIPCIÓN	MITIGACIÓN
Inconformidad de usuarios y vecinos	Se han tenido recorridos y reuniones con el Presidente Municipal y el Secretario de Obras Publicas de Huauchinango para contar con su apoyo en cuanto al control de la gente.
Daño frecuente de los caminos revestidos por terreno natural saturado	Utilización de geotextil que aumenta la capacidad de soporte del camino revestido.
Daño a la infraestructura de servicios en las comunidades por espacios reducidos	Acuerdos con propietarios para ampliaciones de caminos.
MIA para la construcción de caminos nuevos fuera del derecho de vía	Elaborar el MIA con anticipación ya que su liberación tarda de 4 a 5 meses según la experiencia que tenemos en los primeros 3.1 km
Numerosos viveros en la zona, que utilizan los caminos de acceso a la obra	Platicas con los productores de flores indicándoles horario de trabajo políticas de la empresa con el medio ambiente y plan de trabajo con los caminos de acceso

### Mapa de caminos de acceso.

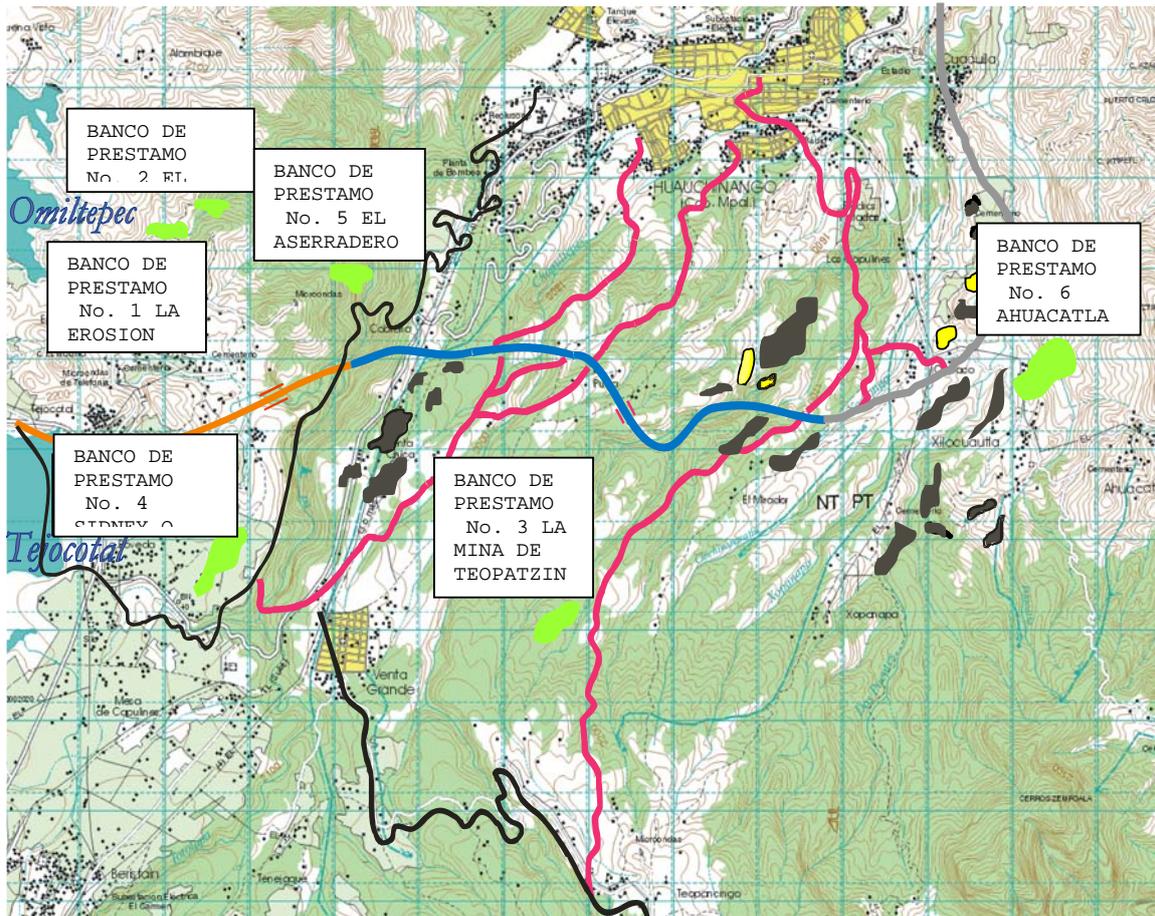


Otros conceptos a contemplar para esta tesis son los propios de las obras carreteras, sin introducirse exhaustivamente en lo que en sí son estructuras como los puentes, que más que al concepto de este trabajo, pertenecen más bien al área estructural de Ingeniería Civil, lo cual no es tema del trabajo de estudio. Sin embargo, para realizar dichas estructuras es necesario los trabajos de excavación y movimiento de tierras, por ello se hace mención de los conceptos generales que influyeron en primer instancia en la realización de esta obra carretera, como es el caso de la excavación y la conformación de los terraplenes, para el caso de estudio relacionado.

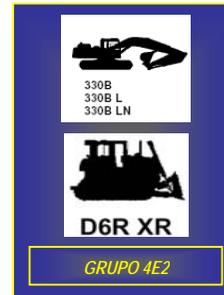
### Excavaciones.

DESCRIPCION	MITIGACION
Liberación de bancos de desperdicio por parte de SEMARNAT.	Entregar al FAPGC los bancos de desperdicio a utilizar, tomando como base los trámites de los primeros 3.1 km. y los acuerdos con los propietarios hechos en este primer tramo.
Obras Inducidas en los caminos vecinales que cruzan el trazo.	Informar de forma inmediata el cliente para su repercusión en tiempo y costo.
Problemas de tipo ambiental por el tipo de vegetación y topografía de la zona.	Ya que el resolutivo de impacto ambiental prohíbe el tiro de material en bosque mesófilo y en cañadas, debemos tratar de apegarnos a los bancos de desperdicio recomendados por el cliente.

**Plan de ataque para las excavaciones y acarreo a bancos, contemplando mano de obra y maquinaria:**



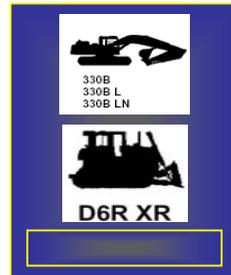
Programación de obra y recursos, para las obras de excavación.



**GRUPOS DE TRABAJO "FENTE 4"**

**EXCAVACIONES**

"FRENTE 4"	U	2004										2005	
		MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
N° DE GRUPOS		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
REND/GRUPO	m3/tno	1,033	1,416	1,132	1,014	1,014	1,000	537	728	957	1,160	1,416	1,416
REND/TOTAL	m3/tno	1,033	2,832	3,396	3,042	3,042	3,000	1,611	2,184	2,871	3,480	4,248	4,248
DÍAS HABILES	días	6	21	25	24	25	24	24	23	24	21	23	4
VOLUMEN EJECUTADO	m3	6,198	59,472	84,900	73,008	76,050	72,000	38,664	50,232	68,904	73,080	97,704	17,842
VOLUMEN ACUMULADO	m3	6,198	65,670	150,570	223,578	299,628	371,628	410,292	460,524	529,428	602,508	700,212	718,054
EXCAVADORA 330BL		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TRACTOR D6H		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3



GRUPOS DE TRABAJO "FRENTE 5"

EXCAVACIONES

"FRENTE 5"	U	2004										2005				
		MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
N° DE GRUPOS		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
REND/GRUPO	m3/tno	1,033	1,416	1,132	1,014	1,014	1,000	537	728	957	1,160	1,416	1,416	1,033	1,416	1,132
REND/TOTAL	m3/tno	1,033	2,832	3,396	3,042	3,042	3,000	1,611	2,184	2,871	3,480	4,248	4,248	3,099	4,248	3,396
DIAS HABLES	días	6	21	25	24	25	24	24	23	24	21	23	22	25	23	18
VOLUMEN EJECUTADO	m3	6,198	59,472	84,900	73,008	76,050	72,000	38,664	50,232	68,904	73,080	97,704	93,456	77,475	97,704	61,153
VOLUMEN ACUMULADO	m3	6,198	65,670	150,570	223,578	299,628	371,628	410,292	460,524	529,428	602,508	700,212	793,668	871,143	968,847	1,030,000
EXCAVADORA 330BL		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TRACTOR D6H		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3



**GRUPOS DE TRABAJO "FRENTE 6"**

**EXCAVACIONES**

"FRENTE 6"	U	2004								2005			
		MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
N° DE GRUPOS		2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
REND/GRUPO	m3/tno	1,132	1,014	1,014	1,000	537	728	957	1,160	1,416	1,416	1,033	1,416
REND/TOTAL	m3/tno	2,264	3,042	3,042	3,000	1,611	2,184	2,871	3,480	4,248	4,248	3,099	4,248
DIAS HABILES	dias	25	24	25	24	24	23	24	21	23	22	25	23
VOLUMEN EJECUTADO	m3	56,600	73,008	76,050	72,000	38,664	50,232	68,904	73,080	97,704	93,456	77,475	97,704
VOLUMEN ACUMULADO	m3	56,600	129,608	205,658	277,658	316,322	366,554	435,458	508,538	606,242	699,698	777,173	874,877
EXCAVADORA 330BL		2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TRACTOR D6H		2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

## **VII.6. Control de calidad.**

La calidad del producto de una empresa debe ser preocupación continua de todo el personal. El logro de la calidad requiere de prácticas correctas, en especial el cumplimiento de códigos, normas y reglamentos legales.

Una vez aceptado un proyecto se ha de llevar a cabo el trabajo, independientemente de cuales sean el costo y el tiempo. Aún así, la empresa debe de operar dentro de un presupuesto, para que el diseño pueda realizarse de manera eficaz. La empresa tampoco debe de ir hasta el extremo de establecer un control tal que el costo llegue a ser más importante que el producto.

En el caso específico de la empresa de nuestro interés, el Gerente del Proyecto y los titulares de las áreas integran un comité propio del proyecto, para el control de calidad, seguridad y medio ambiente del proyecto a realizarse, el cual sesiona semanalmente o cuando los trabajos así lo requieran, en donde se hacen compromisos y se establece el seguimiento de los mismos mediante las minutas correspondientes.

Por su parte y como parte de los compromisos del comité antes mencionado, los titulares de área, responsables de frentes, el titular del laboratorio, almacén y el personal asignado, verifican que se lleve a cabo las inspecciones y pruebas a materiales y pruebas indicadas en el proyecto, así como la calidad de que la mano de obra tiene en los trabajos realizados, teniendo suficiente cuidado de que se generen, archiven y clasifiquen los archivos correspondientes, como soporte del cumplimiento a lo requerido por el proyecto. Los titulares de área ante cualquier cambio en el alcance de los trabajos, verifican que se actualice el plan de inspección y pruebas y que se difundan los cambios al personal involucrado, así como generar la información necesaria para tramitar el cobro de los trabajos adicionales y las referencias de los mismos para dar a conocer al cliente que los cambios requeridos se llevaron a cabo correcta y satisfactoriamente.

De acuerdo a la planeación del proyecto y siendo un aspecto como punto importante en la construcción las pruebas de laboratorio (experimentación), se realizan las inspecciones y pruebas durante los procesos, conforme a las especificaciones y referencias técnicas. Estos registros se entregan al cliente durante o al final del proceso como parte de lo estipulado en contrato, los registros entregados durante la realización de los trabajos, son para que se revisen y autoricen dichas pruebas, mientras que todo el paquete que se entrega al final de la obra, quedan como antecedentes para futuras dudas o aclaraciones.

Con base en el programa de obra detallado y a los recursos disponibles, cada titular de área y el Gerente de Proyecto, planean y toman acciones preventivas correspondientes a sus actividades y procesos asignados tanto en el proyecto como los estipulados en la bitácora de calidad, seguridad y medio ambiente.

Cuando se detectan desviaciones en el cumplimiento de los objetivos y metas, se establecen acciones preventivas para lograrlos en el periodo definido, analizando y actuando para registrar y corregir las causas identificadas.

Ante observaciones y/o sugerencias anotadas por Directores o Gerentes en la bitácora de aseguramiento de calidad, seguridad y medio ambiente del proyecto, el representante del sistema de gestión de seguimiento de su cumplimiento y en caso de incumplimiento procede a llenar el reporte preventivo o reporte de acciones correctivas y preventivas, según proceda y las envía al Gerente del Proyecto, para así trabajar en la prevención o corrección según sea el caso.

Cualquier persona que detecte algún incumplimiento contractual, normativo y legal al sistema de gestión de la empresa como faltas sistemáticas a los acuerdos anotados derivados de recorridos o inspecciones de calidad, seguridad laboral y medio ambiente, almacén, instalaciones, actos o actividades inseguras, emergencias de seguridad y contingencias ambientales, pueden emitir un reporte de no-conformidad previa revisión del representante del SIGE (Sistema de Gestión en el Proyecto).

El control y seguimiento del proceso de acciones inmediatas, investigación y agrupación de las causas raíz de reporte de no-conformidad, definición, aplicación y acciones correctivas, así como de establecer su efectividad, se llevan en la bitácora de no-conformidades a resguardo del área de control de documentos del proyecto.

#### **VII.7. Cierre de proyecto.**

Para la gestión del cierre del proyecto, se establece un programa de seguimiento a los compromisos establecidos con el cliente y las dependencias (IMSS, STPS; CNA; SEMARNAT; etc.).

Conforme concluyen los trabajos y paquetes básicos, el reporte de liberación es preparado por el titular del área y se revisa que la documentación esté completa: anexos, formatos, registros de calidad y demás documentos resultantes de las inspecciones, pruebas y ensayos, verificaciones, certificados de calidad, procedimientos y documentos del medio ambiente, planos ejecutivos vigentes, planos de terminación de obra, documentos de gestoría ante el cliente y las instituciones involucradas, etc. Junto con el formato de finiquito de obra correspondiente, en donde la gestión de los pagos puede o no ir paralela a la entrega de cierre de obra, siendo por su parte el finiquito de pagos u finiquito diferente al cierre de obra, estando el finiquito de pagos sometido a lo establecido en los contratos y/o los acuerdos preestablecidos entre la constructora y el cliente.

Para dar por cerrado el proyecto ante las autoridades, se revisa el marco legal y se solicitan los registros de baja pertinentes, como son: el registro de baja como generador de residuos peligrosos, baja ante el IMSS, ante la SEMARNAT, ante la CNA, etc. y las demás dependencias según aplique al proyecto, con las respectivas actividades de desalojo, reforestación y/o mantenimiento, de acuerdo a lo indicado contractualmente, obteniendo el documento que libere de toda responsabilidad a la empresa en cuanto a la construcción, ya que se debe de dar a cambio un acta de garantía de trabajos, según lo contraído en el contrato de obra. Los recursos necesarios para esta etapa han sido considerados en la línea base del proyecto.

Se informa a las áreas de la empresa el cierre administrativo de la obra, así mismo se solicita al área de administración y finanzas la cancelación o cambio de fianzas y seguros.

Posteriormente el Gerente del Proyecto a través de los titulares de cada área o personal designado, da seguimiento a las actividades de finiquito del contrato y cierre contable de la obra, para concluir finalmente con la misma.

El Gerente del Proyecto verifica que se lleven a cabo las acciones de cierre tanto con el cliente, autoridades y empresa, programando, a través del personal asignado los recursos y aprovisionando el costo correspondiente. Sin olvidar los compromisos posteriores a la construcción y entrega, los mismos que fueron aceptados desde el principio en los términos de los contratos pactados y firmados.

## **VIII. PROCESO CONSTRUCTIVO.**

### **VIII.1. Generalidades.**

Una vez revisados los alcances del proyecto y la información proporcionada en los documentos de licitación se tiene planeado ejecutar los trabajos objeto de este concurso (licitación) de la forma siguiente:

La obra se realiza en una zona escarpada boscosa con vegetación abundante y algunos cultivos agrícolas, tomando en cuenta que en la zona se tiene precipitaciones anuales de 2,301 mm., y considerando que en la zona se cuenta con niebla y tormentas eléctricas importantes, las cuales ocurren durante los meses de junio a septiembre, factores que inciden directamente en la planeación de los trabajos a ejecutar; se toman en consecuencia las acciones necesarias para no afectar el desarrollo de la obra y el medio ambiente, para lo cual ICA se basa en la política de calidad, así como del manual y procedimientos de aseguramientos de calidad, seguridad y medio ambiente de la empresa, certificada por las normas ISO 9001: 2000 y 14001-96, adicional a las condiciones solicitadas en las bases de licitación.

### **VIII.2. Preoperativos.**

La empresa identifica los Marcos Legales Municipales, Estatales y Federales, con los que se tiene que cumplir, por lo que se realizan los trámites necesarios para la operación de las diferentes actividades del proyecto, pudiendo contemplarse dentro del área de Medio Ambiente: explotación de bancos, estudios de impacto ambiental, uso de suelo generación de residuos peligrosos, emisiones a la atmósfera, explotación de mantos acuíferos, almacenamiento de emulsiones, descargas de aguas residuales, etc., dentro de seguridad social y laboral, la empresa se encarga de cumplir con los lineamientos de dependencias como la CNA, SEMARNAT, IMSS, STPS y las que rijan localmente.

Las principales etapas a considerar para la ejecución del proyecto, consiste en los siguientes puntos, así como se mencionaron en el capítulo anterior:

Como punto primero, se hicieron visitas a las áreas de la obra, para poder ubicar el lugar del campamento y demás instalaciones, incluyendo las plantas de concreto.

Para la ejecución del trabajo se procura contratar personal de la región, de requerirse campamentos para empleados, estos están instalados en las Ciudades de Tulancingo, Hgo., Huauchinango, Puebla, el poblado de Venta Grande y la Bóveda, Hgo.

Las oficinas de obra están instaladas en el poblado “La Bóveda”, Hgo., por ser un centro poblacional que cuenta con casi todos los servicios de infraestructura requeridos para un buen funcionamiento, así como por su ubicación estratégica; mientras tanto, los almacenes de materiales, partes, insumos y residuos,

normalmente se encuentran instalados cerca al área de construcción del proyecto. Por su parte, los almacenes de residuos sólidos y peligrosos, se instalan de acuerdo a las características de generación de la obra, así como al marco legal ambiental.

Para el seguimiento, control y administración de las diferentes actividades de este proyecto, se cuenta en sitio de la obra con las instalaciones y equipos adecuados, así como talleres y plantas donde no interfieran con los trabajos a desarrollar.

El personal técnico con que se cuenta en el sitio y las funciones que desempeñan cada uno de los responsables se describen a continuación, esto para que se visualice el tipo de trabajo que se realiza para llevar un pleno control y administración del trabajo en campo, por parte de la empresa "ICA":

**GERENTE DE PROYECTO.-** Es el responsable directo del manejo del contrato del proyecto con el Cliente, coordina los trabajos a realizar, así como las modificaciones que haya que hacer al proyecto, además planea con las demás áreas de construcción, control de calidad, control de proyectos, maquinaria y topografía, los procedimientos de ejecución de cada una de las actividades del proyecto, para que estas se ejecuten a entera satisfacción del cliente y se cumpla con el plazo contratado.

**RESPONSABLE DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.-** Es el responsable de la difusión de la estructura organizacional de la Contratista, así como de organizaciones participantes para la ejecución del proyecto, difundiendo los canales de comunicación y los mecanismos de coordinación establecidos. Coordina las actividades de los departamentos de calidad, seguridad y medio ambiente en el proyecto, las cuales estarán a cargo de personal con experiencia en las funciones. Coordina las actividades del responsable de control de documentos y registros, quien controla los documentos y registros relativos al proyecto ejecutivo y al contrato, mediante su recepción, registro, distribución y resguardo.

**SUPERINTENDENTE DE CONSTRUCCIÓN.-** Es la persona encargada de planear detalladamente las actividades contempladas en el contrato en coordinación con el Gerente de Proyectos, supervisa, ejecuta y lleva el control de los trabajos en cada una de las áreas de producción como son: terracerías, obras de drenaje, trabajos diversos, bóvedas y pavimentos, debiendo programar y coordinar sus actividades en base a la planeación que más adelante se describe a fin de evitar interferencias que pudieran atrasar el programa de construcción contractual.

**JEFE DE OBRA.-** son las personas encargadas de supervisar, ejecutar y llevar un control de los trabajos en cada uno de sus frentes asignados, debiendo programar y coordinar las actividades del frente en base a la planeación integral del proyecto supervisado por el Superintendente de Construcción y Gerente de Proyecto.

**SUPERINTENDENTE DE MAQUINARÍA.-** Es el responsable de elaborar y dar seguimiento al programa de suministro de equipo y maquinaria al proyecto, el cual es elaborado en coordinación con el Superintendente de Construcción, según las necesidades de los frentes de construcción. Elabora el programa de mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo, así como la atención inmediata al equipo que requiere mantenimiento correctivo.

**SUPERINTENDENTE DE CONTROL DE PROYECTOS.-** Es el responsable de integrar la información para elaborar el programa de obra, dar seguimiento al mismo en tiempo y costo para realizar informes que muestren la situación del proyecto.

**CONTROL DE CALIDAD.-** Para verificar que los materiales utilizados en la ejecución de la obra cumplan con las normas de calidad, se contará con un laboratorio de control de calidad; este servicio es subcontratado con empresas que están dentro del padrón de subproveedores confiables y evaluados por la empresa, asimismo que cuente con el certificado de calidad de servicios técnicos autorizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y por Entidad Mexicana de Acreditación.

**JEFE DE TOPÓGRAFOS.-** Es el responsable de realizar y verificar el trazo topográfico de las actividades del proyecto, así como controlar la información de avances obtenidos en campo para la elaboración de los generadores que respaldan las estimaciones presentadas a la residencia de obra.

**JEFE ADMINISTRATIVO Y PERSONAL DE APOYO.-** Es el personal técnico-administrativo, encargado de apoyar las áreas de proyectos y construcción. Las áreas de apoyo son: compras, fletes, almacén, servicios y personal, las cuales son coordinadas por el Jefe de Administración del Proyecto.

Para iniciar los trabajos de construcción de terracerías y estructuras es necesario tomar en consideración los siguientes puntos, tal como se hizo en el capítulo V de este trabajo:

- El tramo debe de estar liberado.
- Contar con el proyecto ejecutivo autorizado para la construcción, para realizar la planeación de obra (punto antes visto).
- Movimiento de equipo y vehículos para traslado de personal.
- Instalación en obra de oficinas de campo, campamentos, plantas de concreto, etc.
- Elaboración de un plan de subcontratación de actividades especializadas.

Una vez entregado el trazo físico por el cliente, se procede al levantamiento topográfico y ubicación de estructuras de acuerdo al proyecto ejecutivo autorizado. Una vez terminada esta etapa, se procede a identificar las actividades a realizar según el programa establecido para cada estructura.

Para la realización de esta actividad, tanto al principio de la obra, como a lo largo de la misma para llevar un control topográfico, de las diferentes secciones de construcción de terracerías, pavimentos, estructuras y obras complementarias, se ha previsto habilitar cuatro cuadrillas de topografía que realicen los trabajos y nivelaciones; así mismo, tienen la responsabilidad de liberar las áreas de trabajo, en lo referente a las tolerancias y especificaciones para la continuidad de las siguientes etapas según el procedimiento constructivo, para ello, cada una de las cuadrillas cuenta con el equipo necesario (teodolito, nivel, etc.). Otra de las acciones que realizan las cuadrillas de topografía son los levantamientos que permite cuantificar y generar los volúmenes realmente ejecutados, esta actividad se realiza en forma conjunta con el personal autorizado por parte del Fideicomiso.

### **VIII.3. Construcción de terracerías y pavimentos.**

La construcción de terracerías inicia a partir de los preoperativos indicados al principio de este capítulo, más unos puntos importantes extra como: La localización de trazo del proyecto, bancos de nivel del proyecto, bancos de tiro para el material

producto de la excavación del corte y bancos de préstamo para utilizar como capas del terraplén, subyacente y subrasante.

Antes de iniciar los cortes y terraplenes es de suma importancia habilitar los accesos al trazo debido a que únicamente se tienen accesos por caminos secundarios sin revestir, dichos caminos inician en el poblado de Venta Grande y por la parte oriente de Huauchinango cercano al poblado Los Capulines. También es necesario construir caminos de acceso por el trazo, hacia los bancos de tiro, bóvedas y obras de drenaje, esta actividad es crítica para iniciar los trabajos del proyecto, vale destacar que en algunos casos y por lo que se pudo verificar en el sitio de la obra es probable que algunos caminos se tengan que construir fuera del derecho de vía para acceder a los cortes y las estructuras de obras de drenaje (bóvedas y alcantarillas), debido a que no existen brechas, caminos secundarios y ningún tipo de acceso. Adicionalmente por la topografía escarpada del sitio se tienen pendientes muy fuertes y alturas mayores a 30 m., para desplantar las bóvedas y algunas alcantarillas, es necesario habilitar estos caminos.

Para el inicio con las terracerías, se requiere que las brigadas de topografía realice el levantamiento topográfico del terreno natural y seccionamiento del mismo, el cual es recomendable llevarlo a cabo en conjunto con la residencia de supervisión para conciliación de los volúmenes a ejecutar.

De acuerdo al proyecto ejecutivo se subdividieron los frentes tomando en cuenta la distancia de acarreo de los bancos de desperdicio, menos de 2 km. y mayores de 2 km., esto determino el equipo a utilizar por kilómetro, los cuales consideraron los movimientos de tierras que indica el proyecto ejecutivo de terracerías, se determinaron tres grandes frentes para excavaciones, considerando para su ejecución tres grupos de trabajo.

Dadas las condiciones en que se encuentra el terreno natural, donde ya no existen árboles dentro del derecho de vía y principalmente dentro de los “ceros de construcción”, no existe desmonte por ejecutar.

Para el despalme del terreno natural (retiro de la capa vegetal), éste, se llevará a cabo junto con la excavación del corte, debido principalmente a que el volumen de excavación de corte esta considerado a desperdicio, o bien, en las zonas que indique los ceros del proyecto, ya sea en corte o terraplén; se hará retirando una capa de aproximadamente 30 cm. de espesor, de tierra vegetal. Dicha actividad se realiza con un tractor sobre orugas modelo D8 o similar, el material producto del despalme se apila para su posterior utilización en el arroje de taludes de los terraplenes construidos. El despalme que por órdenes del Fideicomiso y/o el proyecto se deba depositar en los bancos indicados para este fin, se excava por medio de retroexcavadora, la cual carga a camiones de volteo para transportar el material a los bancos.

Despalmando el terreno se procede a realizar los cortes hasta los niveles marcados en los planos de construcción; es decir, formar la sección de la obra de acuerdo al proyecto, con el equipo propuesto para cada uno de los frentes.

El estudio geofísico indicó que un 20% del volumen total a excavar es material C; es decir, roca sana, por lo que la excavación del mismo se hará con 1 Hidro Track Tamrock DHS 550 (como complemento de la maquinaria estipulada para este trabajo), para la barrenación. La retroexcavadora esta contemplada para extraer el material cargando directamente a camiones de 14 m<sup>3</sup>., mismo que será depositado en los bancos de tiro o desperdicio que indica el proyecto. Por otra parte si el material cumple con las características de calidad adecuada, se debe de utilizar en la formación de terraplenes. Sin embargo como lo indica el proyecto ejecutivo el material se deposita en los bancos de desperdicio de acuerdo a la longitud de desarrollo que indica el proyecto. Cabe señalar que la formación de los bancos de desperdicio se realiza con tractores D6 o similares en capas sensiblemente uniformes, tomando en cuenta el drenaje natural de la zona, por las características del material de los cortes de arcillas-limosas y arcillas de alta plasticidad, se forman bermas que permitan una adecuada estabilidad del material de desperdicio tomando en cuenta el talud que indica las especificaciones complementarias de 1.5:1 o como lo permita la humedad natural del terreno.

La excavación del corte esta considerada en su totalidad como desperdicio. Esta actividad principalmente se llevara a cabo con retroexcavadora modelo 330 y/o 325 BL o similares, las cuales desempeñan la función de excavar y cargar a la vez. El material producto de la excavación se destinará en los bancos de tiro autorizados por la supervisión, ver figura *“Plan de ataque para las excavaciones y acarreo a bancos, contemplando mano de obra y maquinaria”* del capítulo VII. Dicha excavación se llevará a cabo mediante el sistema de banqueos desde el terreno natural hasta el nivel de subrasante y posteriormente la excavación en caja donde se alojarán las capas de mejoramiento como son la subyacente y la subrasante.

En el proyecto existen obras de drenaje de alcantarillas de tubo de concreto reforzado y bóvedas. Dichas obras se llevaran a cabo donde el proyecto lo indica, consistiendo principalmente en excavación, colocación de plantilla para desplantar la tubería de concreto y bóvedas, posteriormente se juntan los tubos con mortero de cemento y las bóvedas se unen según proyecto autorizado en caso de ser prefabricadas, ambos se construyen o fabrican con concreto hidráulico, así también se construyen los cabezotes y caja de captación de agua, las cuales funcionaran como alivio.

Dentro de la planeación integral y el programa de ejecución de los trabajos, las bóvedas, están dentro de la ruta crítica de la obra, por tal motivo se ejecutan de la siguiente manera: en el frente de bóvedas se abren tres subfrentes de trabajo simultáneamente.

Para la construcción de estas estructuras, se han habilitado dos juegos de cimbras especiales, de superficie metálica, con carro de traslación de 10m. de longitud, 1 con radio interior de 200 cm. y otra con radio interior de 300 cm., y una tercera cimbra con cerchas de madera con radio interior de 100cm. Para la construcción se procede a realizar las excavaciones de las estructuras con tractor D8R o similar, así mismo una retroexcavadora 330 BL o similar de acuerdo a los niveles que ordene el proyecto y/o residencia del Fideicomiso. Una vez que se aprueba el nivel de desplante de la estructura se inicia la losa de desplante con el armado de acero de refuerzo estipulado, posteriormente se inicia el cimbrado de los

muros de la bóveda de forma tal que coincidan perfectamente la cimbra metálica de la clave con su carro de traslación, para colarse en dos etapas, la primera muros y la segunda etapa la clave. Vale destacar que si no se aprueba el nivel de desplante se procede a restituir el material de la excavación como lo indique la residencia del Fideicomiso, para iniciar la losa de desplante.

Para el relleno de la estructura, una vez que se coloque el muro seco en el perímetro de la bóveda y a lo largo de esta, se realiza por etapas y secuencia dicho relleno, según lo estipulado por el proyecto, a la compactación indicada, con la calidad de los materiales solicitados y con los espesores de diseño. Para la realización de estos trabajos se consideran la utilización de los siguientes recursos:

- Retroexcavadora CAT 330 BL o similar.
- Tractor sobre orugas CAT D8R o similar.
- Compactadores según lo requerido.
- Retro cargador CAT 416 o similar.
- Motobomba de concreto sobre camión y/o bomba estacionaria o similar.

El habilitado de acero de refuerzo para el armado de las bóvedas se hace en el patio de habilitado, con la finalidad de evitar que el acero se contamine. Para los movimientos internos en el patio de habilitado del acero se utiliza una grúa la cual se monta en sitio estratégico para suministrar adecuadamente el material a las cortadoras y dobladoras de acero. Una vez habilitado el acero de refuerzo se envía a los diferentes frentes de trabajo en una grúa Hiab de 6 ton. de capacidad.

Para la colocación del acero de refuerzo, el armado en el frente de trabajo se realiza una vez colocada la plantilla de concreto y de acuerdo a las especificaciones estipuladas en proyecto, el acero se calza con separadores de concreto (“pollos”) y de la misma forma se da el recubrimiento de proyecto, tanto en la parte inferior como en las paredes de contacto con la cimbra. Armada la bóveda con el acero estructural, se coloca la cimbra de los muros de la misma de forma tal que coincidan perfectamente la cimbra metálica de la clave con su carro de traslación, tal y como se indico previamente, se alinea topográficamente de acuerdo al proyecto para colarse en dos etapas como se menciona con anterioridad.

La colocación del concreto por etapas se realiza en capas no mayores de 30 cm. de espesor y 10 m. en el sentido longitudinal debido a que es el largo de la cimbra especial de la clave. Esta operación se realiza en forma alternada en ambos lados de la cimbra de la estructura de forma tal que no se exceda más de una capa por lado, lo cual garantiza que no se formen juntas frías en el concreto y con el equipo de vibrado necesario para cada uno de los lados de la cimbra de la estructura. Posteriormente se realiza el curado del concreto, que tiene como finalidad evitar que los elementos pierdan humedad, teniendo una adecuada hidratación del concreto y garantizar el desarrollo normal de la resistencia del concreto que nos indica el proyecto, esta actividad se realiza con la aplicación de una membrana de curado.

#### **VIII.4. Obras de drenaje menor.**

Las excavaciones de las obras de drenaje, la colocación de las tuberías y la construcción de cajas, se ejecutan conforme avance la etapa de despalme, con la finalidad de que este frente de trabajo inicie las actividades y permita el paso del equipo de terracerías; es decir, no se inicia la construcción de terraplenes antes de terminarse las alcantarillas y muros de sostenimiento que ordene el proyecto, la construcción de los cuales debe de ir por lo menos 500m. delante de las terracerías.

#### **Agregados para concreto hidráulico para obras de drenaje, bóvedas, cajas, muros de contención, obras complementarias y pavimentación.**

La producción de los agregados es llevada a cabo a partir de extracción del material de los bancos indicados en el proyecto, utilizando para ello un tren de trituración conformado por los equipos primario, secundario y terciario interconectados con bandas transportadoras y los alimentadores necesarios para su producción. La formación de los almacenamientos, tanto en el sitio de la producción como en sus lugares de acopio final para su proceso, se llevan a cabo en superficies que permitan el drenaje de las lluvias y sobre camas de agregado inerte que impidan la contaminación de estos, los cuales se acarrearán con camiones propios o rentados, según el programa de necesidades de colocación y fabricación de concreto hidráulico y la pavimentación.

Para la fabricación de los concretos hidráulicos se cuenta con una dosificadora instalada en el sitio de la obra.

Los agregados pétreos y arena se almacenan en un sitio cercano a la planta de concreto debidamente separados e identificados para evitar la contaminación entre ellos. Para el transporte del concreto hidráulico se cuenta con unidades revolvedoras suficientes para cumplir con el programa del proyecto. Estas unidades deben de estar debidamente calibradas para efectuar el mezclado que requieren las especificaciones técnicas estipuladas en el ACI.

A continuación se enlista el tipo de equipo a utilizar para esta actividad: Dosificadora tipo móvil marca Odisa 5000 con capacidad nominal de 50 m<sup>3</sup>/hora, cargador sobre llantas modelo CAT 928, camión revolvedora de 7.5 m<sup>3</sup>., silos de almacenamiento de cemento de 90 toneladas.

De manera general se coloca el concreto en las diferentes estructuras por medio de dos procedimientos, el primero es el tiro directo cuando las condiciones de acceso y altura permitan el ingreso de los camiones revolvedores, el segundo es por medio de una bomba de concreto montada sobre camión, con brazo telescópico para descargar el concreto en la boca de la cimbra para los elementos que por su altura y dimensión no se puedan realizar a tiro directo o con bomba estacionaria.

En lo que respecta al suministro de cemento, se considera la utilización del Pórtland del tipo normal, mismo que es almacenado en silos adecuados para conservar la calidad y características. Este insumo es transportado al proyecto por el proveedor del mismo a granel. Vale destacar que el concreto hidráulico puede ser

suministrado por un tercero de acuerdo a lo estipulado en el contrato de la obra, y que este debidamente reconocido por el Fideicomiso actuante en la obra en cuestión.

Prestamos de bancos.- Los bancos de proyecto, los cuales han sido clasificados y analizados experimentalmente en los laboratorios de campo como del tipo "A" y "B", (con excepción del banco para los pedraplenes), se atacan con retroexcavadora 330 L con carga directa a camiones de 14 m<sup>3</sup>. estos equipos transportan el material para la formación del cuerpo del terraplén en los sitios indicados por el proyecto.

Para esta operación se utilizan tres grupos los cuales se componen de acuerdo al ciclo de trabajo de la siguiente forma:

- PB-1 a PB-3
- 11 retroexcavadoras CAT 330 BL o similar.
- 1 tractor sobre orugas CAT D8R o similar.

La formación de los terraplenes en esta obra, principalmente se realizarán donde existe sección en balcón y el volumen a ejecutar es mínimo, dado que en el proyecto los movimientos de curva masa no son compensados, debido principalmente a que la excavación es 100% a desperdicio por la mala calidad del material de corte. Los materiales a usar para la formación de los terraplenes están considerados como los bancos de préstamo propuestos en el proyecto, como son: el "Arenal" ubicado en el Km. 116 de la autopista, el "Tejamaniles" ubicado en el Km. 112+500 desviación derecha, "La mina" ubicado en el municipio de Teopancingo, "El sifón" ubicado en los márgenes del río Texcapa y Laguna Seca, los cuales cumplen con las especificaciones del proyecto.

Para la formación de las diferentes capas del cuerpo de terraplén, al 90%, 95% y 100%, de su PVSM respecto a la prueba AASHTO estándar, por la naturaleza del proyecto donde ordena que aproximadamente el 75% del material proviene de préstamo de banco y aproximadamente el 25% es de producto de corte y de acuerdo a los análisis de los bancos propuestos por el licitante, en donde las pruebas de laboratorio son importantes para determinar la calidad del material a utilizar, los cuales se especifica que son materiales tipo limo-arenoso y mezclas de gravas y limos. Para realizar estos trabajos se consideran retroexcavadoras, tractores sobre orugas.

Una vez despalmado el terreno y antes de iniciar la construcción de los terraplenes, se escarifica y compacta el terreno natural en el área de desplante del terraplén con el espesor especificado.

El proyecto ejecutivo establece que para la construcción de los terraplenes el material sea suministrado de los bancos de préstamo fijados en el proyecto o seleccionados por el contratista, siempre y cuando cumpla con las especificaciones técnicas correspondientes. Se procede a la construcción del terraplén por capas sensiblemente horizontales con espesores tales que se logre los grados de compactación ordenados por el proyecto, hasta llegar a los niveles que fije el proyecto ejecutivo. El material se recibe en la zona del terraplén el cual es

descargado y posteriormente conformado por un compactador pata de cabra CAT 825 o similar para materiales arcillosos; asimismo, también compacta el material dando el número de pasadas para alcanzar el grado de compactación solicitado por las especificaciones técnicas del proyecto.

Para materiales granulares es utilizado para conformar un tractor D6 o similar y un compactador mixto CS563 o similar para compactar el material dando el número de pasadas para alcanzar el grado de compactación requerido por el proyecto.

Para las etapas de transición subyacente y subrasante se elige el banco que cumpla con las características adecuadas para estos trabajos, así como para garantizar el alineamiento, perfil y sección en forma, ancho y acabado que ordena el proyecto ejecutivo. Se utiliza el siguiente equipo para realizar dichos trabajos: Motoconformadora CAT 140 o similar para conformado, tendido, mezclado y 1 compactador mixto CS563 o similar para compactar el material dando el número de pasadas para alcanzar el grado de compactación requerido por las especificaciones técnicas.

Si durante la construcción en la etapa de las terracerías, existieran desvíos temporales de tránsito, se mantendrá la señalización preventiva y restrictiva que ofrezca seguridad al personal que estará ejecutando los trabajos en campo y a las poblaciones que intercepten al proyecto.

Los pavimentos se llevaran a cabo a partir de la capa de base hidráulica con espesor de 30 cm. y esta considerada traerla del banco de Tepeapulco y Laguna Seca, el cual cumple con un equivalente de arena mínimo de 50%. Dicha capa está contemplada ejecutarla con motoconformadora y su compactación se realizará con un compactador mixto. Se deberá aplicar a la base hidráulica un riego de impregnación con emulsión asfáltica del tipo RLI-2K, para proteger la capa de las lluvias y/o intemperismo.

Esta actividad considera los alcances descritos en las especificaciones particulares y de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) para la fabricación del pavimento flexible y construcción, trituración de agregados pétreos, para carpeta asfáltica.

## **VIII.5. Construcción de la capa de base.**

### **Producción de agregados pétreos para la capa base.**

Para la obtención de agregados pétreos para base se emplean equipos de trituración y clasificación integrados en una planta capaz de producir los agregados pétreos en cantidad que marca el proyecto de pavimento flexible.

Esta planta de capacidad nominal de 285 ton/hr, consiste básicamente en los siguientes equipos:

- Planta portátil de quijada 30" x 42".

- Planta portátil de conos modelo 489-SG, equipada con criba vibratoria tipo inclinada modelo 6´x 20´TD.
- Bandas transportadoras de conexión diversos modelos.

El material procesado se almacena en los patios debidamente preparados para evitar la contaminación de los mismos con el suelo natural.

### **Mezclado y colocación de base.**

Con un equipo estabilizador de agregados Cederrapids 696-540 TPH, se incorpora agua al material de base con el propósito de obtener la humedad óptima del material y homogenización para su posterior acarreo de colocación en camiones de volteo.

La colocación de base se efectúa con un pavimentador marca Demag modelo DF140C, equipado con sensores de contacto para controlar al alineamiento vertical y horizontal en una capa y se compacta al 100% con un compactador mixto modelo CAT CS563-C. Una vez terminada la compactación se impregna la superficie expuesta con emulsión asfáltica cationica ECI-60 o similar, distribuido este material por medio de una petrolizadora, en la dotación por m<sup>2</sup> que se indique en el proyecto.

### **Producción de agregados pétreos para carpeta asfáltica.**

Para la obtención de agregados pétreos para la carpeta asfáltica se emplean equipos de trituración y clasificación descritos anteriormente a los cuales se integra un equipo terciario (cabeza corta) capaz de producir los agregados pétreos en cantidad y calidad que marca el proyecto de pavimento flexible.

Esta planta de capacidad nominal de 165 ton/hr para carpeta asfáltica consiste en los siguientes equipos adicionales:

- Planta portátil de conos modelo 48-FC, equipada con criba vibratoria tipo inclinada modelo 7´x 20´TD.
- Bandas transportadoras de conexión, diversos modelos.

El material procesado se almacena en los patios debidamente preparados para evitar la contaminación de los mismos con el suelo natural, separados en los tamaños que requiera el diseño definitivo de las mezclas asfálticas.

### **Fabricación y transporte de concreto asfáltico.**

Para la fabricación de los concretos asfálticos se cuenta con una planta de tambor mezclador de 9´ de diámetro marca CMI modelo PTD-300 con capacidad nominal de 272 ton/hr, la cual esta instalada en el banco Nvo. Necaxa ubicado en el km. 199+000, a 100m desviación izquierda de la carretera libre México-Tuxpan, es decir aproximadamente a 24.5 km. del centroide del proyecto.

Para el acarreo de la mezcla asfáltica se cuenta con tractocamiones del tipo Flowboy y/o camiones de volteo suficientes para cumplir con el ciclo de trabajo.

### **Colocación de concretos asfálticos.**

Impregnada la base hidráulica se efectúa un barrido de la superficie por medio de una barredora autopropulsada Maxi Sep modelo 6000, con el fin de eliminar las partículas de polvo y que permita aplicar el riego de liga por medio de la petrolizadora, dicho riego se hace con emulsión catiónica ECR-65 o similar en la dosificación indicada en el proyecto.

La carpeta asfáltica se coloca en una capa de 10 cm. de espesor más el abundamiento y esta contemplada traerla del banco de Xometla. Dicha capa se coloca con un pavimentador del tipo Demag modelo DF110 C de 6.5m., y la compactación se realizará mediante los compactadores neumático y tandem. La compactación se efectúa al 95% con equipos sobre llantas y rodillo vibratorio liso. Una vez colocada la capa se debe tener especial cuidado en el proceso de compactación en el que se controlan las temperaturas de la mezcla para el oportuno paso de los compactadores, y garantizar que no se esté compactando por debajo de la temperatura mínima.

### **VIII:6. Obras complementarias y tratamientos.**

Como su nombre lo indica son el complemento de la obra, tales como pasto en taludes de los terraplenes, colocación de hidrosiembra en terraplenes y/o cortes, o bien los indicados a continuación.

Una vez concluidos los trabajos de pavimentación o previo a esta actividad, según lo indique el proyecto, se pueden ejecutar las obras complementarias, las cuales consisten principalmente en bordillo, cuneta, contra cuneta, cercado del derecho de vía, etc., dichas actividades se llevarán a cabo donde lo indique la supervisión y/o el proyecto ejecutivo.

### **Plantación de pasto y colocación de hidrosiembra.**

La plantación se hace en los sitios marcados en el proyecto y/o en donde lo ordene la residencia del Fideicomiso. La colocación de la hidrosiembra es de acuerdo a las instrucciones indicadas en las especificaciones de concurso. Los sitios donde se planta y/o coloca la hidrosiembra se tiene que limpiar, retirando basura, piedras y materiales que impidan la correcta ejecución de los trabajos.

### **Colocación del cercado.**

El cercado se coloca para delimitar el derecho de vía de la autopista y esta formado con postes de concreto hidráulico armado y líneas de alambre de púas,

sujetas a los postes por medio de amarres de alambre galvanizado. Este cercado se coloca únicamente en donde el proyecto lo indique o lo que ordene la parte del Fideicomiso.

### **Construcción de bordillos.**

La construcción de los bordillos no tiene un método especial de construirse, es sólo trabajo de albañilería, en el que intervienen elementos como cerchas de madera y concreto hidráulico como material utilizado. Estos bordillos se colocan de acuerdo a lo indicado por el proyecto y/o se colocan donde lo indique el Fideicomiso.

### **Construcción de cunetas.**

Se procede a su construcción una vez que se hayan terminado la pavimentación y los subdrenes de los cortes, y su colocación es en base a lo estipulado por las partes que controlan el valor fiduciario del proyecto.

El procedimiento constructivo es a base de cerchas de madera con la sección geométrica de la cuneta y concreto hidráulico como material constructivo.

### **Construcción de subdrenes.**

La construcción de los subdrenes son de vital importancia para la vida útil del camino, por lo que se pone una especial atención en la ejecución de estos trabajos, donde lo indique el proyecto y/o lo ordene la residencia del Fideicomiso de acuerdo a la especificación particular EP-07.

### **Construcción de lavaderos de concreto hidráulico.**

Estas estructuras se realizan de acuerdo a las especificación particular EP-10, estipulada en proyecto, y son colocadas en donde el proyecto lo indique, o bien el Fideicomiso. No hay una metodología especial para realizarlos, y se utiliza concreto hidráulico.

### **Tratamientos.**

Se realizan donde se especifique por las partes involucradas y la SCT; se estabilizan los cortes de taludes, donde a juicio de la residencia del fideicomiso sea necesario algún procedimiento para estabilizar los taludes de los cortes del camino. Dichos procedimientos son los solicitados en la EP-06, EP-16, EP-17 y EP-18.

Donde existan graneos de fragmentos chicos y gravas, los cuales estén empacados en material arcilloso, limoso y arenoso, una vez realizado el amacize de taludes, se procede a la instalación de malla de triple torción y/o donde sea indicado.

De indicarlo el proyecto o la residencia del Fideicomiso se deben instalar y/o construir para retener los caídos de los cortes, muros gaviones, muros alcancía de mampostería y/o concreto según lo ordenen las partes autorizadas, en base a lo establecido en las especificaciones particulares EP-13, EP-14 y EP-15.

### **Construcción de estructuras.**

Nos referimos como estructuras a las obras en las que se engloban los puentes, pasos inferiores y algunas otras obras complementarias, las cuales por su importancia deben de ser consideradas ampliamente y de manera particular dentro del proyecto mismo.

Dentro de las etapas de las mismas obras, es importante considerar los trabajos y proyectos de las subestructuras, como fundamento para la realización de dichas estructuras, ya que de lo contrario se ocasionan retrasos de obra en lo que se refiere a tiempos, cargos extras en lo referente a costos y, aún más importante y delicado la seguridad de las estructuras se afectarán, poniendo en riesgo a los usuarios de las mismas.

Cabe mencionar en este apartado que no se hará mención en particular de la estructuración y los elementos de las estructuras, ya que no es tema de esta tesis, sin embargo si se tomaran los puntos más importantes para la realización de dichas estructuras.

### **Subestructuras de puentes.**

Para la realización de las estructuras se hace una localización del trazo hacia los apoyos de la estructura, para posteriormente proyectar en gabinete los caminos de acceso, los cuales contemplan pendientes longitudinales, secciones de construcción y ubicación de obras de drenaje. Dichos caminos se desarrollan mediante un tractor D6 o D8 y/o retroexcavadora, con el cual se procura evitar el derrame del material producto de la apertura del camino (como amortiguación de un mayor impacto ambiental), se realiza el acomodo de dicho material a un costado del propio camino, así también el acarreo del material para su mejoramiento, se construyen las obras de drenaje necesarias para encauzar los escurrimientos pluviales mediante alcantarillas tubulares de varios diámetros. La apertura de nuevos caminos de acceso esta restringida por el resolutive de impacto ambiental del proyecto, por lo que se realizan los trámites necesarios ante la SEMARNAT para la autorización de apertura de los caminos de acceso a las pilas de los puentes.

### **Excavación para desplante de estructuras.**

Como requisito para la realización de dichos trabajos es necesario realizar el levantamiento del terreno natural para la medición y conciliación de volúmenes con la supervisión, topografía coloca los datos de proyecto para proceder con la excavación mediante retroexcavadora, la cual la lleva a cabo mediante banqueos y el material producto de la excavación es trasladado a los bancos de tiro autorizados. La excavación se realiza con el talud especificado de 0.25:1 en todas sus caras, con

las bermas indicadas en el proyecto ejecutivo. Una vez que se llega al nivel de desplante de la estructura, se realizan sondeos para determinar la capacidad de carga del terreno, en caso de ser necesario y de acuerdo a los resultados del sondeo se realiza el retiro del material suelto y/o que no cumple con los requisitos de diseño de la cimentación. Una vez realizado lo anterior se coloca el concreto de reposición hasta el nivel de desplante del proyecto.

### **Estabilización de los taludes.**

Para la estabilización de los taludes se tiene contemplado la colocación de malla electrosoldada 6x6/10x10 anclada con varilla de 5/8" de diámetro a 1.00 m. de profundidad a cada 2.00 m. de separación colocadas al tresbolillo, sobre la malla electrosoldada se coloca concreto lanzado de  $f'c=150\text{kg/cm}^2$  en una capa de 10cm. de espesor, el concreto es colocado por medio de vía seca, este se elabora en una plataforma de trabajo cercana al sitio y se traslada en un vehículo de dimensiones moderadas (puede ser una camioneta de 3 ½ toneladas preparada para este trabajo) por el camino de acceso al sitio de colocación, el concreto se aplica por medio de aliva o lanzadora de concreto y se coloca de arriba hacia abajo del talud, el personal para la colocación va montado en unas canastillas de trabajo, teniendo cuidado en colocar el concreto en el espesor indicado y para eso se colocan unas guías o "maestras" (coloquio de obra). Después de colocar el concreto se procede a la perforación del concreto con un taladro hasta penetrar en el talud una profundidad de 50 cm. para colocar el microdrén de 1" de diámetro previamente ranurado y recubierto de geotextil, la distribución de estos microdrenes será a cada 2.00 m. de distancia o donde sea indicado por la supervisión mediante los cambios de proyecto en caso de existir. En donde lo indique la supervisión se colocarán anclas de fricción con el sistema "perfobolt" de hasta 9.00 m. de profundidad dentro una perforación de 3 ½" de diámetro.

### **Construcción de zapatas.**

Una vez terminada la excavación, se inicia con el afine del fondo de la excavación para después colocar una plantilla de concreto de  $f'c=100\text{kg/cm}^2$  de 5 cm. de espesor (esto en caso de no aplicar concreto de reposición). El habilitado de acero de refuerzo se realiza en un taller fuera del sitio de la obra, estipulado en la planeación de la obra. Una vez habilitado el acero al sitio de trabajo, se procede al armado del propio acero de refuerzo de acuerdo a los planos ejecutivos, en seguida se procede a la colocación de cimbra de contacto de acuerdo a dimensiones y geometría, posteriormente se realiza la colocación de concreto por medio de bombas para concreto, siempre cumpliendo con las especificaciones indicadas en el proyecto. Una vez que tenga el fraguado inicial el concreto, se aplica la membrana de curado en la superficie expuesta, después de descimbrar las caras se aplican también en ellas la membrana de curado.

## **Construcción de pilas.**

La construcción de las pilas se inicia inmediatamente después de colocar la zapata. El proceso de construcción se hace en etapas de colado de 3.50 m. de altura, hasta llegar al nivel de proyecto. Para la construcción de las pilas se debe de contar con un equipo auxiliar en cada una de ellas, este equipo consiste en una grúa-torre y escaleras y/o elevador de ser necesario, para personal y material. La función de la torre grúa, es de elevar los materiales y equipos que se empleen durante la construcción de cada etapa como: acero de refuerzo, cimbras trepadoras, concreto, herramientas, materiales auxiliares, etc.

La altura de la grúa torre se incrementa conforme al avance de los trabajos y se utiliza durante toda la etapa de la construcción de la pila y de las dovelas. La instalación de la grúa torre y las escaleras y/o elevador se coloca en una zona junto a la pila separadas de tal manera que no interfiera con la construcción de las dovelas, para la instalación de la grúa torre es necesario que se apoye o ancle en una cimentación diseñada para ello. Esta grúa torre y los demás sistemas de elevación complementarios se deben de ir elevando semanalmente o antes, según avancen los trabajos de construcción de la pila y se arriostran a la misma por medio de una estructura y un collarín metálico, cuando la altura de las pilas lo ameriten.

Se inicia con el armado de la pila traslapando el acero de arranque de la zapata con el acero vertical con ayuda de la grúa torre antes referida, teniendo cuidado en verificar que no se traslape más del 33% en una misma sección, para el acero vertical se tiene considerado que la varilla no sea mayor de 8.00 m. para evitar el desalineamiento o desplome del mismo y que quede la longitud de acero para el siguiente colado incluyendo su longitud de traslape de proyecto, se debe tener cuidado en dejar los recubrimientos de proyecto y geometría para evitar problemas al momento de colocar la cimbra.

El sistema de cimbra utilizado es el denominado cimbra trepadora y tiene para el proyecto una altura de 3.55 m. para un colado efectivo de 3.50 m., este sistema esta compuesto por paneles formados por consolas de trepado en las cuales va la cimbra de contacto, yugos horizontales y verticales y accesorios para troquelamiento y alineamiento, este sistema cuenta con tres niveles de trabajo: nivel superior para colado, nivel intermedio para trabajo de cimbrado y descimbrado y nivel inferior para trabajos de detalles y acabados, en cada nivel se cuenta con barandales de protección y redes. Se fijan estos paneles a alas pilas en cada etapa de trepado por medio de conos de trepado y barras de preesfuerzo atornilladas. La cimbra esta diseñada para resistir el empuje del concreto fresco al momento de colocarlo, presión del viento y cargas de trabajo. En cada etapa se hacen los ajustes necesarios para dar con la geometría de proyecto, debido a ésta se reduce en cada etapa de trepado en ambas direcciones. Para la colocación y trepado de este sistema de cimbra se hace con el auxilio de la grúa torre y se eleva por paneles individuales hasta completar la elevación y trepado de toda la cimbra.

Una vez que se tiene colocada, alineada y troquelada la cimbra y se revisan recubrimientos del acero de refuerzo, y se aceptan estos trabajos, se procede a la colocación del concreto en cada etapa, previa liberación del elemento a colar por parte de la supervisión de la obra mediante la autorización de la orden de colado

conciliada con dicha supervisión. Previo a la colocación del concreto se debe de realizar una limpieza por medio de un compresor sopleteando la zona, y también como apoyo, el personal debe de revisar y retirar lo que el compresor no retiro o viceversa según sea el procedimiento, por otro lado se deben de tener instalados los equipos de vibrado, los equipos auxiliares que se requieran, equipo para proteger en caso de lluvia y equipo de alumbrado, etc. Para la colocación del concreto se tiene considerado dos formas: colocación de concreto por medio de bombeo hasta el sitio, por lo que se tiene que colocar una tubería para bombeo de concreto necesaria desde la base de la pila hasta la altura de colado, el bombeo se hace con una bomba estacionaria que garantice la capacidad para bombear hasta la altura de 100 m. verticales. La segunda forma de colocar el concreto es por medio de cubeta de concreto de 1.50 m<sup>3</sup>. de capacidad y elevándolo con la grúa torre al trepado en donde se colocará.

La compactación del concreto se hace por medio de vibradores de inmersión de la capacidad necesaria que nos garantice un buen acomodo, compactación y acabado del concreto, después del fraguado del concreto se escarifica la superficie para el siguiente colado y se procede al descimbrado. Se hacen los ajustes a la cimbra y se puede elevar la cimbra trepadora a la siguiente etapa. Este proceso se repite durante las siguientes etapas hasta alcanzar el nivel del cabezal de la pila.

Durante la etapa de construcción de la pila se debe de iniciar y terminar de rellenar y compactar el relleno exterior de la zapata y el relleno interior de la pila hasta el nivel que indique el proyecto. Una vez que se termina la pila hasta el cabezal y antes de colar la dovela sobre pila se deben de tensar las retenidas de cada pila como contraventeo.

Para la construcción del cabezal de las pilas se utilizan dos tipos de obra falsa dependiendo de la altura de las columnas. La primera consiste en dejar unas preparaciones en la ultima etapa de la columna para poder pasar unos tornillos y fijar unas ménsulas o escuadras metálicas, sobre estas ménsulas se apoyan dos vigas IPR y sobre estas se montan unas vigas metálicas IPR de 8" de peralte en el sentido transversal, se coloca la cimbra de fondo y se nivela y revisa con topografía. Para el segundo tipo se utilizan torres de andamios de alta resistencia distribuidas de tal manera que soporten el peso del cabezal, se colocan las vigas transversales y la cimbra de fondo revisando después los niveles con topografía. Después de colocar y nivelar la obra falsa y la cimbra de fondo, se instala el acero de refuerzo cuidando de dejar los recubrimientos de proyecto. Una vez terminado el armado se coloca la cimbra de los costados del cabezal. Se realiza la limpieza de la zona y se procede a colocar el concreto con bomba de concreto, se utilizan vibradores de inmersión. Terminado el colado y una vez fraguado el concreto se pone la membrana de curado. Después de transcurridas por lo menos 12 horas se descimbran los costados y se aplica la membrana de curado. Cuando se alcance aproximadamente el 80% de resistencia del concreto se procede al retiro de obra falsa y descimbrado del fondo del cabezal.

## **Estribos.**

Para la construcción de los estribos se procede como en la construcción de las zapatas antes del armado, posteriormente se coloca el armado del acero de refuerzo del cuerpo del estribo y aleros, teniendo cuidado con los traslapes en cada sección, alineamiento y recubrimiento del acero de refuerzo. Una vez terminado el armado de una etapa a continuación se cimbra el cuerpo del estribo, las etapas de colado para el cuerpo del estribo se consideran con una altura máxima de 2.40 m., la cimbra a utilizar es del tipo Tablero Steel-ply con el sistema cantiliver, formando tableros que se encadenan entre si, terminado el alineamiento, troquelamiento de la cimbra, revisión de recubrimientos del acero de refuerzo, se procede a la limpieza sopleteando la zona por colar, para la colocación del concreto se instala tubería y bomba para concreto estacionaria, se coloca el concreto por medio de la misma y se compacta con vibradores por inmersión para lograr un buen acomodo y acabado, sin pasarse de vibrado para evitar segregar la mezcla del concreto. Una vez fraguado se procede a escarificar la superficie que formará la junta del colado, se descimbra, se aplica membrana de curado, y se mueve la cimbra hacia la siguiente etapa de colado. Se continúa con este procedimiento hasta colar el nivel de cabezal del estribo.

Los aleros y muros laterales quedan pendientes por ser colados una vez que la superestructura quede terminada sobre el estribo. Así también se hará con el diafragma del estribo. Por ultimo, cuando la superestructura esta concluida, se procede a rellenar la excavación hasta el nivel de losa de acceso prevista en el proyecto, se cimbra, arma y cuela la losa de acceso siguiendo los procedimientos antes vistos. Cuando el concreto a alcanzado una buena resistencia (aproximadamente el 70% de la resistencia del proyecto) se procede a rellenar hasta nivel de rasante con carpeta asfáltica, se coloca la junta de calzada en la reservación ubicada en el diafragma del estribo y en la superestructura.

## **Superestructuras de puentes.**

La superestructura de los puentes en general es similar, pero en esta caso en específico no se harán referencias particulares y se plantea el método con el que se construyeron los puentes del proyecto en estudio, sin embargo dentro del proyecto se encuentran diferencias estructurales entre algunas de las estructuras del propio, por lo mismo se plantearan estos contrastes y se puntualizaran las diferencias estructurales y constructivas que se requieran para la realización de estas obras, siempre y cuando estas diferencias sean de consideración. En este punto es importante señalar que no se analizarán a fondo ni el proyecto ni los procedimientos estructurales referentes a estas estructuras, ya que no es tema de este trabajo de investigación.

## **Puentes Texcapa, Hayatlaxco, Acuntitla y Achacuntla.**

La superestructura de los puentes mencionados se realiza conforme a lo siguiente:

- a) Se inicia con la fabricación y el montaje de obra falsa para efectuar el colado de dovela sobre pila, utilizando estructura metálica a base de IPR ángulo y placa de acero.
- b) Sobre la obra falsa se coloca la cimbra de contacto de la dovela sobre pila, se coloca el acero de refuerzo, el acero de preesfuerzo transversal y posteriormente se coloca el concreto, una vez que el concreto tiene el 70% de la resistencia del proyecto se procede al tensado de cables de preesfuerzo transversales.
- c) Finalizadas estas actividades se procede al descimbrado y desmontaje de la obra falsa.
- d) Simultáneamente a las actividades anteriores se deben de estar adecuando los carros de colado y cimbra de contacto en taller, a la geometría del proyecto
- e) Concluida la adecuación de los carros de colado, se trasladan al sitio de las pilas por colar.
- f) El ensamble y armado de los carros de colado se realiza en sitio.
- g) La armadura o plataforma superior se arma y monta apoyándose en la dovela sobre pila previamente descimbrada; la plataforma inferior y cimbra de contacto se arma o ensambla en piso para posteriormente izarla hasta la posición para inicio de actividades de construcción de dovelas.
- h) Cuando la cimbra se encuentra colocada en su sitio se procede al armado del acero de refuerzo para la dovela dejando las preparaciones para el armado posterior de la costilla.
- i) Se coloca el acero de preesfuerzo transversal y barras de preesfuerzo de 50 mm. de diámetro, se coloca el anclaje y ductos de los cables de preesfuerzo longitudinal.
- j) Se realiza la nivelación y control geométrico, y se coloca el concreto por medio de bomba.
- k) Después del colado se realiza otra nivelación y control geométrico, se espera que el concreto adquiera el 70% de su resistencia de proyecto.
- l) Se tensan los cables de preesfuerzo transversal y posteriormente las barras de 50 mm. de la dovela colada ( $D_n$ ).
- m) Se avanza el carro de colado a la dovela  $D_n + 1$ .
- n) Se realiza el armado, colocación de ductos de preesfuerzo, cimbrado y colado de costilla de la dovela anterior ( $D_n - 1$  considerando la dovela  $D_n + 1$ ).
- o) Se inserta el cable de preesfuerzo longitudinal y se espera resistencia del 70% del concreto de la costilla de la dovela anterior.
- p) Con la resistencia del concreto antes indicada, se procede al tensado de los cables longitudinales de la dovela en cuestión ( $D_n - 1$ ) y se realiza nivelación y control geométrico. Se continúa con el cimbrado, armado, colocación de acero de preesfuerzo, colado de la dovela  $D_n + 1$ , repitiéndose los pasos de los incisos h al n, continuando prospectivamente con los incisos "o" y "p" hasta completar el número de dovelas de la estructura.
- q) Se coloca la obra falsa, cimbra, acero de refuerzo, acero de preesfuerzo transversal, ductos de cables longitudinales y colocación de concreto de las dovelas de orilla.
- r) Se realiza la dovela de cierre orilla de los claros en el orden o secuencia establecido por el proyecto estructural de proyecto general ejecutivo de la obra.

- s) Se insertan los cables de preesfuerzo de continuidad o longitudinales en los tres claros con los que cuentan los puentes referidos, y se tensan siguiendo el orden de tensado que indique el proyecto ejecutivo.
- t) Una vez cerrada la estructura y tensado los cables de continuidad, se continúa con la construcción de las guarniciones para posteriormente colocar los parapetos metálicos.
- u) Paralelo a la actividad anterior se procede a la construcción de los accesos y aproches, hasta el nivel de subrasante cumpliendo con el grado de compactación especificada en el proyecto.
- v) Enseguida se coloca la súbbase, base, losa de acceso (en caso de que lo indique el proyecto) y carpeta asfáltica, cumpliendo con los requisitos de calidad especificados y se continúa con las obras complementarias como; guarniciones de acceso, lavaderos, bordillos y defensa metálica.
- w) Las juntas de calzada se colocan posterior a la colocación de carpeta asfáltica.

En el caso del montaje de traveses para el puente “Acuntitla”, debido a la altura de las pilas del puente, la maniobra para el montaje de las traveses con grúas se hace muy complicada y peligrosa, por este motivo el montaje es realizado con una lanzadora de traveses, la cual es un sistema estructural integrado por diferentes componentes mecánicos, eléctricos e hidráulicos que conjuntamente hacen posible el izaje, desplazamiento longitudinal y transversal, y colocación de las traveses. El montaje de las traveses se hace en secuencia tal como lo especifica el proyecto, la losa y el diafragma deben construirse antes de continuar con el montaje de las traveses del siguiente claro.

## **Puente “Tejocotal”.**

### **Estructura metálica.**

Se realiza la fabricación de la estructura metálica como piezas independientes en el taller de habilitado y ensamble. Antes de iniciar estas actividades se debe de realizar la ingeniería de detalle y elaboración de los planos para el taller y para la autorización del cliente y la supervisión. El proceso de fabricación de las piezas que se habilitarán y ensamblarán en el taller se divide en las siguientes etapas:

- Alma-patín superior derecho.
- Alma-patín superior izquierdo.
- Patín inferior.
- Contraventeos.

Estas piezas llevan el proceso de habilitado, conformado y soldado, preparación de bisel para soldadura en campo, preparación de barrenos (para atornillado), presentación de piezas derecha e izquierda para su correcto ensamble en obra, estas piezas se marcan para identificación posterior en obra. A los patines superiores se les colocan en taller los pernos de cortante tipo Nelson o similares. Estos pernos se colocan por medio de electrofusión con un equipo denominado perneadora. A las piezas que se habilitan y arman se denominan “pieza independiente” y se le aplica la limpieza con chorro de arena (sand-blast) y se

recubre con la primera capa de protección anticorrosiva. (Cada pieza debe de salir liberada por inspección de soldadura y por control geométrico para poder montarse en sitio).

Para el ensamble en el sitio se preparan las plataformas y mesas de trabajo considerando la pendiente longitudinal del proyecto. Se procede al ensamble de las piezas independientes para formar las traveses tipo "U" de cada claro. (Cada pieza debe de salir liberada por inspección de soldadura y por control geométrico para poder montarse en sitio). Una vez liberada la trabe tipo "U" se procede a su montaje en el cabezal, para el montaje se emplearán dos grúas de la capacidad adecuada para efectuar este montaje, el peso aproximado de cada trabe es de 80 ton. Enseguida se procede a colocar el contraventeo horizontal y vertical del claro montado. Antes de efectuar el montaje de las mismas se colocan los apoyos tipo "Tetron". Después del montaje de las traveses se efectúa el ensamble atornillado en las secciones que indica el proyecto.

### **Pruebas de soldadura.**

Una vez que las dovelas para la estructura metálica se han habilitado, se procede a realizar las pruebas especificadas de soldadura para la estructura metálica (radiografía al 100% en soldadura a tope, 10% de líquidos penetrantes en el caso de soldadura de filete y 100% de inspección visual a todas las soldaduras).

### **Recubrimiento anticorrosivo.**

Ya liberada la dovela con las pruebas de soldadura, se procede a la aplicación del recubrimiento anticorrosivo con forme a lo siguiente:

- Primario con espesor de 3 mils.
- Intermedio con espesor de 10 mils. (en dos capas de 5 mils cada una).
- Acabado con espesor de 5 mils.

La garantía de recubrimiento anticorrosivo debe ser por 30 años, según es requerido por la especificación aplicable.

### **Losa de concreto para el puente.**

El procedimiento es igual que para los demás puentes, sin embargo se coloca un monten en el patín superior, apoyado sobre las vigas y que sirve de cimbra metálica para la losa de concreto armado. se coloca el acero de refuerzo de losa sobre la cimbra metálica, dejando las preparaciones para guarniciones, se revisa con topografía los niveles de colado. Se hace limpieza de la zona por colar y se coloca el concreto de la losa con bomba estacionaria, se tiene cuidado de dejar el acabado rugoso para recibir la carpeta asfáltica, después del colado se coloca la membrana de curado.

## **VIII.7. Construcción para pasos inferiores vehiculares.**

### **Construcción de subestructuras de PIV's**

#### **Excavación.**

Antes de iniciar la excavación para desplante de cimentación de los apoyos de los PIV's, se deben tener los trazos y espesores de corte por parte de topografía. Ya que se cuenta con los datos topográficos, se procede a realizar la excavación, utilizando una retroexcavadora 330 o 325 y camiones de volteo para desalojar el material producto de excavación. La excavación concluye cuando la caja donde se va a alojar la cimentación tienen las dimensiones de proyecto y los niveles están 5 cm. por abajo del desplante de la cimentación; esto es para alojar la plantilla de 100 Kg./cm<sup>2</sup>.

La construcción de zapatas se realiza de manera similar al procedimiento antes señalado para las zapatas de los puentes.

La construcción de pilas y estribos, se lleva a cabo una vez concluidas las zapatas, en el caso de las pilas se realizan de manera seccionada utilizando cimbra tradicional, dependiendo de la altura de cada pila, hasta llegar al nivel del cabezal de cada una.

#### **Superestructura de pasos inferiores vehiculares.**

La superestructura de los PIV's esta formada por traveses de concreto preesforzadas ASSHTO tipo III y tipo IV. Las traveses se fabrican de preferencia en la planta PRET de acuerdo a dimensiones y al tipo de traveses, las cuales son transportadas al sitio sobre tractocamión equipado con Dolly-remolque. Una vez en el sitio se realiza el montaje con las grúas de la capacidad requerida, sobre los cabezales de la estructura. Previo al montaje se colocan los apoyos de neopreno autorizados por la SCT. Montadas las traveses se procede al cimbrado de diafragmas y losa; se coloca el acero de refuerzo y el concreto de acuerdo a la resistencia especificada.

#### **Construcción de accesos.**

Cuando se han terminado los estribos de las subestructuras se inicia con la construcción de los accesos. La construcción de los mismos se realiza a nivel de rasante. Se realiza el desvío del tránsito por el nuevo P.I.V. y si existen instalaciones de algún tipo, por ejemplo tuberías de PEMEX, también se realiza el cambio de tuberías. Después de realizar el desvío se procede a la excavación inferior de la zona de PIV y PIT para la construcción de la autopista en mención.

## **Control de calidad.**

Para garantizar la calidad de los productos procesados, agregados pétreos y concretos hidráulicos se instala un laboratorio de campo, fundamental en una obra de tal magnitud, en donde tal y como se ha venido desarrollando en esta tesis, se demuestra físicamente en una obra que se está realizando en la fecha de dicho trabajo de investigación, que no sería factible realizar una obra con calidad sin contar con la experimentación, ya sea de campo o en laboratorios establecidos para dichos fines.

Se instala dicho laboratorio con las características y dimensiones de acuerdo al proyecto, con personal altamente calificado para la supervisión del control de calidad de los productos de la obra; así mismo se presenta un plan de inspección y pruebas para cada una de las etapas de construcción, dicho plan indica la frecuencia del muestreo, el tipo de prueba y lo que indique las especificaciones para su aceptación. Todo el equipo se encuentra calibrado de acuerdo al sistema de calidad propio de la empresa, ajustado a las especificaciones del proyecto ejecutivo, por lo que se puede garantizar la veracidad de los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos efectuados.

### **VIII.8. Señalamiento para la protección de las obras.**

La empresa suministra y coloca el señalamiento necesario y suficiente para resguardar la seguridad del personal que labora en el proyecto y de las comunidades que interfieren o tienen vecindad con al obra, en la inteligencia que para el inicio de las actividades, las áreas están señalizadas como lo marca el manual de dispositivos para esta actividad; se cuenta en la obra con todo el señalamiento indicado en esta licitación, la supervisión autoriza el inicio de los trabajos una vez que el señalamiento ha sido colocado.

Es importante señalar que en virtud de la presencia del alto aforo vehicular que se presenta en la zona del proyecto (Carretera Federal México-Tuxpan y el tramo de autopista en operación), la empresa atiende con eficiencia las normas y procedimientos de seguridad y salvaguarda que garantice la integridad física de los usuarios de las carreteras, puentes e instalaciones y la de los trabajadores que participan en la obra, debiendo considerar lo siguiente:

- Se debe cumplir con la señalización que viene marcada en el Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras, editado por la SCT.
- El personal de trabajo debe contar con el equipo adecuado de seguridad, de acuerdo con las condiciones que marca el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Se debe contar con un almacén suficiente de dispositivos, equipos y materiales indispensables y completos, para la señalización de la obra y protección personal de los trabajadores.
- Se deben mantener las áreas y entornos de construcción con el máximo de limpieza y visibilidad.

- Se deben colocar señalamientos especiales en las entradas y salidas de los bancos de materiales, plantas de agregados, de asfalto y todas las entradas que sean utilizadas para realizar el proyecto de acuerdo al Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras, editado por la SCT.

### **Dispositivos para protección de obras (señalamiento nocturno).**

Además del señalamiento diurno necesario, se debe instalar señalamiento nocturno luminoso, quedando a cargo de la empresa el aumento del número de señales de acuerdo a las necesidades del proyecto, en los tramos de las obras en la que la seguridad de los usuarios de la Carretera Federal México-Tuxpan y el tramo de la autopista en operación, condiciones climatológicas adversas o intensidad de tránsito, la cantidad de señalamientos depende de la longitud del tramo en proceso.

El señalamiento nocturno, para proteger las zonas afectadas por la obras, debe contar por frente de trabajo con 1 generador de energía eléctrica, que mantenga en operación 1 flecha luminosa intermitente, de 86 cm. de ancho por 178 cm. de largo, como dimensiones mínimas. También se deben tener series con focos de 40 Watts a cada 20 metros, cubiertos con pantallas protectoras traslucidas de color rojo; series que tendrán la longitud necesaria para cubrir las desviaciones y/o las áreas de trabajo; esto, además de colocar las señales reflejantes de señalamiento diurno.

Se tienen que aplicar todas las providencias que sean necesarias, para mantener la continuidad fluidez del tránsito en las salidas y entradas de los bancos y/o plantas de asfalto, plantas de concreto y lugares de acceso a la obra, en tal forma, que se reduzcan al mínimo las molestias que se ocasionen a los usuarios, por la ejecución de las obras y conlleven a prevenir y evitar al mismo nivel, accidentes de cualquier naturaleza, ya sea por motivos de las obras o por movimientos de maquinaria, equipo o abastecimiento de materiales.

### **Aseguramiento de calidad.**

Las políticas de calidad de la empresa (ICA) están debidamente enmarcadas en el Manual de Aseguramiento de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente y se consideran de vital importancia para el cumplimiento de los objetivos enmarcados en las responsabilidades de dicha compañía, así como la satisfacción de los clientes.

### **Entrega y recepción de obra.**

Concluidos los trabajos, se informa a la supervisión mediante bitácora de obra y/o mediante oficio de la terminación de los mismo y se procede a programar la recepción de la obra, lo cual implica pasar el cuidado y control de la construcción realizada según los términos del contrato al cliente o a quien éste asigne, representando acomodados financieros por trabajos concluidos y debidamente recepcionados.

## IX. CONCLUSIONES.

Para concluir este trabajo de investigación es indispensable insistir en la importancia que la ingeniería experimental tiene cada etapa en el desarrollo de obras de ingeniería civil, como son fundamentalmente la planeación, los estudios, el proyecto y la construcción.

En el caso de la planeación, la función de la experimentación es reducida, ya que sus relaciones con ella son únicamente las de obtención y proporcionamiento de datos estadísticos.

Con el proyecto su vinculación es total, en esta etapa la ingeniería experimental tiene un valor equivalente al de la teoría. Se ha comprobado en el caso de estudio que ambas ramas de la ingeniería no deben desligarse para formar unidades separadas, pues esto significa una falta de coordinación en su desarrollo, ocasionando seguramente errores en la etapa de proyecto y por ende en las etapas siguientes.

En la construcción, la función de la experimentación es tan importante como en el proyecto, sólo que no mantiene una relación directa con la ejecución, aunque sí una coordinación en el proceso de trabajo. En el proyecto contribuye al diseño de la obra, en la construcción a su correcta ejecución.

La experimentación y la teoría deben mantener caminos vinculados y paralelos tanto en la etapa de diseño como en la ejecución del proyecto.

En el proyecto México-Tuxpan, tramo El Tejocotal, de acuerdo con lo anterior, se tienen las siguientes conclusiones antes de entrar en operación:

La carretera en proyecto contribuye a mejorar la comunicación en el eje central del país, comenzando en una primera etapa ya concluida en el puerto de Acapulco, Estado de Guerrero, y finalizando la última etapa hasta llegar a Tuxpan, Estado de Veracruz; dichas obras están consideradas en el plan de desarrollo de la Red Básica Nacional, en su apartado de ejes troncales principales, para el año 2010 como primera etapa de desarrollo carretero de importancia en nuestro país.

La formación de los ejes carreteros es importante en términos socio-económicos, ya que puede significar una derrama económica en la región que está vinculada al tránsito del país, tanto de transporte de carga como de pasajeros.

El presente trabajo representa un planteamiento para aprovechar, en primera instancia, los procesos teórico-experimentales de la ingeniería civil para la construcción de vías carreteras de primer nivel, fundamentando métodos y tecnologías de punta para llevar a buen fin y con excelente calidad las obras planeadas en los ejes troncales principales del país.

Un aspecto a destacar tiene que ver con la manera en que se fundamenta el desarrollo de la construcción, incluso antes del proyecto. Un concepto fundamental en ingeniería, es el que el diseño y la planeación de la construcción tendrán que ser

acordes con los parámetros y objetivos económicos (niveles de costo, desviaciones, periodo de construcción, utilidad, etc.) definidos para el proyecto en su conjunto. Por ejemplo, en el caso de estudio, cualquier cambio u optimización técnica propuesta tendrá una implicación en la estructura financiera del proyecto, y deberá forzosamente ser autorizada por el fideicomiso de administración constituido por el cliente.

En nuestro caso de estudio, al ser una obra que se encuentra en la planificación de ampliación y modernización de los ejes troncales del país, la obra no fue concesionada, sino que se construye con dinero de un fideicomiso creado expresamente para dicha vía por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Una vez concluidos los estudios, la planeación y el proyecto, se procede con la implementación de los medios para constituir el fideicomiso para comenzar con la etapa de construcción, en la que se definen de manera clara las funciones de cada parte, tanto de la empresa constructora, como de la supervisión por parte del cliente.

Los métodos propuestos en este trabajo de investigación, son concluyentes en el caso de estudio, en el que se demuestra que dichos métodos no han variado en demasía, sino más bien se han ido modernizando e incluso, se puede asegurar que algunas técnicas propuestas son muy susceptibles de usarse en la obra carretera, tales como los sistemas en la solución de problemas en mecánica de suelos y en la planificación de los sistemas de supervisión en la obra por ambas partes (constructora-fiduciaria), también se demuestra y se concluye la importancia de los análisis de laboratorio durante todas las etapas en las que intervenga para llevar a cabo una realización correcta de las obras, en cumplimiento con los sistemas de planeación diseñados para dichos trabajos, en los que nuestros planteamientos se han calificado como correctos en la realización de este tramo de obra carretero que completa el eje troncal Acapulco-Tuxpan en su totalidad.

Las metodologías empleadas en este proyecto permiten utilizar métodos tradicionales y modernizarlos. Lo anterior es posible gracias al conocimiento de los parámetros que originan y modelan a los sistemas de laboratorio, proyección y construcción tradicionales, que al ser conjuntados con las tecnologías actuales permiten soluciones seguras, controladas y eficientes.

Un beneficio importante, a la hora de implementar los métodos propuestos lo crea la manera en que se plantean para su análisis, permitiendo que la información generada sea construida de manera individual por rubros, para después ser analizada de manera conjunta, lo que permite diferenciar niveles de información y disminución de errores; además de que al momento de implementar la información en una aplicación practica resulta ser mucho más sencilla dicha implementación.

## **Comentarios finales.**

A manera de comentarios dirigidos hacia la realización de futuros trabajos, es nuestra intención dejar testimonio de algunos aspectos por mejorar con el paso del tiempo.

Un asunto importante tiene que ver con la tecnología de información, que permita de manera correcta y concisa crear nuevos sistemas que reduzcan tiempos, costos y errores para proyectos futuros.

Los planteamientos teóricos y experimentales se van modernizando y es importante considerarlos de esta manera, sin embargo estas actualizaciones deben tomarse profesionalmente analizando la base de dicha actualización, para evitar incurrir en errores garrafales a la hora de implementar dichos métodos nuevos. Esto no quiere decir que deban descartarse, ya que sin estas actualizaciones o modernizaciones, no sería posible implementar nuevas tecnologías y metodologías que nos permitirán realizar obras cada vez de mejor calidad, en menor tiempo y a menor costo.

## ANEXOS.

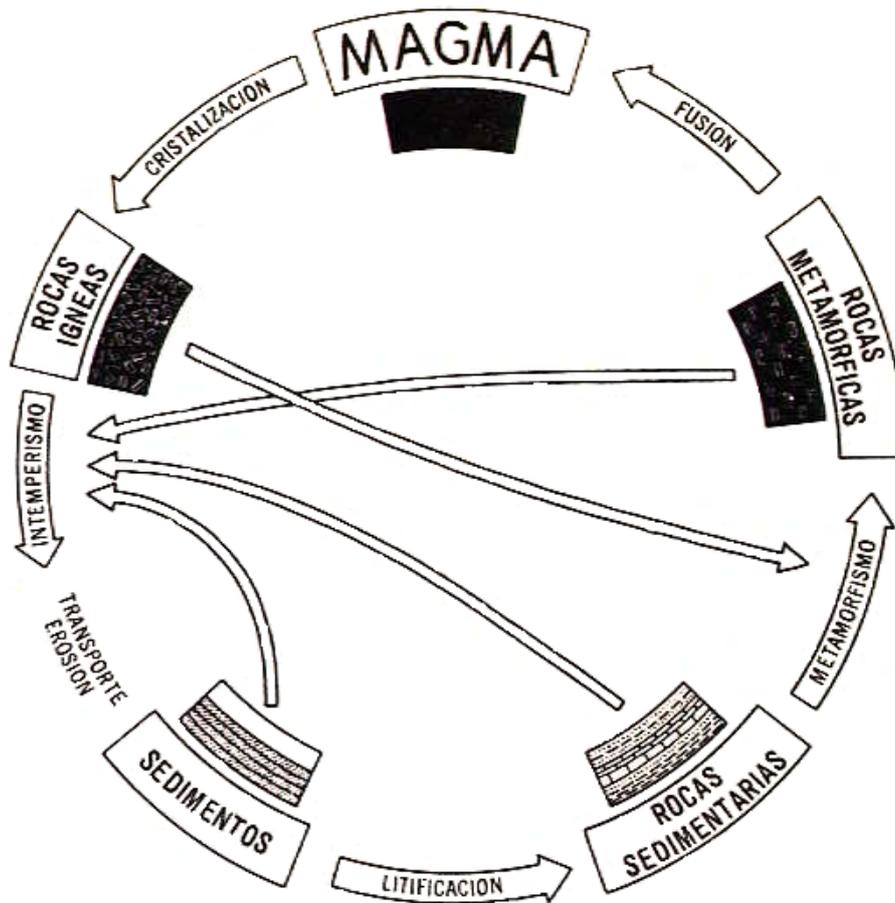
### ANEXO "A"

#### Programa de libramientos 2001-2010.

PROGRAMA DE LIBRAMIENTOS EN LAS PRINCIPALES CIUDADES 2001-2010.			
Eje	Ciudad y Ubicación	Longitud (km)	Inversión
<b>1. México-Nogales.</b>		<b>185.5</b>	<b>2,379.0</b>
	Toluca-Edo. Méx. (N-Ote.)	30.0	240.0
	Atacomulco, Edo. Méx.	13.5	190.0
	Guadalajara, Jal. (sur)*	76.0	1,350.0
	Tepic, Nay.	14.0	186.0
	Villa Unión, Sin.	11.0	110.0
	Mazatlán, Sin.	22.0	153.0
	<b>Ramal a Lazaro Cardenas</b>		
	<b>Acapulco</b>		
	<b>Ramal Tijuana</b>		
	Tijuana, B.C.	19.0	150.0
<b>2. México-Nuevo Laredo</b>		<b>74.6</b>	<b>690.0</b>
	Matehuala, S:L:P (Ote.)	13.3	210.0
	<b>Ramal a Piedras Negras</b>		
	Saltillo, Coah. (N-Ote.)	45.0	350.0
	Piedras Negras, Coah.	16.3	130.0
<b>3. Querétaro-Ciudad Juárez</b>		<b>24.0</b>	<b>160.0</b>
	Zacatecas, Zac.	24.0	160.0
<b>4. Acapulco-Tuxpan</b>		<b>22.0</b>	<b>170.0</b>
	Tulancingo, Hgo.	22.0	170.0
<b>5. México-Chetumal</b>		<b>25.3</b>	<b>206.0</b>
	Cárdenas, Tab. (Norte)	10.8	90.0
	Villahermosa, Tab. (N-Pte.)	14.5	116.0
	<b>Ramal a Oaxaca</b>		
	<b>Ramal a Chiapas</b>		
<b>6. Mazatlán-Matamoros</b>		<b>30.0</b>	<b>305.0</b>
	Reynosa, Tamps.	22.0	215.0
	Matamoros, Tamps.	8.0	90.0
<b>7. Manzanillo-Tampico</b>		<b>8.0</b>	<b>80.0</b>
	Lagos de Moreno, Jal.	8.0	80.0
<b>8. Acapulco-Veracruz</b>		-----	-----
<b>9. Veracruz-Monterrey</b>		<b>38.0</b>	<b>360.0</b>
	Allende-Per. de Monterrey	38.0	360.0
<b>10. Transpeninsular</b>		-----	-----
		<b>407.4</b>	<b>4,350.0</b>
<b>TOTAL DE LIBRAMIENTOS</b>		<b>814.8</b>	<b>8,700.0</b>

\* Estas obras se terminarán después del año 2010.

**DIAGRAMA DEL CICLO DE LAS ROCAS**



**NOTA IMPORTANTE:**

SI NO SUFRE INTERRUPCIONES, EL CICLO DE LAS ROCAS SE DESARROLLARÁ COMPLETAMENTE, COMO SE INDICA EN EL CIRCULO INTERNO, A PARTIR DEL MAGMA, PASANDO POR LAS ROCAS IGNEAS, LOS SEDIMENTOS, LAS ROCAS SEDIMENTARIAS Y LAS METAMÓRFICAS, PARA TRANSFORMARSE NUEVAMENTE EN EL MAGMA.

SIN EMBARGO, EL CICLO SE PUEDE INTERRUMPIR EN DIVERSOS PUNTOS A LO LARGO DEL CICLO PARA SEGUIR EL CAMINO INDICADO POR ALGUNAS DE LAS FLECHAS QUE CRUZAN MARCADAS EN EL ESQUEMA.

**Tabla de clasificación unificada de suelos incluyendo descripción<sup>a</sup> e identificación.**

<i>División principal</i>	<i>Símbolo del grupo</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Procedimiento de identificación en campo. b</i>	<i>Criterios de clasificación de laboratorio. c</i>	
<b>A. Suelos de grano grueso (más de la mitad del material es mayor que la malla No. 200)<sup>d</sup></b>					
<b>1. Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que la malla No.4)<sup>e</sup></b>					
Gravas finas (pocos finos o ninguno).	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, pocos finos o ninguno.	Amplia variedad de tamaños de grano y cantidades sustanciales de todos los tamaños intermedios de partículas.	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> >4 1<D <sub>30</sub> /D <sub>10</sub> D <sub>60</sub> <3	D <sub>10</sub> , D <sub>30</sub> , D <sub>60</sub> = tamaños correspondientes al 10, 30, 60% en la curva de tamaños de grano.
	GP	Gravas o mezclas de grava y arena con graduación mala, pocos finos o ninguno.	Predominantemente un tamaño, o un rango de tamaños en donde faltan algunos tamaños intermedios.	Que no cumplan con todos los requerimientos de graduación para GW.	
Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo.	Finos no plásticos o finos de baja plasticidad (véanse los suelos ML).	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o IP<4	Los suelos por encima de la línea A con 4<IP<7 son casos de frontera, requieren uso de símbolos dobles.
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla.	Finos plásticos (véanse los suelos CL).	Límites de Atterberg por encima de la línea A con IP>7	
<b>2. Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que la malla No.4)<sup>e</sup></b>					
Arenas limpias (pocos finos o ninguno)	SW	Arenas bien graduadas, pocos finos o ninguno.	Amplia variedad de tamaños de grano y cantidades sustanciales de todos los tamaños intermedios de partículas.	D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub> >6 1<D <sub>30</sub> /D <sub>10</sub> D <sub>60</sub> <3	

Arena con finos (cantidad apreciable de finos)	SP	Arenas o arenas con grava con graduación mala, pocos finos o ninguno.	Predominantemente un tamaño, o un rango de tamaños en donde faltan algunos tamaños intermedios.	Que no cumplan con todos los requerimientos de graduación para SW.	
	SM	Arenas limosas, mezclas de arena-limo.	Finos no plásticos o finos de baja plasticidad (véanse los suelos ML).	Límites de Atterberg por encima de la línea A o $IP < 4$ .	Los suelos con límites de Atterberg por encima de la línea A mientras $4 < IP < 7$ son casos de frontera, requieren el uso de símbolos dobles.
	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcilla.	Finos plásticos (véanse los suelos CL).	Límites de Atterberg por encima de la línea A con $IP > 7$	

#### Información requerida para la descripción de suelos de grano grueso:

Para suelos inalterados, añádase información sobre la estratificación, grado de compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. Se debe de proporcionar el nombre común: indicando el porcentaje de arena y grava, el tamaño máximo, angularidad, condición de la superficie y dureza de los granos gruesos; el nombre local o geológico y cualquier otra descripción pertinente y el símbolo entre paréntesis. Ejemplo: arena limosa con gravas; con un aproximado del 20% de partículas de grava, angulares y duras, de ½ pulgada de tamaño máximo; granos de arena redondeados y semiangulares, de grueso a finos; alrededor del 15% de finos no plásticos de resistencia baja seca; bien compactada y húmeda en el lugar; arena aluvial; (SM).

**B. Suelos de granos finos (más de la mitad del material es menor que la malla No. 200)<sup>d</sup>**

<i>División principal</i>	<i>Símbolo del grupo</i>	<i>Nombre común.</i>	<i>Procedimiento de identificación <sup>f</sup></i>		
			<i>Resistencia seca (características de trituramiento).</i>	<i>Dilatancia (reacción a las sacudidas).</i>	<i>Tenacidad (consistencia cerca del LP).</i>
Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, roca pulverizada, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	Ninguna a ligera.	Rápida a lenta.	Ninguna.
	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas delgadas.	Media a alta	Ninguna a muy lenta.	Media.
	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	Ligera a media.	Lenta.	Ligera.
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos micáceos o dicotómicos, limos elásticos.	Ligera a media.	Lenta a ninguna.	Ligera a media.
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas..	Ninguno a muy alta.	Ninguna.	Alta.
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.	Media a alta.	Ninguna a muy lenta	Ligera a media.

**C. suelos altamente orgánicos.**

	Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	Se identifican fácilmente por el olor, color, sensación esponjosa y con frecuencia, por su textura fibrosa.		
--	----	--	---	--	--

## Procedimiento de identificación en campo de suelos o fracciones de granos finos:<sup>9</sup>

### Dilatancia (reacción a las sacudidas).

Después de remover las partículas más grandes que la malla No. 40, se prepara una pasta de suelo húmedo con un volumen aproximado de  $\frac{1}{2}$  in<sup>3</sup>. Si es necesario, se añade agua suficiente para ablandar el suelo sin que se haga pegajoso.

Se coloca la pasta en la palma de la mano y se agita horizontalmente, golpeando varias veces con fuerza contra otra mano. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua sobre la superficie de la pasta, que cambia a una consistencia granular y lustrosa. Cuando la muestra se oprime contra los dedos, el agua y el lustre desaparecen de la superficie, la pasta se endurece y por último se agrieta o desmorona. La rapidez con que aparece el agua al agitar y con la que desaparece al oprimir, ayuda a identificar el carácter de los finos en el suelo.

En las arenas limpias muy finas se presenta la reacción más rápida y distintiva, mientras que en una arcilla plástica no hay reacción los limos inorgánicos, como la roca pulverizada típica, presenta una reacción moderadamente rápida.

### Resistencia seca (característica de trituración).

Después de remover las partículas más grandes que la malla No. 40, moldear una pasta de suelo hasta que adquiera una apariencia pegajosa, añadiendo agua si es necesario. La pasta se seca por completo en un horno, al sol o con aire y después se prueba su resistencia quebrantándola y triturándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida del carácter y la cantidad de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia seca se incrementa con el aumento de la plasticidad.

Una resistencia seca alta es característica de las arcillas del grupo CH. Un limo inorgánico típico sólo posee una resistencia seca muy ligera. Las arenas limosas finas y los limos tienen más o menos la misma ligera resistencia seca, pero se pueden distinguir por la sensación al pulverizar el espécimen seco. Las arenas finas se sienten ásperas, mientras que un limo típico da la sensación suave de la harina.

### Tenacidad (consistencia cerca del LP).

Después de remover las partículas más grandes que la malla No. 40, se moldea un espécimen de suelos de alrededor de  $\frac{1}{2}$  in<sup>3</sup> hasta que adquiera una consistencia esponjosa. Si esta demasiado seco, se debe de añadir agua. Si se queda demasiado pegajoso, el espécimen se debe extender en una capa delgada y dejar que pierda algo de humedad por evaporación. Luego, la muestra se rola a mano sobre una superficie lisa o entre las palmas para formar un rodillo de aproximadamente  $\frac{1}{8}$  in de diámetro. Este se dobla y se vuelve a enrollar varias veces. Durante esta manipulación, el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen se endurece, finalmente pierde su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico (LP).

Después de que el rodillo se desmorona, las piezas se deben de agrupar y se continúa una acción ligera de amasado hasta que los grumos se desmoronen.

Mientras más tenaz sea el rodillo cerca del LP y más duros los grumos cuando se desmoronen finalmente, es mayor la fracción de arcilla coloidal en el suelo. La debilidad de los rodillos en el LP y la pérdida rápida de cohesión de los grumos a bajo del LP indican la presencia de arcilla orgánica de plasticidad baja o de materiales como las arcillas del tipo caolín y arcillas orgánicas que se presentan por debajo de la línea A, de la carta de plasticidad.

Arcillas altamente orgánicas dan una sensación al LP muy débil y esponjosa.

### Información necesaria para la descripción de suelos finos:

Para suelos inalterados, añádase información de la estructura, estratificación, consistencia en los estados inalterados y remoldeados, humedad y condiciones de drenaje. Proporciónese el nombre típico; indíquese el grado y característica de la plasticidad, la cantidad y el tamaño máximo de las partículas gruesas; el color en condiciones húmedas; el olor, si lo hay; el nombre local o geológico y cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Ejemplo: limo arcillosos, café; ligeramente plástico; porcentaje pequeño de arena fina: numerosos huecos re raíces verticales; firme y seco en el lugar; loess; (ML).

---

<sup>a</sup> adaptación de las recomendaciones del Corps of Engineers and U.S. Bureau of Reclamation. Todos los tamaños de malla son los normativos en Estados Unidos.

<sup>b</sup> excluyendo las partículas mayores de 3 in y basando las fracciones en los pesos estimados.

<sup>c</sup> utilícese la curva de tamaños de grano al distinguir las fracciones como se indica bajo la identificación de campo.

En suelos de granos gruesos, determinense los porcentajes de grava y arena de la curva de tamaños de grano. Dependiendo del porcentaje de finos (fracciones más pequeñas que la malla No. 200), los suelos de granos gruesos se clasifican como sigue:

Menos del 5% de finos	GW, GP, SW, SP
Más del 12% de finos	GM, GC, SM, SC
Del 5 al 12% de finos	Casos de frontera que requieren la utilización de símbolos dobles.

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con una combinación de símbolos de grupos; por ejemplo: GW-GC indica una mezcla de grava-arena bien graduada con arcilla de liga.

<sup>d</sup> el tamaño de la malla No. 200 es aproximadamente el de la partícula más pequeña visible a simple vista.

<sup>e</sup> en una clasificación visual, se puede utilizar el tamaño de ¼ in como equivalente a la malla No. 4.

<sup>f</sup> es aplicable a fracciones más pequeñas que la malla No. 40.

<sup>g</sup> estos procedimientos se deben desarrollar en las partículas de tamaño menor al de la malla No. 40 (cerca de 1/64 in).

Para propósitos de clasificación en campo, no se requiere tamizar. Simplemente remuévanse a mano las partículas gruesas que interfieran con las pruebas.

## MINERALES

Muchos de los minerales más comunes se pueden identificar a simple vista por sus propiedades físicas. Entre las características usuales para este propósito están:

- La dureza.
- El peso específico.
- La raspadura (algunas veces el color).
- La forma (es decir, su forma cristalina, clivaje y fractura) y,
- Su reacción ante la luz (lustre y transparencia).

La dureza de un mineral se determina rayando la superficie tersa de un mineral con el filo de otro. Al probar la dureza debe uno estar seguro que el mineral sometido a prueba se raya realmente. Algunas veces, simplemente se desprenden partículas del ejemplar, dando la idea de que se ha rayado, aun cuando no ha sido así.

La escala de Mohs, mediante la cual se determina la dureza relativa de los minerales incluye diez de estos ordenados por su dureza de la siguiente manera:

## Escala de dureza de Mohs.

El más suave	1 Talco	
	2 Yeso	
	3 Calcita	2 ½ uña de dedo.
	4 Fluorita	
	5 Apatita	3 moneda de cobre
	6 Ortoclasa	5 ½-6 hoja de la navaja o lámina de vidrio.
	7 Cuarzo	
	8 Topacio	6 ½-7 lima de acero.
	9 Corundo	
El más duro	10 Diamante	

Cada uno de estos minerales rayará a todos aquellos de número inferior en la escala y será rayado a su vez por los de valor más alto. En otras palabras, esta es una escala relativa. En términos de duraza absoluta, las etapas son casi, aunque no del todo, uniformes hasta el número 9. el número 7 es 7 veces más duro que el 1 y el 9 es o veces más duro que el primero; pero el número 10 es unas 40 veces más duro que el uno.

**Peso específico.**

Cada mineral tiene un peso definido por centímetro cúbico; este peso característico se describe generalmente comparándolo con el peso de un volumen igual de agua; el número resultante es lo que se llama peso específico del mineral.

El peso específico de un mineral aumenta con el número de masa de los elementos que lo constituyen y con la proximidad o apretamiento en que estén arreglados en la estructura cristalina. La Mayorga de los minerales que forman las rocas tienen un peso específico de alrededor de 2.7, aunque el peso específico medio de los minerales metálicos es aproximadamente de 5. el peso específico más elevado (19.3) corresponde al oro puro. Estos pesos específicos están dados en g/cm<sup>3</sup>

**Raspadura.**

La raspadura de un mineral es el color que éste presenta cuando se le pulveriza finamente. La raspadura puede ser muy diferente del color del ejemplar, por ejemplo las muestras del mineral hematita pueden ser de color café, verde o negro, pero la raspadura siempre tiene un color café rojizo característico. Una de las maneras más simples de determinar la raspadura de un mineral consiste en frotar una muestra contra un pedazo de porcelana deslustrada llamada placa de raspaduras. El color del polvo que queda en la placa ayuda a identificar el mineral.

### **Forma cristalina.**

Cuando un mineral crece sin interferencia, desarrolla una forma cristalina, característica que se evidencia tan pronto como el cristal es lo suficientemente grande. Si su desarrollo se restringe u obstaculiza de algún modo, la forma característica se distorsiona o modifica. Cada mineral tiene una forma cristalina característica producida por su estructura cristalina.

Los cristales se describen por los sistemas cristalinos. Y estos a su vez se describen por:

- Sus ejes cristalográficos.
- Los ángulos que respectivamente dos de los ejes cristalográficos rodean.
- Las longitudes de los ejes cristalográficos.

Existen 7 sistemas cristalinos y cada uno de ellos tiene sus propios elementos de simetría.

- Sistema cúbico.
- Sistema tetragonal.
- Sistema Hexagonal.
- Sistema Trigonal.
- Sistema Ortorómbico.
- Sistema Monoclínico.
- Sistema triclínico.

Los cristales muchas veces se reconocen por su belleza y simetría.

Los cristales son formados naturalmente o son cultivados artificialmente. Inorgánicos u orgánicos, por ejemplo de folatos o Vitamina B12<sup>8</sup>, que contienen mineral de cobalto. En general sólidos. Materialmente homogéneos. Cristalinos, nunca amorfos. Los cristales tienen una disposición o un arreglo atómico único de sus elementos. Los cristales naturales poseen grados de simetría característicos los que son consecuencia del arreglo interno de los átomos que los forman. Los cristales son isotrópicos o anisotrópicos. Los cristales isotrópicos tienen las mismas propiedades físicas en todas las direcciones. Los cristales los cuales pertenecen al sistema cúbico son los isotrópicos, por ejemplo halita, pirita.

Los cristales anisotrópicos tienen propiedades físicas que son diferentes en distintas direcciones, por ejemplo cordierita, biotita, cuarzo. Cianita o distena respectivamente tiene en su extensión longitudinal una dureza de 4,5 a 5 según la escala de Mohs y una dureza más alta de 6,5 a 7 en su extensión lateral.

### **Clivaje o crucero.**

El clivaje o crucero es la tendencia de un mineral a romperse conforme a direcciones preferentes, a lo largo de superficies planas, tersas. Los planos de clivaje son consecuencia del arreglo interno de los átomos y representan las direcciones en las que las ligaduras atómicas son relativamente débiles.

El clivaje es una dirección de debilidad, y la muestra de un mineral tiende a romperse a lo largo de planos paralelos a esta dirección.

### **Fractura.**

Muchos minerales que no muestran clivaje o crucero se rompen o fracturan de una manera característica. Algunos de los tipos de fractura son:

- concoidea: a lo largo de las superficies curvas, tersas, como la superficie interior de una concha. Se observa comúnmente en el vidrio y en el cuarzo.
- Fibrosa o astillosa: a lo largo de superficies ásperas por astillas o fibras.
- Desigual o irregular: a lo largo de las superficies irregulares ásperas.
- Aserrada: a lo largo de una superficie irregular dentada, con bordes afilados.

---

<sup>8</sup>

La vitamina B12, también conocida como cobalamina o cianocobalamina, es una vitamina hidrosoluble que, al igual que todas las vitaminas del complejo B, no se almacena en el cuerpo y su exceso se elimina por orina todos los días. Esta vitamina es la única que contiene cobalto, un mineral esencial para la salud.

### Lustre.

El lustre es la forma en que el mineral se ve a la luz reflejada. Hay varias clases de lustre.

Metálico	El lustre de los metales
Adamantino	El lustre de los diamantes
Vítreo	El lustre del filo de un vidrio roto
Resinoso	El lustre de la resina amarilla
Aperlado	El lustre de las perlas
Sedoso	El lustre de la seda

### Brillo.

El brillo es debido por la capacidad del mineral de reflejar la luz incidente. Se distinguen minerales del brillo.

Brillo		Ejemplos / Descripción
Metálico		pirita, magnetita, hematita, grafito
semimetálico		uraninita (pechblenda, UO <sub>2</sub> ), goethita
No-metálico	Vítreo	cuarzo, olivino, nefelina, en las caras cristalinas, siderita
	Resinoso	como la resina, p.ej. esfalerita.
	Graso	grasoso al tacto: cuarzo, nefelina de brillo gris grasoso.
	Oleoso	olivino.
	Perlado	como el brillo de las perlas, p.ej. talco, biotita, siderita
	Sedoso	como el brillo de seda: yeso de estructura fibrosa, sericita, goethita
	Mate	como el brillo de la tiza
	Adamantino	brillante: diamante, rutilo

### Color.

Respecto al color se distinguen dos grupos de minerales:

- Los minerales idiocromáticos
- Los minerales alochromáticos.

Se llama idiocromáticos a los minerales que tienen colores característicos relacionados con su composición. En este caso el color es útil como medio de identificación.

- Minerales idiocromáticos con colores distintos son por ejemplo:

Mineral	Color
Magnetita	negro
Hematita	rojo
Epidota	verde
Clorita	verde
Lápiz lazuli	azul oscuro
Turquesa	azul característico
Malaquita	verde brillante
Cobre nativo	rojo cobrizo

- Los minerales que presentan un rango de colores dependiendo de la presencia de impurezas o de inclusiones se llaman alochromáticos. A los minerales alochromáticos pertenecen por ejemplo: Feldespato potásico, cuyo color varía de incoloro a blanco pasando por color carne hasta rojo intenso o incluso verde. Cuarzo: Cuarzo puro es incoloro. La presencia de varias inclusiones líquidas le da un color blanco lechoso. Amatista es de color púrpura característico que probablemente es debido a impurezas de Fe<sub>3+</sub> (ion ferrico) y Ti<sub>3+</sub> (ion de titanio) y la irradiación radioactiva. Corindón: Corindón puro es incoloro. Corindón portando cromo como elemento traza

es de color rojo y se lo llama rubí. El zafiro es una variedad transparente de corindón de varios colores.

Por la existencia de minerales alocromáticos el color es un medio problemático para identificar un mineral.

### **Color de la raya.**

El color de la raya es debido por trozos del cristal molidos muy finos, colocados sobre una base blanca, como por ejemplo: un trozo de porcelana facilita el que separemos si nos encontramos ante un mineral de color propio o ajeno. El color de la raya del feldespato potásico siempre será blanca igualmente si es producido por un feldespato potásico incoloro, de color carne o verde. El color de la raya tiene importancia en la identificación de las menas<sup>9</sup>. El color de la raya de magnetita es negra, de hematita es rojo cereza, de goethita es de color café.

### **Otras propiedades de los minerales.**

#### **Cristales maclados.**

Algunos cristales están formados por dos o más partes en las cuales la celosía tiene orientaciones diferentes que están relacionadas en forma geométrica. Los cristales compuestos de este tipo se conocen como cristales maclados.

Hay varios tipos de maclas, por ejemplo maclas simples, maclados de contacto, maclas de interpenetración, maclas paralelas, maclado normal. Se llaman maclas simples a los cristales compuestos de dos partes individuales, que tienen una relación estructural definida. Si las dos partes de una macla<sup>10</sup> simple están separados por una superficie definida, ésta se describe como maclado de contacto. Macla de interpenetración se refiere a los cristales unidos por un plano de composición -superficie a lo largo de la cual los dos individuos están unidos - irregular, por ejemplo. ortoclasa.

#### **Solubilidad.**

La solubilidad depende de la composición del mineral. Sobre todo se usa una dilución fría de ácido clorhídrico HCl para distinguir Calcita de puro CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio) de otros minerales parecidos de una cantidad menor de CaCO<sub>3</sub> o sin CaCO<sub>3</sub>.

La reacción es la siguiente:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$  (dióxido de carbono diluido en agua) +  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se descompone en  $\text{H}_2\text{O}$  y dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (gas).

Burbujas de CO<sub>2</sub> se producen por esta reacción. Se observa la efervescencia de la dilución de ácido clorhídrico cuando se libera el dióxido de carbono. La concentración de la dilución de HCl tiene que ser 5%. Para la aplicación de la dilución de HCl se necesitan un plano fresco de fractura de una roca.

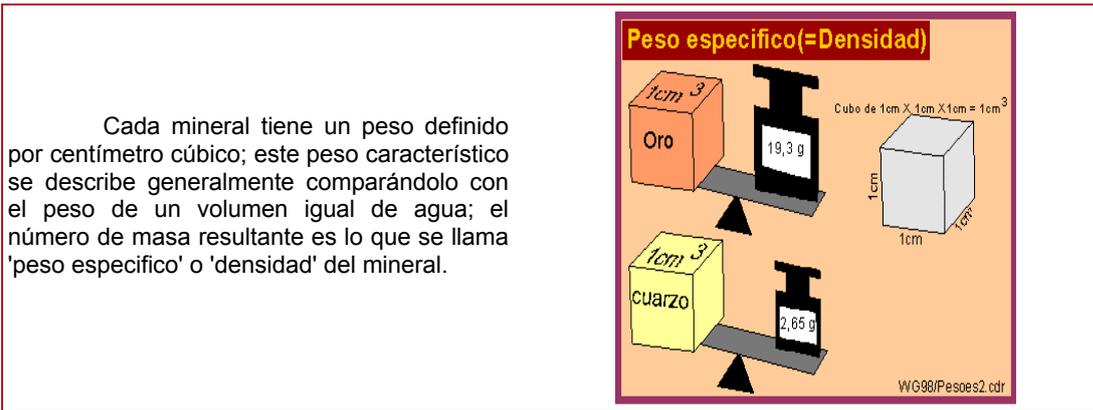
#### **Densidad.**

El peso específico de un mineral aumenta con el número de masa de los elementos que la constituyen y con la proximidad o el apretamiento en que estén arreglados en la estructura cristalina.

---

<sup>9</sup> Mena; depósito mineral metalífero.

<sup>10</sup> Macla: (Del fr. macle). f. Geol. Asociación de dos o más cristales gemelos, orientados simétricamente respecto a un eje o un plano.



La mayoría de los minerales que forman rocas tienen un peso específico de alrededor de 2,7 g/cm<sup>3</sup>, aunque el peso específico medio de los minerales metálicos es aproximadamente de 5 g/cm<sup>3</sup>. Los minerales pesados son los que tienen un peso específico más grande que 2,9 g/cm<sup>3</sup>, por ejemplo circón, pirita, piroxeno, granate.

**Algunos ejemplos:**

Densidad en g/cm <sup>3</sup>	Mineral
2,65	Cuarzo
2,5	Feldespato
2,6-2,8	Plagioclasa
4,47	Baritina
4,9	Magnetita
5,0-5,2	Pirita
19,3	Oro

**Propiedades magnéticas y eléctricas.**

Todos los minerales están afectados por un campo magnético. Los minerales que son atraídos ligeramente por un imán se llaman paramagnéticos, los minerales que son repelidos ligeramente por un imán se llaman diamagnéticos. Magnetita Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y piritita Fe<sub>1-n</sub>S son los únicos minerales magnéticos comunes.

Los minerales tienen diferente capacidad para conducir la corriente eléctrica. Los cristales de metales nativos y muchos sulfuros son buenos conductores, minerales como micas son buenos aislantes dado que no conducen la electricidad.

**Luminiscencia y fluorescencia.**

Luminiscencia

Luminiscencia se denomina la emisión de luz por un mineral, que no es el resultado de incandescencia. Se la observa entre otros en minerales que contienen iones extraños llamados activadores.

Fluorescencia.

Los minerales fluorescentes se hacen luminiscentes cuando están expuestos a la acción de los rayos ultravioleta, X o catódicos. Si la luminiscencia continua después de haber sido cortado la excitación se llama al fenómeno fosforescencia y al mineral con tal característica mineral fosforescente. Las fluoritas de color intenso son minerales fosforescentes, que muestran luminiscencia al ser expuestos a los rayos ultravioleta.

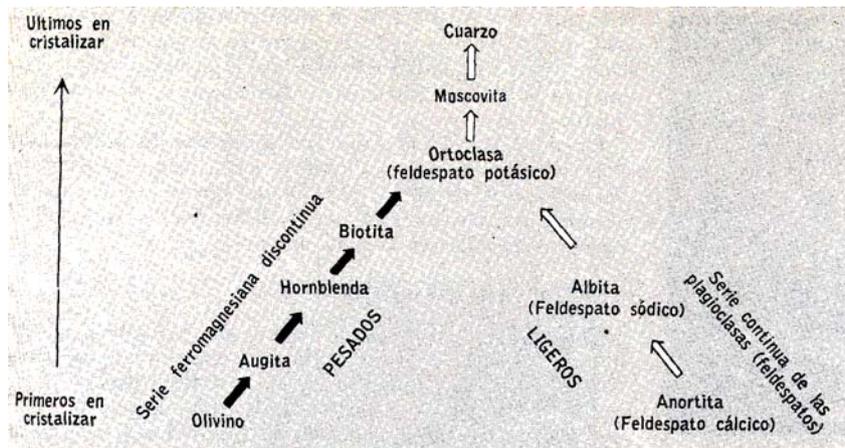
Piezoelectricidad.

Se observa en minerales con ejes polares (sin centro de simetría) como en el cuarzo por ejemplo. Debido a la polaridad de la estructura cristalina al suministrar energía, como calor o presión, al mineral se genera una carga eléctrica en los dos extremos del eje polar de un mineral y dirigido en sentido

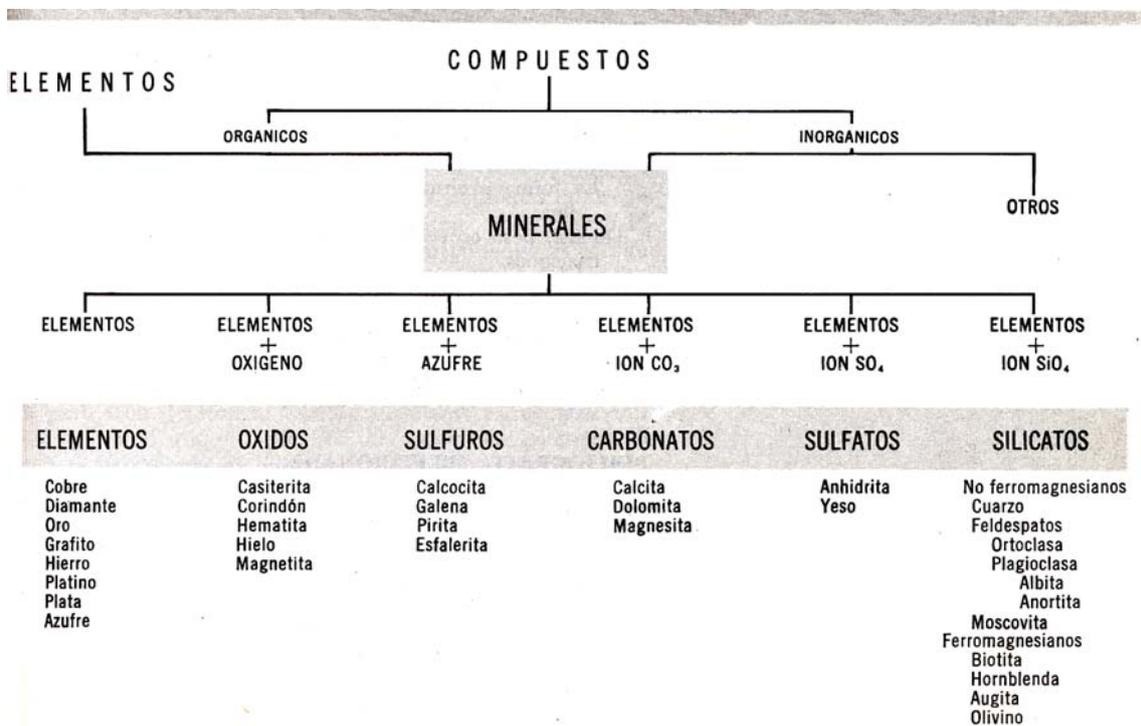
opuesto. El cuarzo piezoeléctrico se emplea por ejemplo en el geófono piezoeléctrico, donde un movimiento vertical de la Tierra ejerce una presión a un cristal de cuarzo y se produce una carga eléctrica. Un otro ejemplo es la "aguja" de un tocadiscos. Un zafiro piezoeléctrico genera una pequeña carga eléctrica a causa de su deformación (movimiento) sufrido arriba de la pista del disco. La información (la música) del disco es representada por un sin numero de cambios morfológicos adentro de la pista del disco. El cristal piezoeléctrico se deforma de acuerdo de estos cambios en la superficie y esto se puede amplificar como sonido

### Serie de reacciones de Bowen.

Rapidez relativa del intemperismo químico de los minerales comunes que forman rocas ígneas.



### Organización de los minerales comunes.



**MINERALES ORDENADOS DE ACUERDO CON SU PESO ESPECIFICO**

PESO ESPECÍFICO	MINERAL	PESO ESPECÍFICO	MINERAL	PESO ESPECÍFICO	MINERAL
2.00-3.00	Bauxita	3.00-3.25	Turmalina	3.90-4.10	Esfalerita
2.16	Halita	3.00-3.30	Actinolita	4.00	Carnotita
2.20-2.65	Serpentina	3.15-3.20	Apatita	4.02	Corundo
2.30	Grafito	3.16	Andalucita	4.10-4.30	Calcopirita
2.32	Yeso	3.18	Fluorita	4.60	Cromita
2.57	Ortoclasa	3.20	Hornblenda	5.02	Pirita
2.60	Caolinita	3.20-3.40	Augita	5.06-5.08	Bornita
2.60-2.90	Clorita	3.23	Silimanita	5.18	Magnetita
2.62	Albita	3.27-3.37	Olivino	5.26	Hematita
2.65	Cuarzo	3.35-3.45	Epidota	5.50-5.80	Calcocita
2.70-2.80	Talco	3.40-3.60	Topacio	6.80-7.10	Casiterita
2.72	Calcita	3.50	Diamante	7.40-7.60	Galena
2.76	Anortita	3.50-4.30	Granate	9.00-9.70	Uraninita
2.76-3.10	Moscovita	3.56-3.66	Kianita		
2.80-2.90	Wollastonita	3.60-4.00	Limonita		
2.80-3.20	Biotita	3.65-3.75	Estaurolita		
2.85	Dolomita	3.77	Azurita		
2.89-2.98	Anhidrita	3.85	Siderita		

**MINERALES ORDENADOS DE ACUERDO CON SU DUREZA**

DUREZA	MINERAL	DUREZA	MINERAL	DUREZA	MINERAL
1	Talco	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -4	Siderita	6	Magnetita
1-2	Grafito	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -4	Esfalerita	6	Ortoclasa
1-3	Bauxita	4	Azurita	6-6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Pirita
2	Yeso	4	Fluorita	6-7	Casiterita
2-2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Clorita	5	Apatita	6-7	Epidota
2-2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Caolinita	5	Kianita	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -7	Silimanita
2-2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Muscovita	5	(a lo largo de los cristales)	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Olivino
2-5	Serpentina	5-1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Limonita	7	Granate
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Galena	5-1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Wollastonita	7	Kianita (a través de los cristales)
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Halita	5-6	Actinolita	7	Cuarzo
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -3	Biotita	5-6	Augita	7-7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Estaurolita
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -3	Calcocita	5-6	Hornblenda	7-7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Turmalina
3	Bornita	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Cromita	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Andalucita
3	Calcita	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Uraninita	8	Topacio
3-3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Anhidrita	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	Hematita	9	Corundo
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -4	Calcopirita	6	Albita	10	Diamante
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -4	Dolomita	6	Anortita		

**MINERALES QUE FORMAN ROCAS**

ÍGNEOS		METAMÓRFICOS		SEDIMENTARIOS		MENAS DE MINERALES	
<i>Esenciales</i>	<i>Accesorios</i>	<i>Regionales</i>	<i>De contacto termal</i>	<i>Esenciales</i>	<i>Cementante</i>	Azurita	Galena
Cuarzo	Apatita	Actinolita	Corundo o	Cuarzo	Sílice	Bauxita	Hematita
Feldspatos	Corundo o	Andalucita	Corindón	Feldspatos	Calcita	Bornita	Magnetita
Micas	Corindón	Asbesto	Granate	Caolinita	Hematita	Carnotita	Siderita
Augita	Granate	Clorita	Grafito	Calcita	Limonita	Casiterita	Esfalerita
Hornblenda	Hematita	Granate	Hidrotermales	Dolomita		Calcocita	Uraninita
Olivino	Magnetita	Grafito	Epidota	Yeso		Calcopirita	
	Pirita	Kianita	Serpentina	Anhidrita		Cromita	
		Serpentina	Silimanita	Halita			
		Estaurolita	Granate				
		Talco	Olivino				
			Minerales eco-nómicos				
			Cuarzo				
			Turmalina				
			Wollastonita				

Tabla de minerales comunes.

MINERAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NOMBRE	PESO ESPECÍFICO	RASPADURA	DUREZA	CRUCERO O FRACTURA	LUSTE	COLOR	TRANSPARENCIA	FORMA	OTRAS PROPIEDADES
ACTINOLITA (un asbesto; un anfíbol)	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ Silicato de hierro y calcio	3.0-3.3	Incoloro	5-6	Ver anfíbol	Vítreo	Blanco a verde claro	Transparente a translúcido	Cristales delgados, usualmente fibrosos	Mineral ferro magnésiano metamórfico común
ALBITA	(ver feldespatos)									
ANFIBOL	(ver feldespatos)				Prismático perfecto a $56^\circ$ y $124^\circ$ , dando con frecuencia una superficie astillosa					Grupos de silicatos con tetraedros en cadenas dobles; la hornblenda es el más importante; contrasta con la piroxena
ANDALUCITA	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$ silicato de aluminio	3.16	Incoloro	$7 \frac{1}{2}$	No es notable	Vítreo	Color carne, café rojizo, verde olivo	Transparente a translúcido	Usualmente en prismas toscos casi cuadrados; la sección transversal puede mostrar cruz negra	Se encuentra en los esquistos, formado por el metamorfismo de grado medio de las lutitas y pizarras aluminosas. La variedad chiastolita tiene inclusiones carbonosas a manera de cruz
ANHIDRITA	$\text{CaSO}_4$ Sulfato de calcio anhidro	2.89-2.98	Incoloro	$3-3 \frac{1}{2}$	3 direcciones en ángulos rectos para formar bloques rectangulares.	Vítreo; aperlado	Blanco; puede tener rayas débiles matices de gris, azul o rojo	Transparente a translúcido	Comúnmente en agregados masivos finos que no muestran crucero, son raros los cristales	Se encuentra en calizas y en capas asociadas con depósitos de sal; es más pesada que la calcita y más dura que el yeso
ANORTITA	(ver feldespatos)									
APATITA	$\text{Ca}_5(\text{F,Cl})(\text{PO}_4)_3$ Fluorofosfato de calcio	3.15-3.2	Blanco	5	Crucero pobre, una dirección; fractura concoidea.	Cristalino	Verde, café, rojo	Translúcido a transparente	Maciza, granular	Ampliamente diseminada con un mineral accesorio en todos los tipos de roca; fuente de fertilizantes de poca importancia; una variedad transparente se considera como gema, pero es bastante suave para uso general
ASBESTO	(ver Actinolita, Crisotilo, Serpentina)									Término general que se aplica a ciertos minerales fibrosos que presentan características físicas similares aunque sean de composición diferente. El asbesto mineral más común es el crisotilo, una variedad de serpentina
AUGITA	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al, Si}_2\text{O}_6)$ Silicato ferromagnésiano	3.2-3.4	Gris verdoso	5-6	Prismático perfecto a lo largo de dos planos casi perpendiculares entre sí, dando con frecuencia una superficie astillosa.	Vítreo	Verde oscuro a negro	Translúcido solamente en los filos delgados	Cristales cortos, gruesos, con sección transversal de 4 a 8 lados; con frecuencia en masas granulares cristalinas	Mineral importante que forma parte de las rocas ígneas; se le encuentra principalmente en las rocas simáticas
AZURITA	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ Carbonato de cobre azul	3.77	Azul pálido	4	Fibroso	Vítreo, opaco, terroso	Azul intenso	Opaco	Cristales complejos en hábito y distorsionados; algunas veces en grupos esféricos radiales	Mena de cobre; es una gema; efervesce con HCl (ácido clorhídrico, en frío)
BAUXITA	Oxidos de aluminio hidratados de composición indefinida; no es un mineral	2-3	Incoloro	1-3	Fractura desigual	Opaco terroso	Amarillo, café, gris, blanco	Opaco	En granos redondeados; o terroso con masas de arcilla	Mena de aluminio; se produce bajo condiciones climáticas tropicales o subtropicales por el intemperismo prolongado de las rocas que contienen aluminio; es un componente de las lateritas; cuando está húmeda tiene color a arcilla
BIOTITA (mica piroxena)	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ Silicato ferromagnésiano	2.8-3.2	Incoloro	$2 \frac{1}{2}$ -3	Perfecto en una dirección, con hojas de color humo, delgadas. Elásticas, transparentes.	Aperlado, cristalino	Negro, café, gris, blanco	Transparente, translúcido	Usualmente en masas foliadas irregulares; son raros los cristales	Se forma alrededor de láminas de tetraedros, es un mineral importante tanto en las rocas ígneas como en las metamórficas

BORNITA (mena del cobre rojo)	$Cu_5FeS_4$ Sulfuro de hierro y cobre	5.06-5.08	Negro grisáceo	3	Fractura desigual	Metálico	Café bronceado en las fracturas frescas; rápidamente se empaña volviéndose abigarrado, púrpura y azul y finalmente negro	Opaco	Usualmente maciza; rara vez en cristales cúbicos toscos	Mena importante de cobre
CALCITA	$CaCO_3$ Carbonato de calcio	2.72	Incoloro	3	Perfecto en 3 direcciones para formar fragmentos romboidales.	Vítreo	Usualmente blanco o incoloro; puede tener tintes de gris, rojo, verde, azul, amarillo	Transparente a opaco	Por lo común en cristales o en agregados granulares finos a gruesos; también compacta; terrosa. Cristales sumamente variados-sobre 300 formas diferentes	Mineral muy común en las rocas, que se presenta en masas como caliza o mármol; efervesce libremente en ácido clorhídrico diluido, en frío (HCl)
CARNOTITA	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2$ Uranil vanadato de potasio	4		Muy suave	Fractura desigual.	Terroso	Amarillo canario brillante	Opaco	Polvo terroso	Mena de vanadio y uranio
CASITERITA (Piedra estaño)	$SnO_2$ Oxido de estaño	6.8-7.1	Blanco a café claro	6-7	Fractura concoidea	Adamantino a submetálico opaco	Café o negro; rara vez amarillo o blanco	Translúcido; rara vez transparente	Comúnmente maciza granular	La principal mena del estaño
CALCEDONIA	(ver cuarzo)									
CALCOCITA (Cobre brillante)	$Cu_2S$ Sulfuro de cobre	5.5-5.8	Negro grisáceo	2 ½-3	Fractura concoidea	Metálico	Gris plomo brillante; pierde el lustre y pasa a negro opaco	Opaco	Por lo común de grano fino y maciza; cristales raros; pequeños, tabulares, de contorno hexagonal	Uno de los minerales de cobre más importantes; se presenta principalmente como resultado de enriquecimiento secundario de sulfuros
CALCOPIRITA (Pirita del cobre; mena de cobre amarillo, oro de los tontos)	$CuFeS_2$ Sulfuro de cobre y hierro	4.1-4.3	Negro verdoso; también polvo verdoso en las estrias cuando se le raya	3 ½-4	Fractura desigual	Metálico	Amarillo latón; se empaña pasando a color bronce, o iridiscente, pero más lentamente que la bornita o la calcopirita	Opaco	Usualmente maciza	Es una mena de cobre; se distingue de la pirita por ser más suave que el acero, mientras que la pirita es más dura; se distingue del oro por ser brillante, en tanto que el oro no lo es, se le conoce como oro de los tontos, termino que también se aplica a la pirita
CLORITA	$(Mg,Fe)_5 (Al,Fe)^{+2} Si_3O_{10}(OH)_8$ Sílico aluminato ferromagnesiano hidratado	2.6-2.9	Incoloro	2-2 ½	Perfecto en una dirección como las micas, pero no en laminillas elásticas	Vítreo a aperlado	Varios tonos de verde	Transparente a translúcido	Maciza foliada, o en agregados de escamas diminutas	Mineral metamórfico común, característico del metamorfismo de bajo grado
CROMITA	$FeCr_2O_4$ Oxido de hierro y cromo	4.6	Café oscuro	5 ½	Fractura desigual	Metálico a submetálico o peceño	Negro acero a café negrusco	Sub-translúcido	Maciza, granular a compacta	La única mena del cromo; constituyente común de las peridotitas y serpentinas de las que se deriva; uno de los primeros minerales que cristalizan cuando el magma se enfría
CRISOTILO (Asbesto serpentina)	(ver Serpentina)									
ARCILLA	(ver Caolinita)									

CORUNDO CORINDON (rubí, zafiro)	$Al_2O_3$ Oxido aluminio	de 4.02	Incoloro	9	Basal o romboedral	Adamantino a vítreo	Café, rosa, azul; puede ser blanco, gris, verde, rojo rubí, o azul zafiro	Transparente a translúcido	Cristales en forma de barril; algunas veces con estriaciones horizontales profundas, granular gruesa a fina	Común como mineral accesorio en las rocas metamórficas tales como el mármol, micaesquistos, gneis; se presenta en forma de gemas como rubí o zafiro; el esmeril abrasivo es corundo granular negro mezclado con magnetita, hematita, o el oxido de aluminio y magnesio espinela
DIAMANTE	C	3.5	Incoloro	10	Crucero octaedral	Adamantino; grasoso	Incoloro o amarillo pálido; puede ser rojo, naranja, verde, azul, negro	Transparente a translúcido	Cristales octaédricos aplanados, o alargados, con caras curvas	Gema y abrasivo; 95% de la producción de diamantes naturales proviene de África del Sur; en los Estados Unidos se han fabricado en el laboratorio cantidades comerciales de diamantes para abrasivo
DOLOMITA	$CaMg(CO_3)_2$ Carbonato de calcio y magnesio	2.85	Incoloro	3 ½-4	Perfecto en 3 direcciones a 73° 45'	Vítreo o aperlado	Rosa, encarnado; puede ser blanco, gris, verde, café, negro	Transparente a opaco	Cristales romboedrales con caras curvas; masas de grano que se parten o de grano fino compactas	Se presenta principalmente en la caliza dolomítica y en el mármol, o bien como el constituyente principal de la roca que lleva el mismo nombre del mineral. Se distingue de la caliza porque el ácido clorhídrico frío lo ataca débilmente (el polvo se disuelve con efervescencia, los fragmentos grandes solamente si el ácido está caliente)
ESMERIL	(Ver Corundo)									
EPIDOTA	$Ca_2(AlFe)_3(SiO_4)_3(OH)$ Sílico aluminato hidratado de calcio y hierro	3.35-3.45	Incoloro	6-7	Bueno en una dirección	vítreo	Verde pistache, amarillo a verde negrusco	Transparente a translúcido	Cristales prismáticos estriados paralelamente a su longitud; por lo común granular gruesa a fina; también fibrosa	Mineral metamórfico asociado frecuentemente con la clorita; se deriva del metamorfismo de la caliza impura; es característico de las zonas de metamorfismo de contacto de las calizas
FELDESPATOS	Sílico-aluminatos	2.55-2.75		6	Bueno en dos direcciones a o cerca de 90°					El más común de los grupos de minerales que forman rocas ígneas; por intemperismo produce arcillas
ORTOCLASA	$K(AlSi_3O_8)$ Feldespato potásico	2.57	Blanco	6	Bueno en dos direcciones a o cerca de 90°	vítreo	Blanco, gris, rosa encarnado	Transparente a opaco	Cristales prismáticos; más abundantemente en las rocas como granos sin forma	Característico de las rocas siálicas
PLAGIOCLASA	Feldespatos sódico-cálcicos, serie continua que varía en composición de la Albita pura a la Anortita pura									Minerales importantes formadores de rocas; característico de las rocas simáticas
ALBITA	$Na(AlSi_3O_8)$ Feldespato sódico	2.62	Incoloro	6	Bueno en dos direcciones a 93° 34'	Vítreo a aperlado	Incoloro, blanco, gris	Transparente a translúcido	Cristales tabulares; estriaciones causadas por gemelación	Variación opalescente, piedra de la luna
ANORTITA	$Ca(Al_2Si_2O_8)$	2.76	Incoloro	6	Bueno en dos direcciones a 94° 12'	Vítreo a aperlado	Incoloro, blanco, gris, verde amarillo, rojo	Transparente a translúcido	Con listas o cristales tabulares laminados; estriaciones causadas por gemelación; como granos listados o laminados	En los feldespatos plagioclasa de composición intermedia entre la albita y la anortita es común un hermoso y único despliegue de colores, como sucede con la andesina (50 a 70% de albita) y con la labradorita (30 a 50% de albita)
FLUORINA	$CaF_2$ Fluoruro de calcio	3.18	Incoloro	4	Bueno en cuatro direcciones paralelas a las caras de un octaedro	Vítreo	Variable; verde claro, amarillo, verde azulado, púrpura, etc.	Transparente a translúcido	Cubos entrelazados bien formados; también maciza, de grano fino a grueso	Algunas variedades son fluorescentes, es un mineral común profusamente distribuido en las dolomitas y calizas; mineral accesorio en las rocas ígneas. Se usa como fundente de la fabricación de acero
GALENA	$PbS$ Sulfuro de plomo	7.4-7.6	Gris plomo	2½	Bueno en tres direcciones paralelas a las caras de un cubo	Metálico	Gris plomo	Opaco	Cristales de forma cúbica; también en masas granulares	La principal mena del plomo; es tan común su asociación con la plata que resulta también una mena de plata

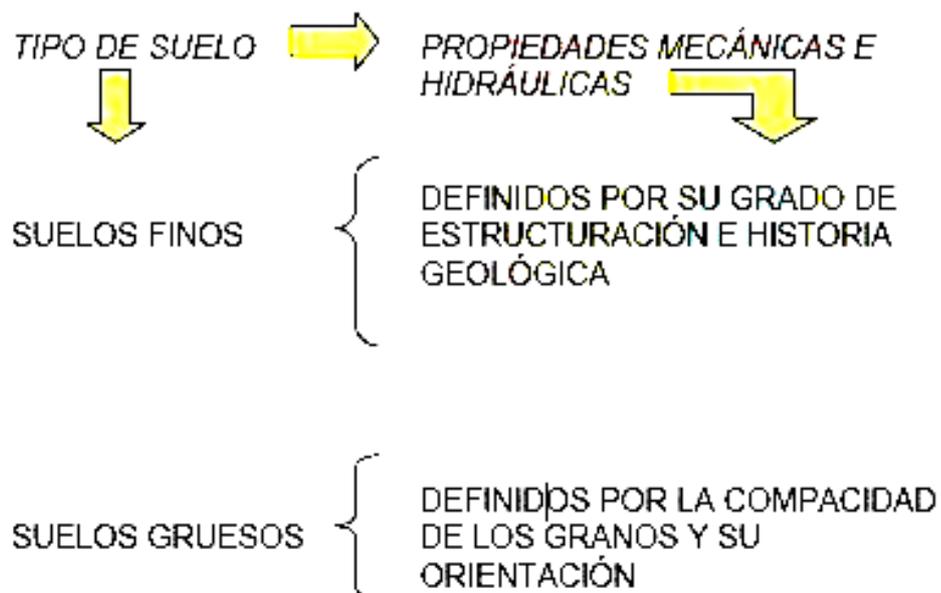
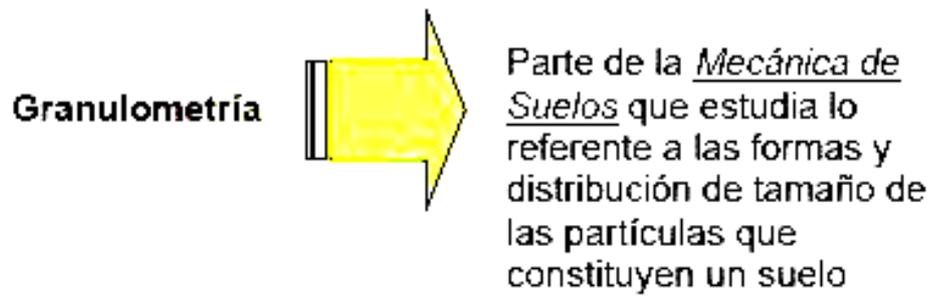
GRANATE	$R^3R''_2(SiO_4)_3$ R'' puede ser calcio, magnesio o hierro o manganeso. R'' puede ser aluminio, hierro, titanio o cromo. Silicatos ferromagnesianos	3.5-4.3	Incoloro	6½-7½	Fractura desigual	Vítreo resinoso o	Rojo, café, amarillo, blanco, verde, negro	Transparente a translúcido	Usualmente en cristales de 12 o 24 caras; también granular; maciza, gruesa o fina	Común y ampliamente distribuido, particularmente en las rocas metamórficas; la variedad almandita de color rojo oscuro, $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ se usa para definir una de las zonas de metamorfismo de grado medio; es notable en los esquistos
GRAFITO (Plomo negro)	C Carbono	2.3	Negro	1-2	Bueno en una dirección; hojas flexibles, pero no elásticas	Metálico terroso o	Negro a gris acero	Opaco	Comúnmente foliada o en masas escamosas; puede ser radial o granular	De tacto grasoso; común en las rocas metamórficas tales como el mármol, los esquistos y los gneises
YESO	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Sulfato de calcio hidratado	2.32	Incoloro	2	Buen crucero en una dirección que produce hojas flexibles pero no elásticas, fractura fibrosa en otra dirección; fractura concoidea en una tercera dirección	Vítreo, aperlado, sedoso	Incoloro, blanco, gris, cuando tiene impurezas, amarillo, rojo, café	Transparente a translúcido	Cristales prismáticos tabulares, en forma de diamante; también en masas granulares, fibrosas o terrosas	Mineral común ampliamente distribuido en las rocas sedimentarias, frecuentemente en capas gruesas; el espato satinado es un yeso fibroso con lustre sedoso; la selenita es una variedad que produce amplias hojas transparentes incoloras; el alabastro es una variedad maciza de grano fino
HALITA (Sal de roca; sal común)	NaCl Cloruro de sodio	2.16	Incoloro	2½	Crucero cúbico perfecto	Cristalino terroso a	Incoloro o blanco; impura: amarillo, rojo, azul, púrpura	Transparente a translúcido	Cristales cúbicos; granular maciza	Sabor salado; permite el paso rápido de los rayos caloríficos (es un cuerpo diatérmico); mineral muy común en las rocas sedimentarias; se encuentra interestratificado en rocas de todas las edades formando una verdadera masa de roca
HEMATITA	$Fe_2O_3$ Oxido de hierro	5.26	Rojo claro a oscuro; se vuelve negro al calentarse	5½-6½	Fractura desigual	Metálico	Café rojizo a negro	Opaco	Cristales tubulares; botroide; micácea y foliada; maciza	La mena más importante del hierro; la variedad terrosa, roja, se conoce como ocre rojo; la forma botroide se llama mineral arriñonado; la forma micácea es el hierro especular. Distribuido ampliamente en rocas de todos tipos y edades
HORNBLENDA (Un anfíbol)	Silicato ferromagnesiano complejo de Ca, Na, Mg, Ti y Al	3.2	Incoloro	5-6	Prismático perfecto $56^\circ$ y $124^\circ$	Vítreo; la variedad fibrosa con frecuencia es sedosa	Verde oscuro a negro	Translúcido en filos delgados	Cristales prismáticos largos; fibrosa; masas de grano grueso a fino	Se distingue la augita por su crucero; es un mineral formador de rocas que se encuentra tanto en las rocas ígneas como en las metamórficas
CAOLINITA (Arcilla)	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$ Silicato de aluminio hidratado	2.6	Incoloro	2-2 ½	Ninguno	Terroso opaco	Blanco	Opaco	Como masas de arcilla	Usualmente untuoso y plástico; otras arcillas minerales de composición y propiedades físicas similares, pero de diferente estructura atómica, son la illita y la montmorillonita; se deriva del intemperismo de los feldspatos

KIANITA	$Al_2SiO_5$ Silicato de aluminio	3.56-3.66	Incoloro	5 a lo largo, 7 a través de los cristales	Bueno en una dirección	Vítreo a aperlado	Azul; puede ser blanco, gris, verde, o bandeado	Transparente a translúcido	En agregados laminares	Característico del metamorfismo de grado medio; compárese con andalucita, que tiene la misma composición y se forma bajo condiciones similares, pero tiene un hábito cristalino diferente; contrasta con la silimanita que tiene la misma composición, pero diferente hábito cristalino y se forma a temperaturas metamórficas más altas
LIMONITA (Hematita café; orín; hierro de pantano)	Oxidos de hierro hidratados; no es un mineral	3.6-4	Café amarillento	5-5 ½ (cuando está finamente dividido, dureza 1)	Ninguno	Vítreo	Café oscuro a negro	Opaco	Amorfa; masas mamilares a estalactíticas; concrecional, modular, terrosa	Siempre es de origen secundario por alteración o solución de los minerales de hierro; mezclado con arcilla fina es un pigmento llamado ocre amarillo
MAGNEITA	$Fe_3O_4$ Óxido de hierro	5.18	Negro	6	Algunas partiduras octaedrales	Metálico	Negro acero	Opaco	Usualmente granular maciza, de grano grueso a fino	Fuertemente magnético; puede actuar como un imán natural llamado piedra imán; es una mena importante de hierro. Se encuentra en las arenas negras de la costa marina; mezclado con el corundo es un componente del esmeril
MICA	(ver biotita y muscovita)									
MUSCOVITA (Mica blanca; mica potásica; mica común)	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ Silicato no-ferromagnesiano	2.76-3.1	Incoloro	2-2 ½	Buen crucero en una dirección, dando hojas delgadas muy flexibles y elásticas	Vítreo, sedoso, aperlado	Delgado: incoloro Grueso: amarillo claro, café, verde, rojo	Delgado, transparente; grueso translúcido	Principalmente en hojuelas delgadas	Mineral muy común en las rocas y de amplia distribución, es característico de las rocas sílicas y es también muy común en las metamórficas tales como el gneis y el esquisto; algunas veces se le usa para puertas de estufa, linternas, etc., como mica transparente en lugar del vidrio; se le usa principalmente como material aislante
OLIVINO (Peridoto)	$(Mg,Fe)_2SiO_4$ silicato ferromagnesiano	3.27-3.37	Verde pálido, blanco	6 ½-7	Fractura concoidea	Vítreo	Olivo o verde grisáceo, café	Transparente a translúcido	Usualmente en granos empotrados o en masas granulares	Mineral común en las rocas que se encuentra principalmente en las rocas simáticas; es el componente principal de la peridotita; se trata en realidad de una serie que va de la forsterita, $Mg_2SiO_4$ , a la fayalita, $Fe_2SiO_4$ ; los olivinos más comunes son más ricos en magnesio que en hierro; la variedad verde claro, peridoto, se usa algunas veces como gema
OPALO	(Ver cuarzo)									
ORTOCLASA	(Ver feldespatos)									
PERIDOTO	(Ver olivino)									
PECHBLENDA	(Ver uraninita)									
PLAGIOCLASA	(Ver feldespatos)									
PIRITA (Pirita de hierro; oro de los tontos)	$FeS_2$ Sulfuro de hierro	5.02	Verdoso o café oscuro	6-6 ½	Fractura desigual	Metálico	Amarillo latón	Opaco	Cristales cúbicos con caras estriadas; también maciza	El más común de los sulfuros; se le usa como fuente de azufre en la manufactura del ácido sulfúrico; se distingue de la calcopirita por su color más pálido y por su mayor dureza; del oro por su brillo y dureza
PIROXENA	(Ver augita)									Grupo de silicatos con tetraedros en cadenas simples; la augita es el más importante; contrasta con el anfíbol

CUARZO (Sílice)	SiO <sub>2</sub> Oxido de silicio con la estructura de un silicato, con tetraedros que comparten iones de oxígeno en tres dimensiones	2.65	Incoloro	7	Fractura concoidea	Vítreo, grasoso, brillante	Incoloro o blanco cuando está puro, de cualquier color cuando tiene impurezas	Transparente a translúcido	Cristales prismáticos con caras estriadas en ángulos rectos al eje mayor; también formas macizas de gran variedad	Constituyente importante de las rocas siálicas; las variedades cristalinas de grano grueso son: cristal de roca, amatista (púrpura), cuarzo rosa, cuarzo ahumado, citrina (amarillo) cuarzo lechoso, ojo de gato; variedades criptocristalinas: calcedonia, cornalina (calcedonia roja), crisoprasa (calcedonia verde manzana), heliotropo o piedra de sangre (calcedonia verde con pequeños puntos rojos), agata (alternancia de capas de calcedonia y ópalo); variedades granulares; pedernal (opaco a café oscuro), pedernal blanco, jaspe (rojo por la presencia de inclusiones de hematita), prasio (como el jaspe, pero verde opaco)
SAL DE ROCA	(Ver halita)									
RUBI	(Ver corundo)									
SAL	(Ver halita)									
ZAFIRO	(Ver corundo)									
SERPENTINA	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> Silicato de magnesio hidratado	2.2-2.65	Incoloro	2-5	Fractura concoidea	Grasoso, ceroso o sedoso	Tonos abigarrados de translúcido verde	Translúcido	Laminar o fibrosa	Variedad laminar, antigorita; variedad fibrosa, crisotilo, un asbesto; es un producto de alteración de los silicatos magnesianos tales como el olivino, la augita y la hornblenda; común y de amplia distribución
SIDERITA (Hierro espático)	FeCO <sub>3</sub> Carbonato de hierro	3.85	Incoloro	3 ½-4	Crucero romboedral perfecto	Vítreo	Café claro a oscuro	Transparente a translúcido	Granular, compacta, terrosa	Es una mena de hierro; mineral accesorio en la taconita
SILICE	(Ver cuarzo)									
SILIMANITA (Fibrolita)	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> Silicato de aluminio	3.23	Incoloro	6-7	Buen crucero en una dirección	Vítreo	Café, verde pálido, blanco	Transparente a translúcido	Cristales largos, delgados sin extremidades características; a menudo en grupos paralelos; frecuentemente fibrosa	Relativamente raro, pero importante como mineral característico de alto grado; contrasta con la andalucita y la kianita que tienen la misma composición, pero se forma bajo condiciones de metamorfismo de grado medio
ESFALERITA (Blenda de cinc)	ZnS Sulfuro de cinc	3.9-4.1	Blanco a amarillo y café	3 ½-4	Crucero perfecto en 6 direcciones de 120°	Resinoso	Puro: blanco, verde, con hierro: amarillo a café y negro; rojo	Transparente a translúcido	Usualmente maciza; cristales de muchas caras, distorsionados	Mineral común; la mena más importante del cinc; la variedad roja se llama rubí de cinc; su raspadura es de color más claro que el mineral correspondiente
ESTAUROLITA	Fe <sup>+</sup> Al <sub>5</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>12</sub> (OH) Silicato de aluminio y hierro	3.65-3.75	Incoloro	7-7 ½	No es notable	Cuando está fresco: resinoso, vítreo, alterado: opaco terroso	Café rojizo a café negrusco	Translúcido	Usualmente en cristales, prismática, con gemelación que forma una cruz; muy rara vez maciza	Mineral accesorio común en los esquistos y pizarras; característico del metamorfismo de grado medio; asociado con granate, kianita, silimanita, turmalina
TACONITA	No es un mineral									Formación de hierro no lixiviada en el distrito del Lago Superior, que consiste en calcedonia (ver cuarzo) con hematita, magnetita, siderita y silicatos hidratados de hierro. Es una mena de hierro
TALCO (Piedra de jabón; esteatita)	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> Silicato hidratado de magnesio	2.7-2.8	blanco	1	Buen crucero en una dirección; da hojas delgadas flexibles, pero no elásticas	Aperlado a grasoso	Gris, blanco, plateado, verde manzana	Translúcido	Foliada, maciza	De origen secundario, formado por la alteración de los silicatos magnesianos tales como el olivino, augita y hornblenda; se encuentra más comúnmente en las rocas metamórficas

TOPACIO	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$ Fluoro-silicato de aluminio	3.4-3.6	Incoloro	8	Bueno en una dirección	Vítreo	Amarillo paja, amarillo vino, rosa, azulado, verdoso	Transparente a translúcido	Usualmente en cristales prismáticos, a menudo con estriaciones en la dirección de la longitud mayor	Piedra preciosa, representa el número 8 en la escala de dureza de Mohs
TURMALINA	Silicato complejo de boro y aluminio, con sodio, calcio, fluor, hierro, litio o magnesio	3-3.25	Incoloro	7-7 ½	No es notable; diversidad de fracturas negras como en el carbón	Vítreo a resinoso	Variado: negro, café; rojo, rosa, verde, azul, amarillo	Translúcido	Usualmente en cristales; es común la sección transversal en forma de triángulo esférico	Piedra preciosa; mineral accesorio en las pegmatitas, también en las rocas metamórficas tales como los gneises, esquistos, mármoles
URANINITA (Pechblenda)	Oxido complejo de uranio con pequeñas cantidades de plomo, radio, torio, itrio, nitrógeno, helio y argón	9-9.7	Café negrusco	5 ½	No es notable	Submetálico, peceño	Negro	Opaco	Usualmente maciza y octoedral (como un racimo de uvas)	Mena de uranio y radio; es el mineral en el que se descubrieron por vez primera el helio y el radio
WOLLASTONITA	$\text{CaSiO}_3$ Silicato de calcio	2.8-2.9	Incoloro	5-5 ½	Buen crucero en dos direcciones a 84° y 96°	Vítreo a aperlado en las superficies de crucero	Incoloro, blanco a gris	Translúcido	Comúnmente maciza, fibrosa o compacta	Mineral metamórfico de contacto común en las calizas

**GRANULOMETRIA**



## EMPLEO DE LA GRANULOMETRÍA

- CLASIFICACIÓN DE SUELOS
- CONTROL DE CALIDAD (CUANDO EL SUELO ES UTILIZADO COMO MATERIAL DE CONTRUCCIÓN)

## TIPOS DE ANÁLISIS GRANULOMETRICOS

MECANICO  
(POR MALLAS)



SUELOS  
GRUESOS



- GRAVAS
- ARENAS

CON  
HIDROMETRO



SUELOS  
FINOS



- LIMOS
- ARCILLAS



## REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

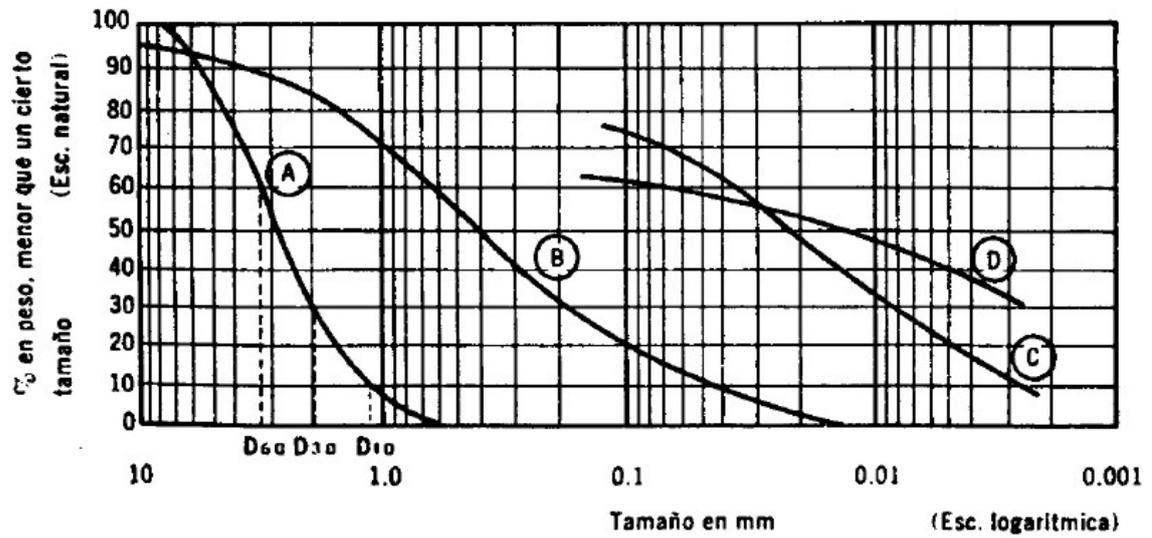
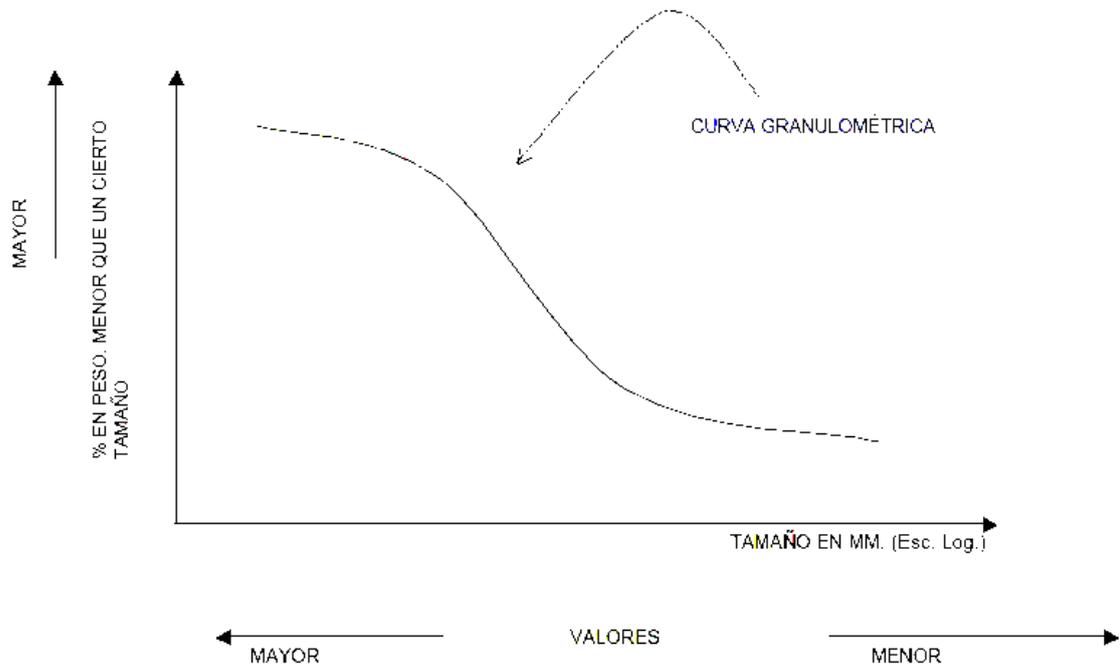
GRAFICA

ABSCISAS

TAMAÑO DE LAS  
PARTICULAS (ESCALA  
LOGARÍTMICA)

ORDENADAS

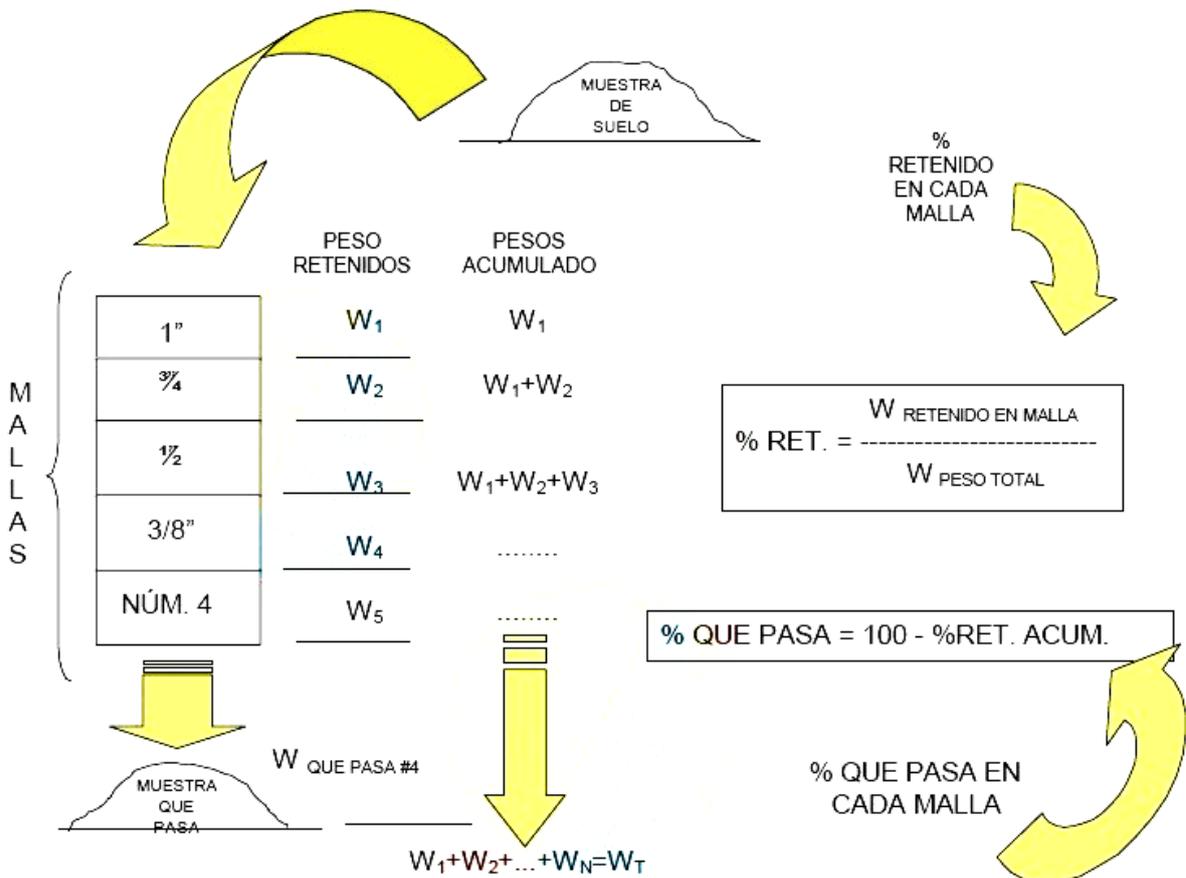
PORCENTAJE (%) EN  
PESO, MENOR QUE UN  
CIERTO TAMAÑO (ESCALA  
NATURAL)



Curvas granulométricas de algunos suelos.

- A) Arena muy uniforme, de Ciudad Cuauhtémoc, México.
- B) Suelo bien graduado, Puebla, México.
- C) Arcilla del Valle de México (curva obtenida con hidrómetro).
- D) Arcilla del Valle de México (curva obtenida con hidrómetro).

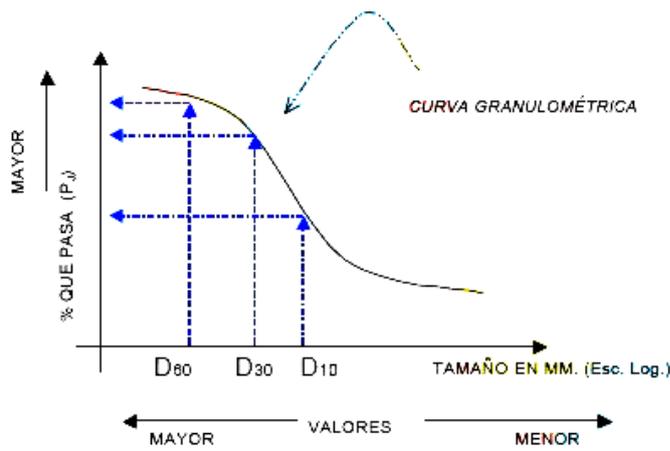
La prueba de laboratorio, consistente en la separación mecánica de la fracciones que componen una muestra de suelo, utilizando para ello mallas metálicas, de diferentes aperturas (separación) del tejido de las mallas.



Peso total de la muestra de suelo  $\Rightarrow W_1+W_2+\dots+W_N=W_T \Rightarrow \sum_{j=1}^n W_j = W_t$

Porcentaje retenido  $\Rightarrow \% \text{ RET.} = \frac{W_{\text{RETENIDO EN MALLA}}}{W_{\text{PESO TOTAL}}} \Rightarrow p_j = \frac{W_i}{W_t} \times 100$

Porcentaje que pasa (acumulativo)  $\Rightarrow \% \text{ QUE PASA} = 100 - \% \text{RET. ACUM.}$



$P_j = 100 - \sum_{j=1}^n p_j$

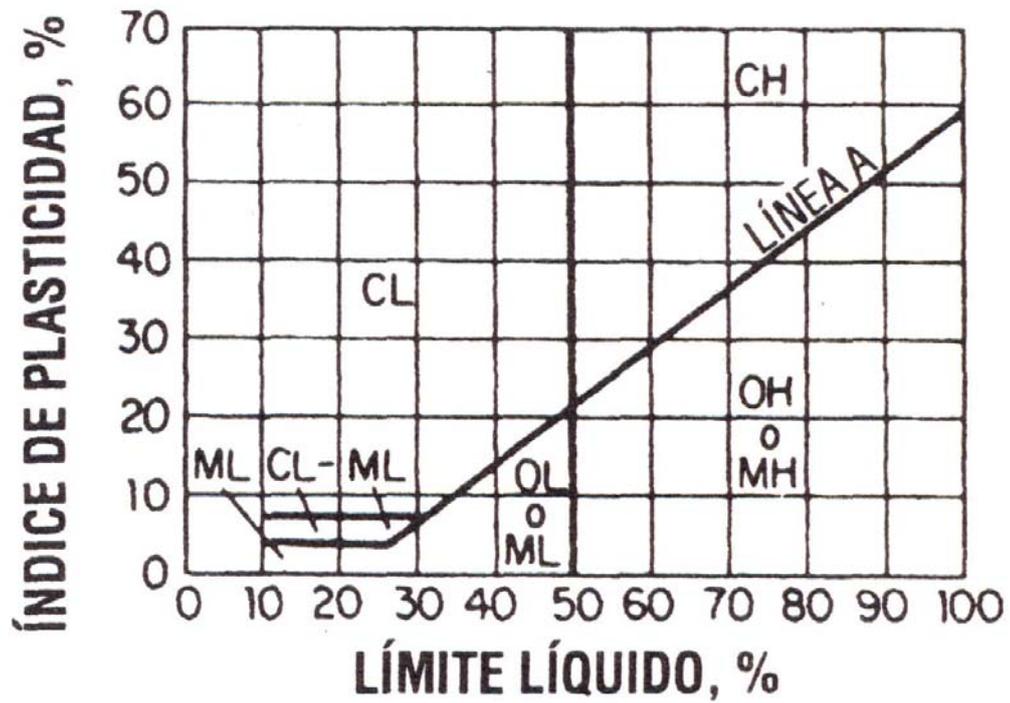
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  Coeficiente de uniformidad

$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$  Coeficiente de curvatura

Tabla mallas granulométricas.

<i>Tyler estándar</i>		<i>U.S. Bureau of Standards</i>	
<i>Malla</i>	<i>Abertura mm.</i>	<i>Número</i>	<i>Abertura mm.</i>
3"	76.2	4"	101.6
2"	50.8	2"*	50.8
—	25.67	1"*	25.4
—	18.85	3/4"*	19.1
—	13.33	1/2"*	12.7
—	9.423	3/8"*	9.52
3	6.680	1/4"	6.35
4	4.699	4 *	4.76
6	3.327	6	3.36
8	2.362	8	2.38
9	1.981	10 *	2.00
10	1.651	12	1.68
14	1.168	16	1.19
20	0.833	20 *	0.840
28	0.589	30	0.590
35	0.417	40 *	0.420
48	0.295	50	0.297
60	0.246	60 *	0.250
65	0.208	70	0.210
100	0.147	100 *	0.149
150	0.104	140	0.105
200	0.074	200 *	0.074
270	0.053	270	0.053
400	0.038	400	0.037

CARTA DE PLASTICIDAD



La carta de plasticidad para la clasificación en laboratorio de los suelos de granos finos, los compara igual límite líquido.

La tenacidad y la resistencia seca se incrementa con el aumento del índice plástico (IP).

Tabla de permeabilidad intrínseca de algunos tipos de suelos.

Permeabilidad relativa	Permeable				Semi-Permeable			Impermeable						
Arena o grava no consolidada	Grava continua (o redondeada)		Arena continua o mixta		Arena fina, cieno, Loess, Loam									
Arcilla no consolidada y materia orgánica					Turba		Estrato arcilloso		Arcilla expansiva					
Roca consolidada	Rocas muy fracturadas				Roca petrolífera			Piedra arenisca		Roca sedimentaria, Dolomita		Granito		
$\kappa$ (cm <sup>2</sup> )	0.001	0.0001	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>-15</sup>	
$\kappa$ (miliDarcys)	10 <sup>+8</sup>	10 <sup>+7</sup>	10 <sup>+6</sup>	10 <sup>+5</sup>	10,000	1,000	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	

En geología la determinación de la permeabilidad del suelo tiene una importante incidencia en los estudios hidráulicos portante del sustrato (por ejemplo previo a la construcción de edificios u obras civiles), para estudios de erosión y para mineralogía, entre otras aplicaciones.

La permeabilidad del suelo suele aumentar por la existencia de fallas, grietas, juntas u otros defectos estructurales. Algunos ejemplos de roca permeable son la caliza y la arenisca, mientras que la arcilla o el basalto son prácticamente impermeables.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Walker, C. D. y C. J. Lines. Accident Reductions from Trunk Road Improvements. Research Report CR 321, 15 p. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK, 1991.

Accidents and Road Type. Australian Road Research Board, Melbourne, Australia, 1988.

Krammes, R. Design Speed and Operating Speed in Rural Highway Alignment Design. Transportation Research Record 1701, Transportation Research Board, Washington, D C, 2000.

Chavarría, J, A Mendoza y E Mayoral. Algunas medidas para mejorar la seguridad vial en las carreteras nacionales. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 89, México, D F, 1996.

ArcView GIS 3.1. Environmental System Research Institute, Inc, 1996.

ArcInfo GIS. Environmental System Research Institute, Inc, 1991.

Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico, Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F, 1984.

Guide for Monitoring and Enhancing Safety on the National Truck Network. Federal Highway Administration, Washington, D C, 1986.

Cirillo, J. A. Safety Effectiveness of Highway Design Features, Volume 1, Access Control. 9 p, Federal Highway Administration, Washington, D C, 1992.

Homburger, W. S., E. A. Deakin, P. C. Bosselmann, D. T. Smith y B. Beukers. Road Design and Traffic Control. 152 p, Institute for Transportation Engineers, Washington, D C, 1989.

Relationship Between Safety and Key Highway Design Features. State of the Art Report 6, Transportation Research Board, Washington, D C, 1987.

Hedman, K. O. Road Design and Safety. VTI Rapport 351A, pp 225-238, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linkoping, Sweden, 1990.

Lay, M. G. Handbook of Road Technology. Gordon and Breach, London, 1986.

Glennon, J. C. Effect of Key Highway Features on Highway Safety. Transportation Research Board, Washington, D C, 1987.

Hazardous Road Locations: Identification and Countermeasures. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France, 1976.

Hoban, C. J. Selecting Appropriate Geometric Design Standards for Rural Road Improvements. Compendium of Technical Papers, 58th Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers, Washington, D C, 1988.

Zegeer, C. V., J. Stewart, F. M. Council y D. Reinfurt. Cost-Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves. Report FHWA-RD-90-021, Federal Highway Administration, Washington, D C, 1991.

Frederick S. Merrit, M. Kent Loftin, Jonathan T. Ricketts; Manual del Ingeniero Civil, Tomo I, cuarta edición, McGraw Hill.

Frederick S. Merrit, M. Kent Loftin, Jonathan T. Ricketts; Manual del Ingeniero Civil, Tomo II, cuarta edición, McGraw Hill.

Mak, K. K. Effect of Bridge Width on Highway Safety. State of the Art Report 6, Transportation Research Board, Washington, D C, 1987.

E. Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez; Mecánica de los suelos, Tomo I, Ed. Limusa-Willey.

E. Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez; Mecánica de los suelos, Tomo II, Ed. Limusa-Willey.

E. Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez; Mecánica de los suelos, Tomo III, Ed. Limusa-Willey.

L. Don Leet, Sheldon Judson; Fundamentos de Geología Física, Ed. Limusa.