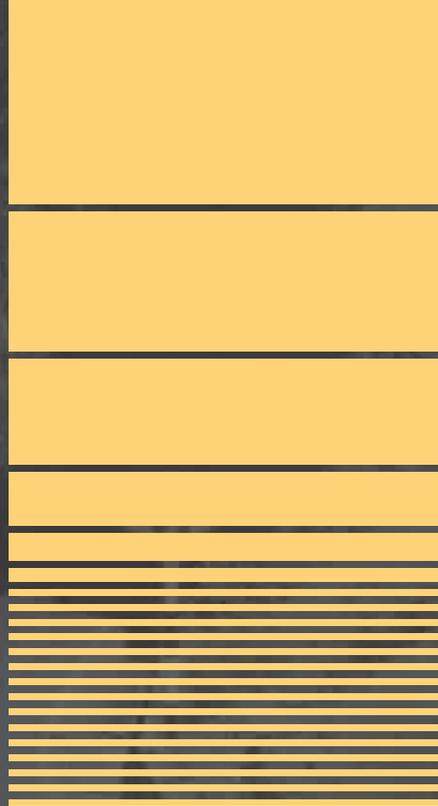
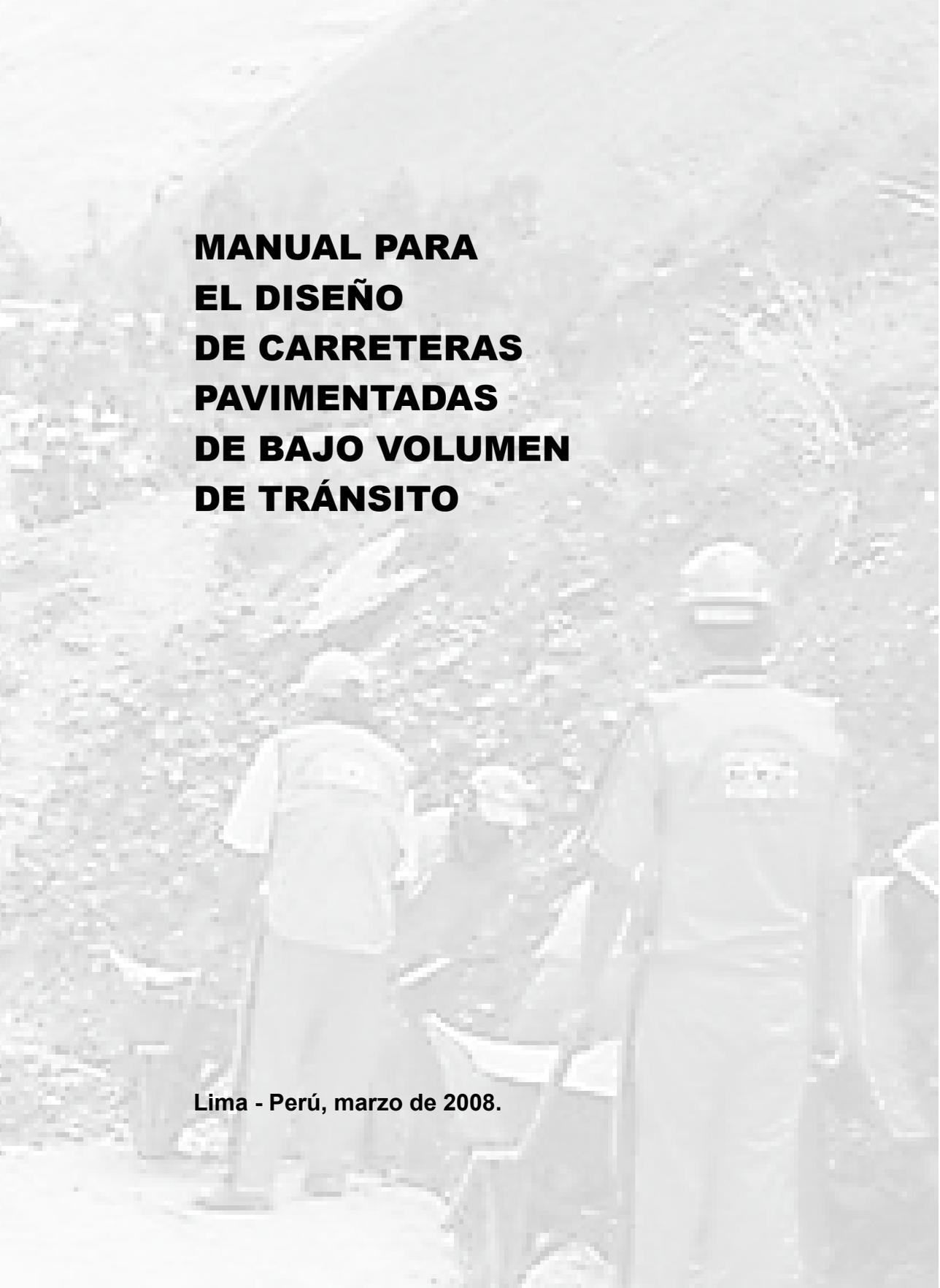


MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO







**MANUAL PARA
EL DISEÑO
DE CARRETERAS
PAVIMENTADAS
DE BAJO VOLUMEN
DE TRÁNSITO**

Lima - Perú, marzo de 2008.

MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

CONTENIDO

Presentación	11
---------------------------	----

Marco del manual

a) Alcances del manual	15
b) Magnitud y justificación de los proyectos	15
c) Relación entre demanda y características físicas y operativas de la carretera	16
d) Actualización del manual	17

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DEL MANUAL

1.1 Clasificación de carreteras y tipos de obra, considerados en el manual	21
1.2 Derecho de vía o faja de domino	21

CAPÍTULO 2: PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DEL DISEÑO

2.1 Parámetros básicos para el diseño	27
2.1.1 Metodología para el estudio de la demanda de tránsito.....	27
2.1.1.1 Índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA)	27
2.1.1.2 Volumen y composición o clasificación de los vehículos	28
2.1.1.3 Variaciones horarias de la demanda	29
2.1.1.4 Variaciones diarias de la demanda	29
2.1.1.5 Variaciones estacionales (mensuales).....	29
2.1.1.6 Metodología para establecer el peso de los vehículos de carga, que es importante para el diseño de los pavimentos, pontones y puentes ..	30
2.1.1.7 Información mínima necesaria	30
2.1.2 La velocidad de diseño y su relación con el costo de la carretera	30

2.1.3 La sección transversal de diseño	31
2.1.4 Tipos de superficie de rodadura	32
2.2 Elementos del diseño geométrico	32

CAPÍTULO 3: DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1 Distancia de visibilidad	37
3.1.1 Visibilidad de parada	37
3.1.2 Visibilidad de adelantamiento	38
3.2 Alineamiento horizontal	39
3.2.1 Consideraciones para el alineamiento horizontal	39
3.2.2 Curvas horizontales	41
3.2.2.1 Curvas compuestas	41
3.2.2.2 Curvas de transición	41
3.2.3 Acceso a puentes y túneles	44
3.2.4 Distancia de visibilidad en curvas horizontales	44
3.2.5 Peralte de la carretera	44
3.2.6 Sobre ancho de la calzada en curvas horizontales	55
3.3 Alineamiento vertical	55
3.3.1 Consideraciones para el alineamiento vertical	55
3.3.2 Curvas verticales	57
3.3.3 Pendiente	58
3.4 Coordinación entre el diseño horizontal y del diseño vertical	60
3.5 Sección transversal	62
3.5.1 Calzada	62
3.5.2 Bermas	63
3.5.3 Ancho de la plataforma (corona)	67
3.5.4 Plazoletas de volteo	68
3.5.5 Dimensiones en los pasos inferiores	68
3.5.6 Taludes	68
3.5.7 Sección transversal típica	69
3.5.8 Acceso a puentes y túneles	69

CAPÍTULO 4: HIDROLOGÍA Y DRENAJE

4.1 Drenaje superficial	76
-------------------------------	----

4.1.1	Consideraciones generales	76
4.1.2	Hidrología y cálculos hidráulicos	81
4.1.3	Elementos físicos del drenaje superficial	85
4.2	Drenaje subterráneo.....	102
4.2.1	Condiciones generales	102
4.2.2	Drenes subterráneos	103
4.2.2.1	La tubería	104
4.2.3	Relleno de zanjas	107
4.2.4	Cajas de registro y buzones	110
4.2.5	Investigación del agua freática	111
4.2.6	Drenes de interceptación.....	113
4.2.6.1	Objeto y clasificación.....	113
4.2.6.2	Drenes longitudinales.....	113
4.2.6.3	Drenes transversales	113
4.2.7	Drenaje del pavimento.....	118
4.2.8	Casos especiales	119
4.2.8.1	Protección del suelo de la explanación contra el agua libre en terreno de elevado nivel freático, llano y sin desagüe.....	119
4.2.8.2	Protección del suelo de explanación situado bajo la calzada contra los movimientos capilares del agua	119
4.2.8.3	Capa drenante	120

CAPÍTULO 5: GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS

5.1	Geología	125
5.2	Estabilidad de taludes	126
5.3	Tipos de pavimento	138
5.4	Suelo de fundación	138
5.5	Tránsito (demanda).....	150
5.6	Catálogo estructural del pavimento.....	152
5.6.1	Pavimentos flexibles.....	152
5.7	Mejoramiento de subrasante.....	169
5.8	Pavimentos rígidos.....	175

5.9 Materiales y partidas específicas del pavimento	175
5.10 Canteras y fuentes de agua	176

CAPÍTULO 6: TOPOGRAFÍA

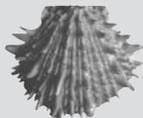
6.1. Consideraciones generales del trazo	181
6.2 Topografía y trazado.....	182
6.3 El trazo directo	183
6.4 El trazado indirecto.....	185
6.5 Sistema de unidades.....	186
6.6 Sistemas de referencia.....	186
6.7 Tolerancias en la ubicación de puntos	187
6.8 Trabajos topográficos.....	189
6.9 Geometría de la carretera	192
6.10 Geometría del alineamiento vertical.....	197
6.11 Alineamiento vertical	198
6.12 Diseño y cómputo de curvas verticales.....	198
6.13 Coordinación entre el trazo en planta y el trazo en elevación.....	201
6.14 Planos básicos del proyecto.....	202
6.15 Replanteo de una curva circular con PI accesible	204

CAPÍTULO 7: IMPACTO AMBIENTAL

7.1 Preservación del ambiente y mitigación del impacto causado por los trabajos de obras viales en carreteras de bajo volumen de tránsito.....	209
--	-----

7.1.1	Introducción	209
7.1.2	Objetivos	209
7.2	Las siguientes actividades preliminares deben estar considerados en el programa del estudio de las obras por ejecutar según corresponda al tamaño y naturaleza de cada proyecto específico.	209
7.2.1	Identificación de las condiciones de base	209
7.2.2	Programación de acciones sociales con la comunidad.....	211
7.2.3	Utilización de recursos de la zona del proyecto	211
7.2.4	Señalización del derecho de vía.....	212
7.2.5	Identificación de infraestructura y predios a ser afectados por el proyecto	212
7.3	Actividades del proyecto que deben ser consideradas en el programa del estudio de las obras por ejecutar, según corresponda al tamaño y naturaleza de cada proyecto específico	212
7.3.1	Canteras de materiales	212
7.3.2	Fuentes de agua.....	213
7.3.3	Estabilización y tratamiento de taludes	214
7.3.4	Depósitos para materiales excedentes originados por la obra	214
7.3.5	Tratamiento de residuos líquidos originados por la obra....	215
7.3.6	Tratamiento de residuos sólidos originados por la obra.....	215
7.3.7	Campamentos y patios de maquinarias	216
7.3.8	Plantas de áridos, asfaltos y hormigones.....	216
7.3.9	Monitoreo ambiental	217
7.3.10	Costos de mitigación	218

Capítulo Perú



Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza

El Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza Perú – Ecuador fue constituido por los gobiernos de Perú y del Ecuador, con el propósito de impulsar y canalizar esfuerzos orientados a promover el desarrollo y elevar el nivel de vida de sus respectivas poblaciones.

La infraestructura vial es uno de los principales soportes para el desarrollo del ámbito de la región fronteriza con el Ecuador, en especial las carreteras de bajo volumen de tránsito que interconectan poblaciones rurales, muchas veces localizadas en zonas lejanas fronterizas.

Por ello, ha sido muy grato para el Capítulo Perú del Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza Perú-Ecuador colaborar con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el objetivo de difundir normas para la conservación, diseño y especificaciones técnicas para el diseño construcción de carreteras de bajo volumen de tránsito y, en particular, apoyar en la publicación del “Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, con un financiamiento fruto de una cooperación que le fue otorgada por la Corporación Andina de Fomento – CAF.

***Consolidando la paz
con desarrollo.***

Presentación

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, dentro de su rol normativo, tiene como funciones entre otras, la de formular las normas sobre el uso y desarrollo de la infraestructura de carreteras y ferrocarriles, así como emitir los manuales de diseño y especificaciones técnicas para la ejecución de los proyectos viales.

En este contexto, el MTC ha elaborado el “Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito” que define estas carreteras aquellas que tienen demandas proyectadas hasta 350 vehículos/día y que corresponderán al Sistema Nacional de Carreteras.

El MTC considera necesario normar un manual que proporcione criterios técnicos sólidos y coherentes, para posibilitar el diseño y construcción de carreteras eficientes, optimizados en su costo e impulsar la extensión técnica masiva de su conocimiento en sus estamentos políticos, técnicos y sociales involucrados en el tema. Para este efecto, el manual, presenta tecnologías apropiadas a la realidad del país favoreciendo el uso de los recursos locales y, en especial, el cuidado de los aspectos de seguridad vial y de preservación del medio ambiente, debiendo las entidades responsables de la gestión vial exigir su uso adecuado.

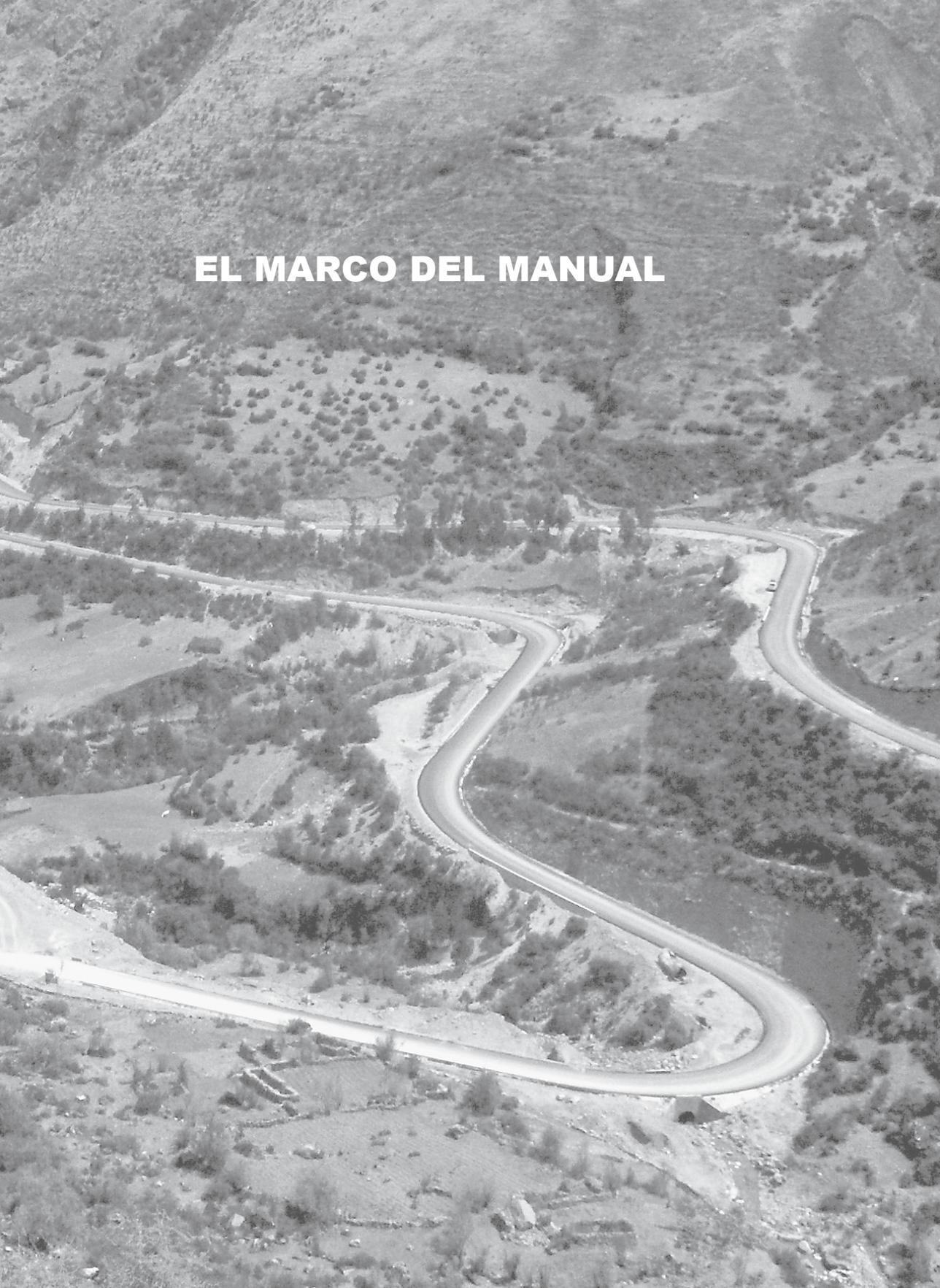
La edición del presente manual es el producto de un esfuerzo conjunto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza Perú – Ecuador. Cuya publicación en el presente volumen es muy satisfactorio presentar



Verónica Zavala Lombardi
Ministra de Transportes y Comunicaciones



EL MARCO DEL MANUAL



EL MARCO DEL MANUAL

a) Alcances del manual

Este manual es de aplicación obligatoria por las autoridades competentes, según corresponda, en todo el territorio nacional para los proyectos de vialidad de uso público. También, por razones de seguridad vial, todos los proyectos viales de carácter privado deberán en lo aplicable ceñirse como mínimo a la normativa de este manual.

Para lo no estipulado en este documento, complementariamente se aplicará el “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001)” del MTC.

Cuando el estudio del proyecto identifique la necesidad de puentes, se tomará en cuenta el “Manual de Diseño de Puentes” vigente, en concordancia con la función de la carretera y necesidades del proyecto vial.

Los valores de diseño que se indican en este volumen son mínimos normales, es decir representan el límite inferior de tolerancia deseable en el diseño. Por lo tanto, ellos constituyen una norma mandataria, sin embargo, en casos específicos donde exista la necesidad de la reducción de estos valores, además de una justificación técnica-económica así como de las medidas paliativas para compensar la disminución de estas características, deberá contar con la autorización expresa de la autoridad vial competente correspondiente a la carretera en estudio.

b) Magnitud y justificación de los proyectos

El hecho que en este manual se presentan determinados criterios para el diseño de carreteras, implica que existen carreteras que son inseguras o de construcción deficiente y obliga a modificarlas. No se pretende necesariamente, imponer políticas que obliguen a la modificación inmediata de los alineamientos o de la sección transversal de las carreteras existentes de bajo volumen de tránsito, pero sí cuando estos requieran asegurar la transitabilidad.

Fundamentalmente este manual se aplica a carreteras existentes mejorando el trazo sin originar grandes movimientos de tierra.

Las referencias de pérdidas del patrimonio vial, por causas del mal estado de las carreteras y la existencia de lugares donde ocurren accidentes, originan la necesidad o conveniencia de efectuar modificaciones a la vialidad; sin embargo, estas son normalmente aisladas. Las características de diseño de las carreteras existentes

no siempre se comportan de modo satisfactorio y suficiente en la mayor parte a lo largo de la ruta.

Para ello es necesario en cada proyecto específico, analizar el grado de problema y la cantidad de recursos que se justifica gastar para superar el problema. Y en este proceso, se tienen normalmente alternativas que debidamente evaluadas, permitirán seleccionar el proyecto óptimo a ejecutar. En este análisis, la magnitud de la demanda de usuarios de la carretera es muy importante para poder valorar los beneficios que la comunidad obtendrá y su relación entre el monto de los beneficios frente a los costos de las obras, lo que permitirá seleccionar entre los proyectos.

La pavimentación de la vía disminuirá los costos de mantenimiento de la vía, disminuirá los costos de operación vehicular, disminuirá el tiempo de viaje del origen al destino favoreciendo principalmente al transporte de productos perecibles, asimismo se incrementará el nivel de servicio al usuario. Aspectos que deberán ser evaluados bajo las consideraciones de costo beneficio y/o costo efectividad.

c. Relación entre demanda y características físicas y operativas de la carretera

El cuadro 1a sintetiza las características de la superficie de rodadura para las carreteras pavimentados de bajo volumen de tránsito. El cuadro 1b recomienda las velocidades de diseño por adoptarse de acuerdo a las condiciones topográficas.

Cuadro 1a: Ancho de calzada para carreteras de bajo volumen de tránsito

IMDA Vehículo / día	Ancho mínimo de calzada (m)	Tipo de superficie de rodadura
0 - 350	5.50 Para carreteras de 2 carriles	Desde tratamientos superficiales asfálticos hasta carpeta asfáltica
	4.00 Para carreteras de 1 carril (*)	

(*) Con plazoletas de cruce cada 500 m como mínimo en tangente con pendiente uniforme y en curvas horizontales y/o verticales de acuerdo a la visibilidad.

Cuadro 1b: Velocidades recomendadas por condiciones topográficas

Terreno	Velocidad directriz (Km./h)
Plano y ondulado	Máximo 90
Accidentado	Máximo 50
Muy accidentado	V<30

La velocidad directriz corresponde a la velocidad de diseño y la velocidad operativa es la que la autoridad competente establece para regular la velocidad de circulación, la misma que debe formar parte de la señalización vial de los diversos tramos de la carretera. Esta velocidad operativa debe estar aprobada mediante resolución emitida por la autoridad competente.

El tipo de vehículos usuario de las carreteras a que se refiere este manual estará limitados a vehículos ligeros y vehículos pesados de carga o pasajeros hasta de 3 ejes.

El uso de la carretera por vehículos mayores por restricciones de seguridad vial, transitabilidad en la vía, deberá ser expresamente autorizado para cada vehículo específico por la autoridad competente, la que deberá establecer las condiciones del tramo, fecha y hora en que se autoriza la circulación de cada vehículo. La autoridad competente, asimismo, podrá cobrar al usuario una tasa que compense los costos que la circulación de este vehículo origine a la sociedad. El cálculo de este costo será parte de un informe técnico específico o será parte de una reglamentación ad-hoc aprobada por la autoridad competente.

d) Actualización del manual

Los usuarios que encuentren la necesidad de introducir reajustes, correcciones o actualizaciones del presente manual, sin perjuicio de su aplicación justificada en el campo de forma inmediata, deberán remitir la propuesta con la debida justificación del caso a la Dirección de Normatividad Vial de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.





Capítulo 1

FUNDAMENTOS DEL MANUAL



FUNDAMENTOS DEL MANUAL

1.1 Clasificación de carreteras y tipos de obra considerados en el manual

Este manual se aplica para el diseño de carreteras con superficies de rodaduras pavimentadas.

La clasificación de carreteras es como sigue:

1.1.1 Clasificación por su función

- (a) Carreteras de la Red Vial Nacional.
- (b) Carreteras de la Red Vial Departamental o Regional.
- (c) Carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural.

1.1.2 Clasificación por el tipo de relieve y clima

Carreteras en terrenos: planos, ondulados, accidentados y muy accidentados; se ubican indistintamente en la costa (poca lluvia), sierra (lluvia moderada) y selva (lluviosa y muy lluviosa).

1.2 Derecho de vía o faja de dominio

1.2.1 Naturaleza del derecho de vía

El Derecho de Vía comprende el área de terreno en que se encuentra la carretera y sus obras complementarias, los servicios y zona de seguridad para los usuarios y las previsiones para futuras obras de ensanche y mejoramiento.

Dentro del ámbito del Derecho de Vía de dominio público, se prohíbe sin excepción alguna la colocación de publicidad comercial exterior, en preservación de la seguridad vial y del medio ambiente.

1.2.2 Dimensionamiento del ancho mínimo del Derecho de Vía para carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

El ancho mínimo del Derecho de Vía debe considerar la clasificación funcional de la carretera, fijándose las siguientes dimensiones:

Cuadro 1.2.2 Ancho del Derecho de Vía para carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Descripción	Ancho mínimo absoluto *
Carreteras de la Red Vial Nacional	16 m *
Carreteras de la Red Vial Departamentales o Regional	16 m *
Carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural	16 m *

* 8.00 m a cada lado del eje



El Derecho de Vía, dentro de la que se encuentra la carretera y sus obras complementarias, se extenderá como mínimo, para carreteras de bajo volumen de tránsito un (1) metro más allá del borde de los cortes del pie de los terraplenes o del borde más alejado de las obras de drenaje que eventualmente se construyan.

La distancia mínima absoluta entre pie de taludes o de obras de contención y un elemento exterior será de dos (2) metros. La distancia mínima deseable será de cinco (5) metros.

1.2.3 Faja de propiedad restringida

A cada lado del Derecho de Vía habrá una faja de propiedad restringida. La restricción se refiere a la prohibición de ejecutar construcciones permanentes que afecten la seguridad vial o la visibilidad y que dificulten ensanches futuros de la carretera.

La propiedad restringida para las carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito será de diez (10) metros de ancho a cada lado del Derecho de Vía.

1.2.4 Procedimientos de adquisiciones de propiedad para el Derecho de Vía público por parte del Estado

El área del Derecho de Vía pasa a propiedad pública a título gratuito u oneroso como parte de la gestión que realiza la autoridad competente en el caso de un proyecto vial.

La ley General de Expropiación 27117 concordada con la Ley 27628, que “facilita la adquisición”, vigentes a la fecha de la elaboración de este manual, regulan la forma de adquirir la propiedad para constituir el Derecho de Vía público, necesario para que las carreteras puedan ser construidas.

1.2.4.1 Valuación

La Ley establece los procedimientos y parámetros de valuación de los predios que son adquiridos total o parcialmente por el Estado, según sea necesario.

1.2.4.2 Registro Nacional de la Propiedad

Las adquisiciones deberán ser inscritas en el Registro de Propiedad correspondiente, en concordancia con la legislación vigente.

1.2.4.3 Materialización del Derecho de Vía

El límite del Derecho de Vía será marcado por la autoridad competente.

1.2.5 Mantenimiento del Derecho de Vía

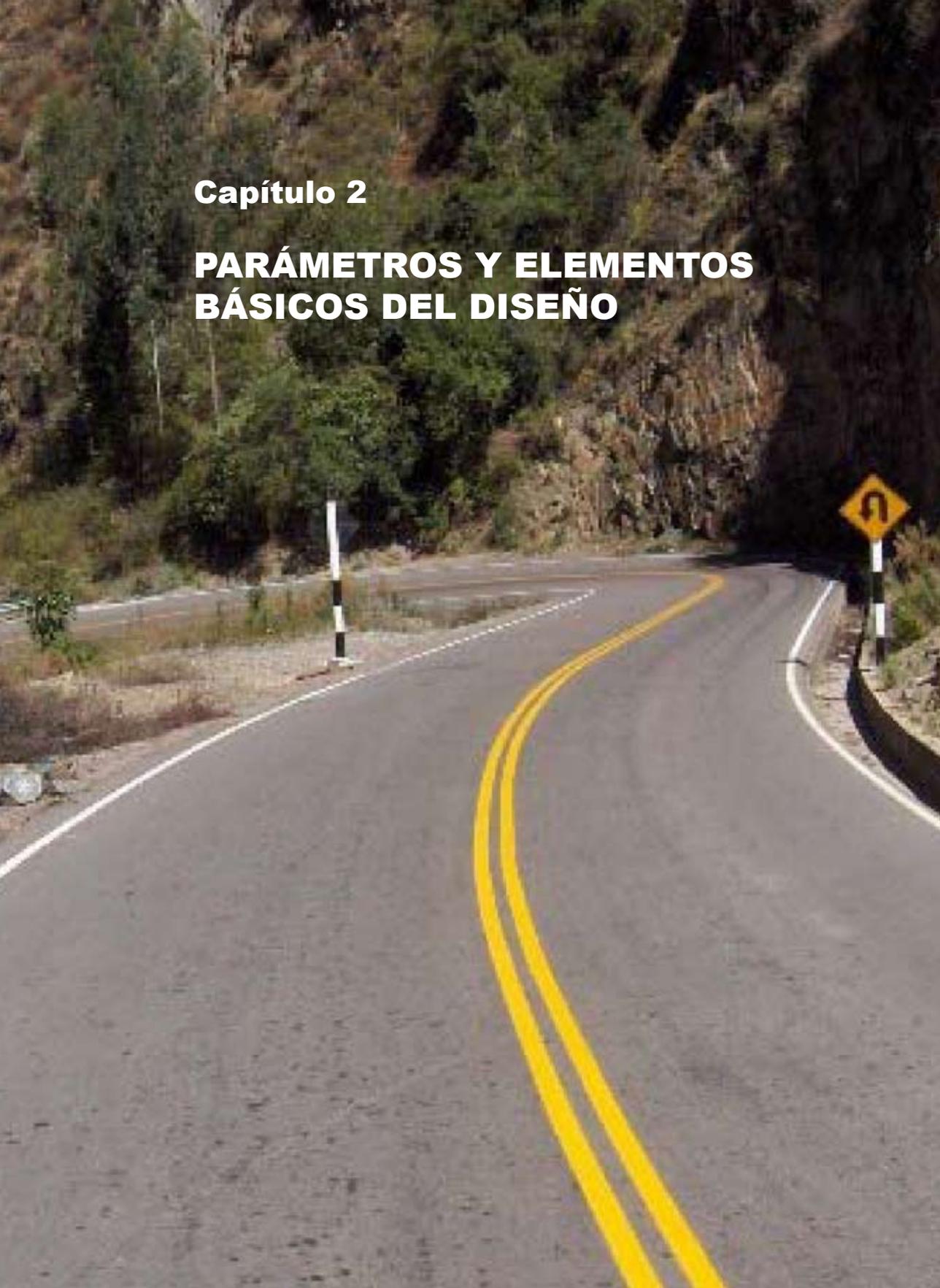
Los presupuestos de ejecución y de mantenimiento de las obras viales, deberán incluir acciones de terminación y limpieza del área del Derecho de Vía.

1.3 Nivel de servicio

El nivel de servicio de la carretera será mejorado en forma escalonada, de acuerdo al incremento del IMDA y demás factores.

Capítulo 2

PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DEL DISEÑO



PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DEL DISEÑO

El diseño de una carretera responde a una necesidad justificada social y económicamente. Ambos conceptos se correlacionan para establecer las características técnicas y físicas que debe tener la carretera que se proyecta para que los resultados buscados sean óptimos, en una solución técnica y económica en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, normalmente en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales.

2.1 Parámetros básicos para el diseño

Para alcanzar el objetivo buscado, deben evaluarse y seleccionarse los siguientes parámetros que definirán las características del proyecto, según se explica a continuación en el siguiente orden:

- 2.1.1 Estudio de la demanda.
- 2.1.2 La velocidad de diseño en relación al costo de la carretera.
- 2.1.3 La sección transversal de diseño.
- 2.1.4 El tipo de superficie de rodadura.

2.1.1 Metodología para el estudio de la demanda de tránsito

2.1.1.1 El Índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA).

El Índice Medio Diario Anual de Tránsito (IMDA) representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica.

En los estudios del tránsito se puede tratar de dos situaciones:

- a) Los estudios para carreteras con el tránsito existente podrá proyectarse mediante los sistemas convencionales.

- b) Las carreteras nuevas requieren de un estudio de desarrollo económico zonal o regional que lo justifique.

La carretera se diseña para un volumen de tránsito que se determina como demanda diaria promedio a servir al final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual, normalmente determinada por el MTC para las diversas zonas del país.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1+i)^{n-1}$$

en la que:

T_n = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base 0) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico (Tasa Anual de Crecimiento de la Población) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos por implementarse con suficiente certeza a corto plazo en la zona de la carretera.

La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población y una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a la región que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

2.1.1.2 Volumen y composición o clasificación de los vehículos (carreteras existentes)

- i) Se definen tramos del proyecto en los que se estima una demanda homogénea en cada uno de ellos.

- ii) Se establece una estación de estudio de tráfico en un punto central del tramo, en un lugar que se considere seguro y con suficiente seguridad social.
- iii) Se toma nota en una cartilla del número y tipo de vehículos que circulan en una y en la otra dirección, señalándose la hora aproximada en que pasó el vehículo por la estación.

Se utiliza en el campo una cartilla previamente elaborada que facilite el conteo, según la información que se recopila y las horas en que se realiza el conteo.

De esta manera, se totalizan los conteos por horas, por volúmenes, por clase de vehículos, por sentidos, etc.

2.1.1.3 Variaciones horarias de la demanda

De conformidad con los conteos, se establece las variaciones horarios de la demanda por sentido de tránsito y también de la suma de ambos sentidos. También se establece la hora de máxima demanda.

Puede realizarse conteos para las 24 horas corridas. Pero si se conoce la hora de mayor demanda, puede contarse por un período menor.

2.1.1.4 Variaciones diarias de la demanda

Si los conteos se realizan por varios días, se pueden establecer las variaciones relativas del tránsito diario (total del día o del período menor observado) para los días de la semana.

2.1.1.5 Variaciones estacionales (mensuales)

Si la información que se recopila es elaborada en forma de muestreo sistemático durante días claves a lo largo de los meses del año, se puede obtener índices de variación mensual que permitan establecer que hay meses con mayor demanda que otros. Como sería el caso en zonas agrícolas, durante los meses de cosecha.

Con la información obtenida mediante los estudios descritos o previamente ya conocida por estudios anteriores, (comprobables con conteos mínimos) podrá establecerse, mediante la proyección de esa demanda para el período de diseño, la sección (ancho) transversal necesaria de la carretera a mejorar y los elementos del diseño de esta sección, como son: ancho de la calzada y de las bermas de la carretera.

2.1.1.6 Metodología para establecer el peso de los vehículos de carga que es importante para el diseño de los pavimentos, pontones y puentes

Estos estudios se concentran sólo en los vehículos pesados dañinos para la carretera y, por tanto, son importantes para definir el diseño de los pavimentos de la superficie de rodadura y la resistencia de los pontones y puentes.

Para el caso de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, en el capítulo 5 se presenta la guía para el diseño de pavimentos, que contiene la metodología y permite establecer el efecto destructivo que tendrá el tránsito sobre el pavimento y cómo diseñar el pavimento para el período de diseño, dándose alternativas de diseño en función de los materiales a utilizarse.

2.1.1.7 Información mínima necesaria

Para los casos en que no se dispone de la información existente de la variación diaria y estacional (mensual) de la demanda que en general es información que debe proveer la autoridad competente, referencialmente para los tramos viales, se requerirá realizar estudios que permitan localmente establecer los volúmenes y características del tránsito diario en, por lo menos, siete (7) días típicos, es decir, normales, de la actividad local.

Para este efecto, debe evitarse contar el tránsito en días feriados, nacionales o patronales, o en días en que la carretera estuviera dañada y, en consecuencia, cortada.

De conformidad a la experiencia anual de las personas de la localidad, los conteos e inventarios de tránsito en general pueden realizarse prescindiéndose de las horas en que se tiene nulo o poco tránsito. El estudio debe tomar días que en opinión general reflejen razonablemente el volumen de la demanda diaria y la composición o clasificación del tránsito.

Finalmente, el efecto destructivo de los vehículos de carga, será estimado según las especificaciones mínimas indicadas en el capítulo 5.

2.1.2 La Velocidad de diseño y su relación con el costo de la carretera

La velocidad de diseño es muy importante para establecer las características del trazado en planta, elevación y sección transversal de la carretera.

Definida la velocidad del diseño para la circulación del tránsito automotor, se procederá al diseño del eje de la carretera, siguiendo el trazado en planta compuesto

por tramos rectos (en tangente) y por tramos de curvas circulares y espirales. Y similarmente del trazado vertical con tramos en pendiente rectas y con pendientes curvilíneas, normalmente parabólicas.

La velocidad de diseño está igualmente relacionada con el ancho de los carriles de circulación y, por ende, con la sección transversal por adoptarse.

La velocidad de diseño es la que establecerá las exigencias de distancias de visibilidad en la circulación y, consecuentemente, de la seguridad de los usuarios de la carretera a lo largo del trazado.

Definición de la velocidad de diseño

La selección de la velocidad de diseño será una consecuencia de un análisis técnico-económico de alternativas de trazado que deberán tener en cuenta la orografía del territorio. En territorios planos el trazado puede aceptar altas velocidades a bajo costo de construcción, pero en territorios muy accidentados será muy costoso mantener una velocidad alta de diseño, porque habría que realizar obras costosas para mantener un trazo seguro. Ello solo podría justificarse si los volúmenes de la demanda de tránsito fueran muy altos.

En el particular caso de este manual destinado al diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen del tránsito, es natural, en consecuencia, que el diseño se adapte en lo posible a las inflexiones del territorio y particularmente la velocidad de diseño deberá ser bastante baja cuando se trate de sectores o tramos de orografía más accidentada.

Velocidad de circulación

La velocidad de circulación corresponderá a la norma que se dicte para señalar la carretera y limitar la velocidad máxima que deberá indicarse mediante la señalización correspondiente. Es recomendable que, en lo posible, la velocidad señalizada sea algo menor que la velocidad de diseño de la carretera.

2.1.3 La sección transversal de diseño

Este acápite se refiere a la selección de las dimensiones que debe tener la sección transversal de la carretera en las secciones rectas (tangente) y los diversos tramos a lo largo de la carretera proyectada.

Para dimensionar la sección transversal, se tendrá en cuenta que las carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, solo requerirán una calzada de circulación vehicular con dos carriles, uno para cada sentido.

El ancho de la carretera, en la parte superior de la plataforma o corona, podrá contener además de la calzada, un espacio lateral a cada lado para bermas y para la ubicación de guardavías, muros o muretes de seguridad, señales y cunetas de drenaje.

La sección transversal resultante será más amplia en los territorios planos en concordancia con la mayor velocidad del diseño. En territorios ondulados y accidentados, tendrá que restringirse lo máximo posible para evitar los altos costos de construcción, particularmente en los trazados a lo largo de cañones flanqueados por farallones de roca o de taludes inestables, en cuyo caso se admitirán excepcionalmente vías de un solo carril, de 4.00 m. de ancho de calzada mínimo, con las zonas de sobrepaso de acuerdo a la visibilidad (plazoletas de cruce), e implementados con los elementos de seguridad necesarios que hayan sido identificados con los estudios de seguridad vial (Auditorías de seguridad vial en todas las etapas del proyecto).

2.1.4 Tipos de superficie de rodadura

Este manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito considera que básicamente se utilizarán los tipos de pavimentos siguientes:

- Carreteras con pavimentos flexibles.
- Carreteras con pavimentos rígidos.

La metodología de diseño de pavimento flexible está desarrollada en el Capítulo 5 de este manual.

Es importante indicar que los criterios para seleccionar la superficie de rodadura en una carretera, establecen que a mayor tránsito pesado, medido en ejes equivalentes destructivos se hará más viable la pavimentación. También es importante establecer que la presión de las llantas de los vehículos, deben mantenerse bajo las 80 libras por pulg² (psi) de presión para evitar la aceleración del deterioro del pavimento.

2.2 Elementos del diseño geométrico

Los elementos que definen la geometría de la carretera son:

- a) La velocidad de diseño seleccionada.
- b) La distancia de visibilidades necesarias.

- c) La estabilidad de la plataforma de la carretera, de las superficies de rodadura, de los puentes, de las obras de arte y de los taludes; y.
- d) La preservación del medio ambiente
- e) Vehículo de diseño

En la aplicación de los requerimientos geométricos que imponen los elementos mencionados, se tiene como resultante el diseño final de un proyecto de carretera o carretera estable y protegida contra las inclemencias del clima y del tránsito.

Para este efecto, este manual incluye la manera en que debe resolverse los aspectos de: diseño de la plataforma de la carretera; estabilidad de la carretera y de los taludes inestables preservación del ambiente, seguridad vial, y diseño propiamente, incluyendo los estudios básicos necesarios, tales como: topografía, geología, suelos, canteras e hidrología, que permiten dar un sustento al proyecto.

Para el buen diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito se consideran claves las siguientes prácticas:

- Limitar al mínimo indispensable el ancho de la carretera para restringir el área alterada.
- Evitar la alteración de los patrones naturales de drenaje.
- Proporcionar drenaje superficial adecuado.
- Proporcionar adecuado drenaje de las capas del pavimento.
- Evitar terrenos escarpados con taludes de más de 60%.
- Evitar problemas tales como zonas inundadas o inestables.
- Mantener una distancia de separación adecuada con los riachuelos y optimizar el número de cruces de cursos de agua.
- Minimizar el número de contactos entre la carretera y las corrientes de agua.
- Diseñar los cruces de quebradas y ríos con la suficiente capacidad y protección de las márgenes contra la erosión permitiendo, de ser el caso, el paso de peces en todas las etapas de su vida.
- Evitar la constricción del ancho activo de los riachuelos, ríos y cursos de agua (ancho con el caudal máximo).

- Conseguir una superficie de rodadura de la carretera estable y con materiales físicamente sanos.
- Instalar obras de subdrenaje donde se necesite, identificando los lugares activos durante la estación de lluvias.
- Reducir la erosión colocando cubiertas vegetales o físicas sobre el terreno en cortes, terraplenes, salidas de drenajes y cualquier zona expuesta a corrientes de agua.
- Usar ángulos de talud estables en cortes y rellenos.
- Usar medidas de estabilización de taludes, de estructuras y de obras de drenaje, conforme se necesiten y sea económicamente seleccionada.
- Aplicar técnicas especiales al cruzar terrenos agrícolas, zonas ribereñas y cuando se tienen que controlar las quebradas.
- Proporcionar un mantenimiento debidamente planeado y programado.
- Cerrar o poner fuera de servicio las carreteras que no se usen o cuando ya no se necesiten.

Capítulo 3

DISEÑO GEOMÉTRICO



DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1 Distancia de visibilidad

distancia de visibilidad es la longitud continua hacia adelante de la carretera, que es visible al conductor del vehículo para poder ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar. En diseño se consideran tres distancias de visibilidad:

- (a) Visibilidad de parada.
- (b) Visibilidad de adelantamiento.
- (c) Visibilidad para cruzar una carretera.

3.1.1 Visibilidad de parada

Distancia de visibilidad de parada es la longitud mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad directriz, antes de que alcance un objeto que se encuentra en su trayectoria.

Para efecto de la determinación de la visibilidad de parada se considera que el objetivo inmóvil tenga una altura de 0.60 m y que los ojos del conductor se ubique a 1.10 m por encima de la rasante de la carretera.

Cuadro 3.1.1: Distancia de visibilidad de parada (metros)

Velocidad directriz (Km./h)	Pendiente nula o en bajada				Pendiente en subida		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	35	31	30	29
40	50	50	50	53	45	44	43
50	65	66	70	74	61	59	58
60	85	87	92	97	80	77	75
70	105	110	116	124	100	97	93
80	130	136	144	154	123	118	114
90	160	164	174	187	148	141	136

La pendiente ejerce influencia sobre la distancia de parada. Ésta influencia tiene importancia práctica para valores de la pendiente de subida o bajada iguales o mayores a 6% y para velocidades directrices mayores de 70 Km. /hora.

En todos los puntos de una carretera, la distancia de visibilidad será igual o superior a la distancia de visibilidad de parada. En el cuadro 3.1.1 se muestran las distancias de visibilidad de parada, en función de la velocidad directriz y de la pendiente.

Para el caso de la distancia de visibilidad de cruce, se aplicarán los mismos criterios que los de visibilidad de parada.

3.1.2 Visibilidad de adelantamiento

Distancia de visibilidad de adelantamiento (paso) es la mínima distancia que debe ser visible a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro vehículo que viaja a velocidad 15 Km./h menor, con comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario a la velocidad directriz, y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso.

Para efecto de la determinación de la distancia de visibilidad de adelantamiento se considera que la altura del vehículo que viaja en sentido contrario es de 1.10 m y que la del ojo del conductor del vehículo que realiza la maniobra de adelantamiento es 1.10 m.

La visibilidad de adelantamiento debe asegurarse para la mayor longitud posible, de la carretera cuando no existen impedimentos impuestos por el terreno y que se reflejan, por lo tanto, en el costo de construcción.

La distancia de visibilidad de adelantamiento a adoptarse varía con la velocidad directriz tal como se muestra en el cuadro 3.1.2

Cuadro 3.1.2: Distancia de visibilidad de adelantamiento

Velocidad directriz Km./h	Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540
90	615

3.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

3.2.1 Consideraciones para el alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal deberá permitir la circulación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad directriz en la mayor longitud de carretera que sea posible.

El alineamiento carretero se hará tan directo como sea conveniente adecuándose a las condiciones del relieve y minimizando dentro de lo razonable el número de cambios de dirección. El trazado en planta de un tramo carretero está compuesto de la adecuada sucesión de rectas (tangentes), curvas circulares y curvas de transición.

En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad directriz. La velocidad directriz, a su vez, controla la distancia de visibilidad.

Los radios mínimos, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento transversal del vehículo están, dados en función a la velocidad directriz, a la fricción transversal, al peralte máximo aceptable y al vehículo de diseño.

En el alineamiento horizontal desarrollado para una velocidad directriz determinada, debe evitarse el empleo de curvas con radio mínimo. En general, se deberá tratar de usar curvas de radio amplio, reservándose el empleo de radios mínimos para las condiciones más críticas.

Deberá buscarse un alineamiento horizontal homogéneo, en el cual tangentes y curvas se suceden armónicamente. Se restringirá en lo posible el empleo de tangentes excesivamente larga con el fin de evitar el encandilamiento nocturno prolongado y la fatiga de los conductores durante el día.

Al término de tangentes largas donde es muy probable que las velocidades de aproximación de los vehículos sean mayores que la velocidad directriz, las curvas horizontales tendrán radios de curvatura razonablemente amplios.

Deberá evitarse pasar bruscamente de una zona de curvas de grandes radios a otra de radios marcadamente menores. Deberá pasarse en forma gradual, intercalando entre una zona y otra, curvas de radio de valor decreciente, antes de alcanzar el radio mínimo.

Los cambios repentinos en la velocidad de diseño a lo largo de una carretera deberán ser evitados. En lo posible estos cambios se efectuarán en decrementos o incrementos de 15 Km. /h.

No se requiere curva horizontal para pequeños ángulos de deflexión. En el cuadro 3.2.1 se muestran los ángulos de inflexión máximos para los cuales no es requerida la curva horizontal.

Cuadro 3.2.1: Ángulos de deflexión máximos para los que no se requiere curva horizontal

Velocidad directriz Km./h	Deflexión máxima aceptable sin curva circular
30	2° 30'
40	2° 15'
50	1° 50'
60	1° 30'
70	1° 20'
80	1° 10'

Para evitar la apariencia de alineamiento quebrado o irregular, es deseable que, para ángulos de deflexión mayores a los indicados en el cuadro 3.2.1 la longitud de la curva sea por lo menos de 150 m. Si la velocidad directriz es menor a 50 Km./h y el ángulo de deflexión es mayor que 5°, se considera como longitud de curva mínima deseada la longitud obtenida con la siguiente expresión $L = 3V$ (L = longitud de curva en metros y V = velocidad en Km./hora). Deben evitarse longitudes de curvas horizontales mayores a 800 metros.

Se evitará, en lo posible, los desarrollos artificiales. Cuando las condiciones del relieve del terreno hagan indispensable su empleo, el proyectista hará una justificación de ello. Las ramas de los desarrollos tendrán la máxima longitud posible y la máxima pendiente admisible, evitando la superposición de varias de ellas sobre la misma ladera. Al proyectar una sección de carretera en desarrollo, será, probablemente, necesario reducir la velocidad directriz. Los radios mínimos de giro en curvas de volteo serán evaluados según el tipo de vehículo de diseño a utilizarse en concordancia al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001.

Las curvas horizontales permitirán, cuando menos, la visibilidad igual a la distancia de parada según se muestra en el cuadro 3.1.1.

Deben evitarse los alineamientos reversos abruptos. Estos cambios de dirección en el alineamiento hacen que sea difícil para los conductores mantenerse en su carril.

También es difícil peraltar adecuadamente las curvas. La distancia entre dos curvas reversas deberá ser, por lo menos, la necesaria para el desarrollo de las transiciones de peralte.

No son deseables dos curvas sucesivas del mismo sentido, cuando entre ellas existe un tramo corto, en tangente. En lo posible se sustituirán por una sola curva o se intercalará una transición en espiral dotada de peralte.

El alineamiento en planta deberá satisfacer las condiciones necesarias de visibilidad de adelantamiento, en tramos suficientemente largos y con una frecuencia razonable a fin de dar oportunidad que un vehículo adelante a otro.

3.2.2 Curvas horizontales

El mínimo radio de curvatura es un valor límite que está dado en función del valor máximo del peralte y del factor máximo de fricción, para una velocidad directriz determinada. En el cuadro 3.2.5b se muestran los radios mínimos y los peraltes máximos elegibles para cada velocidad directriz.

En el alineamiento horizontal de un tramo carretero diseñado para una velocidad directriz, un radio mínimo y un peralte máximo, como parámetros básicos, debe evitarse el empleo de curvas de radio mínimo. En general, se deberá tratar de usar curvas de radio amplio, reservando el empleo de radios mínimos para las condiciones más críticas.

3.2.2.1 Curvas compuestas

Salvo el caso de intersecciones a nivel de intercambios y de curvas de vuelta, en general, se evitará el empleo de curvas compuestas, tratando de reemplazarlas por una sola curva.

En casos excepcionales podrán usarse curvas compuestas o curvas policéntricas de tres centros. En tal caso, el radio de una no será mayor que 1.5 veces el radio de la otra.

3.2.2.2 Curvas de transición

Todo vehículo automotor sigue un recorrido de transición al entrar o salir de una curva horizontal. El cambio de dirección y la consecuente ganancia o pérdida de las fuerzas laterales no pueden tener efecto instantáneamente.

Con el fin de pasar de la sección transversal con bombeo (correspondiente a los tramos en tangente) a la sección de los tramos en curva provistos de peralte y

sobreancho, es necesario intercalar un elemento de diseño con una longitud en la que se realice el cambio gradual a la que se conoce con el nombre de longitud de transición.

Cuando el radio de las curvas horizontales sea inferior al señalado en el cuadro 3.2.2a, se recomienda usar curvas de transición. Cuando se usen curvas de transición, se recomienda el empleo de espirales que se aproximen a la curva de Euler o Clotoide.

Cuadro 3.2.2.a: Necesidad de curvas de transición

Velocidad directriz Km./h	Radio m
20	24
30	55
40	95
50	150
60	210
70	290
80	380
90	480

Cuando se use curva de transición la longitud de la curva de transición no será menor que L_{\min} ni mayor que L_{\max} , según las siguientes expresiones:

$$L_{\min.} = 0.0178 \frac{V^3}{R}$$

$$L_{\max.} = (24R)^{0.5}$$

R = Radio de la curvatura circular horizontal.

L_{min.} = Longitud mínima de la curva de transición.

L_{máx.} = Longitud máxima de la curva de transición en metros.

V = Velocidad directriz en Km. /h.

La longitud deseable de la curva de transición, en función del radio de la curva circular, se presenta en el cuadro 3.2.2b.

Cuadro 3.2.2.b
Longitud deseable de la curva transición

Radio de curva circular (m)	Longitud deseable de la curva transición (m)
20	11
30	17
40	22
50	28
60	33
70	39
80	44
90	50



3.2.3 Acceso a puentes y túneles

El trazo de accesos a puentes, pontones y túneles, ubicadas en curvas horizontales debe ser proyectado considerando radios mínimos que garanticen la seguridad a los usuarios, la transitabilidad en forma continua y la visibilidad.

3.2.4 Distancia de visibilidad en curvas horizontales

La distancia de visibilidad en el interior de las curvas horizontales es un elemento del diseño del alineamiento horizontal.

Cuando hay obstrucciones a la visibilidad (tales como taludes de corte, paredes o barreras longitudinales) en el lado interno de una curva horizontal, se requiere un ajuste en el diseño de la sección transversal normal o en el alineamiento, cuando la obstrucción no puede ser removida.

De modo general, en el diseño de una curva horizontal, la línea de visibilidad deberá ser por lo menos igual a la distancia de parada correspondiente, y se mide a lo largo del eje central del carril interior de la curva.

El mínimo ancho que deberá quedar libre de obstrucciones a la visibilidad será el calculado por la expresión siguiente:

$$M = R \left(1 - \cos \frac{28.65S}{R} \right)$$

M = Ordenada media o ancho mínimo libre.

R = Radio de la curva horizontal.

S = Distancia de visibilidad.

3.2.5 Peralte de la carretera

Se denomina peralte a la sobre elevación de la parte exterior de un tramo de la carretera en curva con relación a la parte interior del mismo. Con el fin de contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga, las curvas horizontales deben ser peraltadas.

El peralte máximo tendrá como valor máximo normal 8% y para velocidades directrices iguales o mayores a 40 Km./h como valor excepcional 10%. En casos extremos podría justificarse en peralte máximo alrededor de 12% en cuyo caso deberá considerarse un incremento en el ancho de cada carril para evitar que los camiones que circulan en un sentido invadan el carril de sentido contrario.

El mínimo radio (R_{\min}) de curvatura es un valor límite que está dado en función del valor máximo del peralte (e_{\max}) y el factor máximo de fricción (f_{\max}) seleccionados para una velocidad directriz (V). El valor del radio mínimo puede ser calculado por la expresión:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 (0.01 e_{\max} + f_{\max})}$$

Los valores máximos de la fricción lateral a emplearse son los que se señalan en el cuadro 3.2.5.a

Cuadro 3.2.5.a: Fricción transversal máxima en curvas

Velocidad directriz Km./h	F
15	0.40
20	0.35
30	0.28
40	0.23
50	0.19
60	0.17
70	0.15
80	0.14
90	0.13
100	0.12

En el cuadro 3.2.5.b se muestran los valores de radios mínimos y peraltes máximos elegibles para cada velocidad directriz. En este mismo cuadro se muestran los valores de la fricción transversal máxima.

Cuadro 3.2.5b: Radios mínimos y peraltes máximos

Velocidad directriz Km./h	Peralte máximo e (%)	Valor límite de fricción f max	Total e/100+	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
15	4.0	0.40	0.44	4.0	4
20	4.0	0.35	0.39	8.1	88
30	4.0	0.28	0.32	22.1	22
40	4.0	0.23	0.27	46.7	47
50	4.0	0.19	0.23	85.6	88
60	4.0	0.17	0.21	135.0	135
70	4.0	0.15	0.19	203.1	203
80	4.0	0.14	0.18	280.0	280
90	4.0	0.13	0.17	375.2	375
15	6.0	0.40	0.46	3.9	4
20	6.0	0.35	0.41	7.7	8
30	6.0	0.28	0.34	20.8	21
40	6.0	0.23	0.29	43.4	43
50	6.0	0.19	0.25	78.7	79
60	6.0	0.17	0.23	123.2	123
70	6.0	0.15	0.21	183.7	184
80	6.0	0.14	0.20	252.0	252
90	6.0	0.13	0.19	335.7	336
15	8.0	0.40	0.48	3.7	4
20	8.0	0.35	0.43	7.3	7
30	8.0	0.28	0.36	19.7	20
40	8.0	0.23	0.31	40.6	41
50	8.0	0.19	0.27	72.9	73
60	8.0	0.17	0.25	113.4	113
70	8.0	0.15	0.23	167.8	168
80	8.0	0.14	0.22	229.1	229
90	8.0	0.13	0.21	303.7	304
15	10.0	0.40	0.50	3.5	4
20	10.0	0.35	0.45	7.0	7
30	10.0	0.28	0.38	18.6	19
40	10.0	0.23	0.33	38.2	38
50	10.0	0.19	0.29	67.9	68
60	10.0	0.17	0.27	105.0	105
70	10.0	0.15	0.25	154.3	154
80	10.0	0.14	0.24	210.0	210
90	10.0	0.13	0.23	277.3	277
15	12.0	0.40	0.52	3.4	3
20	12.0	0.35	0.47	6.7	7
30	12.0	0.28	0.40	17.7	18
40	12.0	0.23	0.35	36.0	36
50	12.0	0.19	0.31	63.5	64
60	12.0	0.17	0.29	97.7	98
70	12.0	0.15	0.27	142.9	143
80	12.0	0.14	0.26	193.8	194
90	12.0	0.13	0.25	255.1	255

La variación de la inclinación de la sección transversal desde la sección con bombeo normal en el tramo recto hasta la sección con el peralte pleno, se desarrolla en una longitud de vía denominada transición. La longitud de transición del bombeo en aquella en la que gradualmente se desvanece el bombeo adverso. Se denomina Longitud de Transición de Peralte a aquella longitud en la que la inclinación de la sección gradualmente varía desde el punto en que se ha desvanecido totalmente el bombeo adverso hasta que la inclinación corresponde a la del peralte.

En el cuadro 3.2.5.c se muestran las longitudes mínimas de transición de bombeo y de transición peralte en función de velocidad directriz y del valor del peralte.

Cuadro 3.2.5.c: Longitudes mínimas de transición de bombeo y transición de peralte (m)

Velocidad directriz (Km./h)	Valor del peralte						Transición de bombeo
	2%	4%	6%	8%	10%	12%	
	Longitud de transición de peralte (m)*						
20	9	18	27	36	45	54	9
30	10	19	29	38	48	58	10
40	10	21	31	41	51	62	10
50	11	22	33	44	55	66	11
60	12	24	36	48	60	72	12
70	13	26	39	52	65	79	13
80	14	29	43	58	72	86	14
90	15	31	46	61	77	92	15

* Longitud de transición basada en la rotación de un carril.

* Longitud basada en 2% de bombeo

El giro del peralte se hará en general, alrededor del eje de la calzada. En los casos especiales como, por ejemplo, en terreno muy llano, cuando se desea resaltar la curva, puede realizarse el giro alrededor del borde interior.

En los cuadros 3.2.5.d1, 3.2.5.d2, 3.2.5.d3, 3.2.5.d4 y 3.2.5.d5, se indican los valores de los peraltes requeridos para cada velocidad directriz en función de los radios adoptados y del peralte máximo de diseño.

En el cuadro 3.2.5.e se muestran las longitudes de transición de peralte en función de la velocidad de diseño y del peralte de la curva circular.

Diseño geométrico

Para los casos en que se haya previsto el empleo de curvas espirales de transición, se verificará que la longitud de estas curvas espirales permita la variación del peralte en los límites indicados; es decir que la longitud resulte mayor o igual a la que se indica en el cuadro 3.2.5.e.



Cuadro 3.2.5.d1: Valores de radios y peraltes – peralte máximo = 4%

e %	Vd=20Km/h R (m)	Vd=30Km/h R (m)	Vd=40Km/h R (m)	Vd=50Km/h R (m)	Vd=60Km/h R (m)	Vd=70Km/h R (m)	Vd=80Km/h R (m)	Vd=90Km/h R (m)
1.5	163	371	679	951	1310	1740	2170	2640
2.0	102	237	441	632	877	1180	1490	1830
2.2	75	187	363	534	749	1020	1290	1590
2.4	51	132	273	435	626	865	1110	1390
2.6	38	99	209	345	508	720	944	1200
2.8	30	79	167	283	422	605	802	1030
3.0	24	64	137	236	356	516	690	893
3.2	20	54	114	199	303	443	597	779
3.4	17	45	96	170	260	382	518	680
3.6	14	38	81	144	222	329	448	591
3.8	12	31	67	121	187	278	381	505
4.0	8	22	47	86	135	203	280	375

Cuadro 3.2.5.d2: Valores de radios y peraltes – peralte máximo = 6%

e %	Vd=20Km/h R (m)	Vd=30Km/h R (m)	Vd=40Km/h R (m)	Vd=50Km/h R (m)	Vd=60Km/h R (m)	Vd=70Km/h R (m)	Vd=80Km/h R (m)	Vd=90Km/h R (m)
1.5	194	421	738	1050	1440	1910	2360	2880
2.0	138	299	525	750	1030	1380	1710	2090
2.2	122	265	465	668	919	1230	1530	1880
2.4	109	236	415	599	825	1110	1380	1700
2.6	97	212	372	540	746	1000	1260	1540
2.8	87	190	334	488	676	910	1150	1410
3.0	78	170	300	443	615	831	1050	1290
3.2	70	152	269	402	561	761	959	1190
3.4	61	133	239	364	511	697	882	1100
3.6	51	113	206	329	465	640	813	1020
3.8	42	96	177	294	422	586	749	939
4.0	36	82	155	261	380	535	690	870
4.2	31	72	136	234	343	488	635	806
4.4	27	63	121	210	311	446	584	746
4.6	24	56	108	190	283	408	538	692
4.8	21	50	97	172	258	374	496	641
5.0	19	45	88	156	235	343	457	594
5.2	17	40	79	142	214	315	421	549
5.4	15	36	71	128	195	287	386	506
5.6	13	32	63	115	176	260	351	463
5.8	11	28	56	102	156	232	315	416
6.0	8	21	43	79	123	184	252	336

Cuadro 3.2.5.d3: Valores de radios y peraltes – peralte máximo = 8 %

e %	Vd=20Km/h R (m)	Vd=30Km/h R (m)	Vd=40Km/h R (m)	Vd=50Km/h R (m)	Vd=60Km/h R (m)	Vd=70Km/h R (m)	Vd=80Km/h R (m)	Vd=90Km/h R (m)
1.5	184	443	784	1090	1490	1970	2440	2970
2.0	133	322	571	791	1090	1450	1790	2190
2.2	119	288	512	711	976	1300	1620	1980
2.4	107	261	463	644	885	1190	1470	1800
2.6	97	237	421	587	808	1080	1350	1650
2.8	88	216	385	539	742	992	1240	1520
3.0	81	199	354	496	684	915	1150	1410
3.2	74	183	326	458	633	849	1060	1310
3.4	68	169	302	425	588	790	988	1220
3.6	62	156	279	395	548	738	924	1140
3.8	57	144	259	368	512	690	866	1070
4.0	52	134	241	344	479	648	813	1010
4.2	48	124	224	321	449	608	766	948
4.4	43	115	208	301	421	573	722	895
4.6	38	106	192	281	395	540	682	847
4.8	33	96	178	263	371	509	645	803
5.0	30	87	163	246	349	480	611	762
5.2	27	78	148	229	328	454	579	724
5.4	24	71	136	213	307	429	549	689
5.6	22	65	125	198	288	405	521	656
5.8	20	59	115	185	270	382	494	625
6.0	19	55	106	172	253	350	469	595
6.2	17	50	98	161	238	340	445	567
6.4	16	46	91	151	224	322	422	540
6.6	15	43	85	141	210	304	400	514
6.8	14	40	79	132	198	287	379	489
7.0	13	37	73	123	185	270	358	464
7.2	12	34	68	115	174	254	338	440
7.4	11	31	62	107	162	237	318	415
7.6	10	29	57	99	150	221	296	389
7.8	9	26	52	90	137	202	273	359
8.0	7	20	41	73	113	168	229	304

Cuadro 3.2.5.d4: Valores de radios y peraltes – peralte máximo = 10%

e %	Vd=20Km/h R (m)	Vd=30Km/h R (m)	Vd=40Km/h R (m)	Vd=50Km/h R (m)	Vd=60Km/h R (m)	Vd=70Km/h R (m)	Vd=80Km/h R (m)	Vd=90Km/h R (m)
1,5	197	454	790	1110	1520	2000	2480	3010
2,0	145	333	580	815	1120	1480	1840	2230
2,2	130	300	522	735	1020	1340	1660	2020
2,4	118	272	474	669	920	1220	1520	1840
2,6	108	249	434	612	843	1120	1390	1700
2,8	99	229	399	564	778	1030	1290	1570
3,0	91	211	368	522	720	952	1190	1460
3,2	85	196	342	485	670	887	1110	1360
3,4	79	182	318	453	626	829	1040	1270
3,6	73	170	297	424	596	777	974	1200
3,8	68	159	278	398	551	731	917	1130
4,0	64	149	261	374	519	690	866	1060
4,2	60	140	245	353	490	652	820	1010
4,4	56	132	231	333	464	617	777	953
4,6	53	124	218	315	439	596	738	907
4,8	50	117	206	299	417	557	703	864
5,0	47	111	194	283	396	530	670	824
5,2	44	104	184	269	377	505	640	788
5,4	41	98	174	256	359	482	611	754
5,6	39	93	164	243	343	451	585	723
5,8	36	88	155	232	327	441	561	693
6,0	33	82	146	221	312	422	538	666
6,2	31	77	138	210	298	404	516	640
6,4	28	72	130	200	285	387	496	616
6,6	26	67	121	191	273	372	476	593
6,8	24	62	114	181	261	357	458	571
7,0	22	58	107	172	249	342	441	551
7,2	21	55	101	164	238	329	425	532
7,4	20	51	95	156	228	315	409	513
7,6	18	48	90	148	218	303	394	496
7,8	17	45	85	141	208	291	380	479
8,0	16	43	80	135	199	279	366	463
8,2	15	40	76	128	190	268	353	448
8,4	14	38	72	122	182	257	339	432
8,6	14	36	68	116	174	246	326	417
8,8	13	34	64	110	166	236	313	402
9,0	12	32	61	105	158	225	300	386
9,2	11	30	57	99	150	215	287	371
9,4	11	28	54	94	142	204	274	354
9,6	10	26	50	88	133	192	259	337
9,8	9	24	46	81	124	179	242	316
10,0	7	19	38	68	105	154	210	277

Cuadro 3.2.5.d6: Valores de radios y peraltes – peralte máximo = 12%

e %	Vd=20Km/h R (m)	Vd=30Km/h R (m)	Vd=40Km/h R (m)	Vd=50Km/h R (m)	Vd=60Km/h R (m)	Vd=70Km/h R (m)	Vd=80Km/h R (m)	Vd=90Km/h R (m)
1.5	210	459	804	1130	1540	2030	2510	3040
2.0	155	338	594	835	1150	1510	1870	2270
2.2	139	306	536	755	1040	1360	1690	2050
2.4	127	278	488	688	942	1250	1550	1880
2.6	116	255	448	631	865	1140	1420	1730
2.8	107	235	413	583	799	1060	1320	1600
3.0	99	218	382	541	742	980	1220	1490
3.2	92	202	356	504	692	914	1140	1390
3.4	86	189	332	472	648	856	1070	1300
3.6	81	177	312	443	609	805	1010	1230
3.8	76	166	293	417	573	759	947	1160
4.0	71	157	276	393	542	718	896	1100
4.2	67	148	261	372	513	680	850	1040
4.4	64	140	247	353	487	646	808	988
4.6	60	132	234	335	463	615	770	941
4.8	57	126	222	319	441	586	734	899
5.0	54	119	211	304	421	560	702	860
5.2	52	114	201	290	402	535	672	824
5.4	49	108	192	277	384	513	644	790
5.6	47	103	183	265	368	492	618	759
5.8	45	98	175	254	353	472	594	730
6.0	43	94	167	244	339	454	572	703
6.2	41	90	159	234	326	436	551	678
6.4	39	86	153	225	313	420	531	654
6.6	37	82	146	216	302	405	512	632
6.8	35	78	140	208	290	391	494	611
7.0	34	75	134	200	280	377	478	591
7.2	32	71	128	192	270	364	462	572
7.4	30	68	122	185	260	352	447	554
7.6	29	65	117	178	251	340	433	537
7.8	27	61	112	172	243	329	420	521
8.0	26	58	107	165	235	319	407	506
8.2	24	55	102	159	227	309	395	491
8.4	23	52	97	154	219	299	383	477
8.6	22	50	93	148	212	290	372	464
8.8	20	47	88	142	205	281	361	451
9.0	19	45	85	137	198	273	351	439
9.2	18	43	81	132	191	264	341	428
9.4	18	41	77	127	185	256	332	416
9.6	17	39	74	123	179	249	323	406
9.8	16	37	71	118	173	241	314	395
10.0	15	36	68	114	167	234	305	385
10.2	14	34	65	110	161	226	296	375
10.4	14	33	62	105	155	219	288	365
10.6	13	31	59	101	150	212	279	355
10.8	12	30	57	97	144	204	270	345
11.0	12	28	54	93	139	197	261	335
11.2	11	27	51	89	133	189	252	324
11.4	11	25	49	85	127	182	242	312
11.6	10	24	46	80	120	173	232	300
11.8	9	22	43	75	113	163	219	285
12.0	7	18	36	64	98	143	194	255

Cuadro 3.2.5.e
Longitud de transición de peralte

e (%)	Vd=20Km/h 1 Lr (m)	Vd=30Km/h 1 Lr (m)	Vd=40Km/h 1 Lr (m)	Vd=50Km/h 1 Lr (m)	Vd=60Km/h 1 Lr (m)	Vd=70Km/h 1 Lr (m)	Vd=80Km/h 1 Lr (m)	Vd=90Km/h 1 Lr (m)
1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
2,0	9	10	10	11	12	13	14	15
2,2	10	11	11	12	13	14	16	17
2,4	11	12	12	13	14	16	17	18
2,6	12	12	13	14	16	17	19	20
2,8	13	13	14	16	17	18	20	21
3,0	14	14	15	17	18	20	22	23
3,2	14	15	16	18	19	21	23	25
3,4	15	16	17	19	20	22	24	26
3,6	16	17	19	20	22	24	26	28
3,8	17	18	20	21	23	25	27	29
4,0	18	19	21	22	24	26	29	31
4,2	19	20	22	23	25	27	30	32
4,4	20	21	23	24	26	29	32	34
4,6	21	22	24	25	28	30	33	35
4,8	22	23	25	27	29	31	35	37
5,0	23	24	26	28	30	33	36	38
5,2	23	25	27	29	31	34	37	40
5,4	24	26	28	30	32	35	39	41
5,6	25	27	29	31	34	37	40	43
5,8	26	28	30	32	35	38	42	44
6,0	27	29	31	33	36	39	43	46
6,2	28	30	32	34	37	41	45	47
6,4	29	31	33	35	38	42	46	49
6,6	30	32	34	37	40	43	48	51
6,8	31	33	35	38	41	45	49	52
7,0	31	34	36	39	42	46	50	54
7,2	32	35	37	40	43	47	52	55
7,4	33	36	38	41	44	48	53	57
7,6	34	36	39	42	46	50	55	58
7,8	35	37	40	43	47	51	56	60
8,0	36	38	41	44	48	52	58	61
8,2	37	39	42	45	49	54	59	63
8,4	38	40	43	47	50	55	60	64
8,6	39	41	44	48	52	56	62	66
8,8	40	42	45	49	53	58	63	67
9,0	40	43	46	50	54	59	65	69
9,2	41	44	47	51	55	60	66	70
9,4	42	45	48	52	56	62	68	72
9,6	43	46	49	53	58	63	69	74
9,8	44	47	50	54	59	64	71	75
10,0	45	48	51	55	60	65	72	77
10,2	46	49	52	56	61	67	73	78
10,4	47	50	53	58	62	68	75	80
10,6	48	51	55	59	64	69	76	81
10,8	49	52	56	60	65	71	78	83
11,0	50	53	57	61	66	72	79	84
11,2	50	54	58	62	67	73	81	86
11,4	51	55	59	63	68	75	82	87
11,6	52	56	60	64	70	76	84	89
11,8	53	57	61	65	71	77	85	90
12,0	54	58	62	66	72	79	86	92

3.2.6 Sobre ancho de la calzada en curvas horizontales

La calzada aumenta su ancho en las curvas para conseguir condiciones de operación vehicular comparable a la de las tangentes.

En las curvas, el vehículo de diseño ocupa un mayor ancho que en los tramos rectos. Así mismo, a los conductores les resulta más difícil mantener el vehículo en el centro del carril.

En el cuadro 3.2.6 se presentan los sobre anchos requeridos para calzadas de doble carril.

Cuadro 3.2.6
Sobre ancho de la calzada en curvas circulares (m)
(Calzada de dos carriles de circulación)

Velocidad directriz km/h	Radio de curva (m)																
	10	15	20	30	40	50	60	80	100	125	150	200	300	400	500	750	1000
20	*	6,52	4,73	3,13	2,37	1,92	1,62	1,24	1,01	0,83	0,70	0,55	0,39	0,30	0,25	0,18	0,14
30			4,95	3,31	2,53	2,06	1,74	1,35	1,11	0,92	0,79	0,62	0,44	0,35	0,30	0,22	0,18
40					2,68	2,20	1,87	1,46	1,21	1,01	0,87	0,69	0,50	0,40	0,34	0,25	0,21
50								1,57	1,31	1,10	0,95	0,76	0,56	0,45	0,39	0,29	0,24
60									1,41	1,19	1,03	0,83	0,62	0,50	0,43	0,33	0,27
70									1,51	1,27	1,11	0,90	0,67	0,55	0,48	0,36	0,30
80											1,19	0,97	0,73	0,60	0,52	0,40	0,33

* Para radio de 10 m se debe usar plantilla de la maniobra del vehículo de diseño

Para velocidades de diseño menores a 50 Km. /h no se requerirá sobre ancho cuando el radio de curvatura sea mayor a 500 m. Tampoco se requerirá sobre ancho cuando las velocidades de diseño estén comprendidas entre 50 y 70 Km. /h y el radio de curvatura sea mayor a 800 m.

3.3 Alineamiento vertical

3.3.1 Consideraciones para el alineamiento vertical

En el diseño vertical, el perfil longitudinal conforma la rasante que está constituida por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales parabólicos a los cuales dichas rectas son tangentes.

Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance del kilometraje, siendo positivas aquellas que implican un aumento de cota y negativas las que producen una pérdida de cota.

Las curvas verticales entre dos pendientes sucesivas permiten conformar una transición entre pendientes de distinta magnitud, eliminando el quiebre brusco de la rasante. El diseño de estas curvas asegurará distancias de visibilidad adecuadas.

El sistema de cotas del proyecto se referirá en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia del estudio con los B.M. de nivelación del Instituto Geográfico Nacional.

A efectos de definir el perfil longitudinal, se considerarán como muy importantes las características funcionales de seguridad y comodidad que se deriven de la visibilidad disponible, de la deseable ausencia de pérdidas de trazado y de una transición gradual continua entre tramos con pendientes diferentes.

Para la definición del perfil longitudinal se adoptarán, salvo casos suficientemente justificados, los siguientes criterios:

- El eje que define el perfil coincidirá con el eje central de la calzada.
- Salvo casos especiales en terreno llano, la rasante estará por encima del terreno a fin de favorecer el drenaje.
- En terrenos ondulados, por razones de economía, la rasante se acomodará a las inflexiones del terreno, de acuerdo con los criterios de seguridad, visibilidad y estética.
- En terrenos montañosos y en terrenos escarpados, también se acomodará la rasante al relieve del terreno, evitando los tramos en contra pendiente, cuando debe vencerse un desnivel considerable, ya que ello conduciría a un alargamiento innecesario del recorrido de la carretera.
- Es deseable lograr una rasante compuesta por pendientes moderadas que presente variaciones graduales entre los alineamientos, de modo compatible con la categoría de la carretera y la topografía del terreno.
- Los valores especificados para pendiente máxima y longitud crítica, podrán emplearse en el trazado cuando resulte indispensable. El modo y oportunidad de la aplicación de las pendientes determinarán la calidad y apariencia de la carretera.
- Rasantes de lomo quebrado (dos curvas verticales de mismo sentido, unidas por una alineación corta), deberán ser evitadas siempre que sea posible. En

casos de curvas convexas, se generan largos sectores con visibilidad restringida y cuando son cóncavas, la visibilidad del conjunto resulta antiestética y se generan confusiones en la apreciación de las distancias y curvaturas.

3.3.2 Curvas verticales

Los tramos consecutivos de rasante serán enlazados con curvas verticales parabólicas cuando la diferencia algebraica de sus pendientes sea mayor a 1% para carreteras pavimentadas.

Las curvas verticales serán proyectadas de modo que permitan, cuando menos, la visibilidad en una distancia igual a la de visibilidad mínima de parada y cuando sea razonable una visibilidad mayor a la distancia de visibilidad de paso.

Para la determinación de la longitud de las curvas verticales se seleccionará el Índice de Curvatura K. La longitud de la curva vertical será igual al Índice K multiplicado por el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes (A).

$$L = KA$$

Los valores de los índices K se muestran en el cuadro 3.3.2.a, para curvas convexas y en el cuadro 3.3.1.b para curvas cóncavas.

Cuadro 3.3.2.a: Índice K para el cálculo de la longitud de curva vertical convexa

Velocidad directriz Km./h	Longitud controlada por visibilidad de frenado		Longitud controlada por visibilidad de adelantamiento	
	Distancia de visibilidad de frenado m.	Índice de curvatura K	Distancia de visibilidad de adelantamiento	Índice de curvatura K
20	20	0.6	--	--
30	35	1.9	200	46
40	50	3.8	270	84
50	65	6.4	345	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338
90	160	39	615	438

El índice de curvatura es la longitud (L) de la curva de las pendientes (A) $K = L/A$ por el porcentaje de la diferencia algebraica.

Cuadro 3.3.2.b: Índice para el cálculo de la longitud de curva vertical cóncava

Velocidad directriz km/h	Distancia de visibilidad de frenado M.	Índice de curvatura K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38

El índice de curvatura es la longitud (L) de la curva de las pendientes (A) $K = L/A$ por el porcentaje de la diferencia algebraica.

3.3.3 Pendiente

En los tramos en corte se evitará preferiblemente el empleo de pendientes menores a 0.5%. Podrá hacerse uso de rasantes horizontales en los casos en que las cunetas adyacentes puedan ser dotadas de la pendiente necesaria para garantizar el drenaje y la calzada cuente con un bombeo igual o superior a 2%.



En general, se considera deseable no sobrepasar los límites máximos de pendiente que están indicados en el cuadro 3.3.3.a.

En tramos carreteros con altitudes superiores a los 3,000 msnm, los valores máximos del cuadro 3.3.3.a para terreno montañoso o terreno escarpados se reducirán en 1%.

Los límites máximos de pendiente se establecerán teniendo en cuenta la seguridad de la circulación de los vehículos más pesados, en las condiciones más desfavorables de la superficie de rodadura.

Cuadro 3.3.3.a: Pendientes máximas

Velocidad de diseño	Orografía tipo			
	Terreno plano	Terreno ondulado	Terreno montañoso	Terreno escarpado
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7
90	6	6	6	6

En el caso de ascenso continuo y cuando la pendiente sea mayor del 5%, se proyectará, más o menos cada tres kilómetros, un tramo de descanso de una longitud no menor de 500 m con pendiente no mayor de 2%. Se determinará la frecuencia y la ubicación de estos tramos de descanso de manera que se consigan las mayores ventajas y los menores incrementos del costo de construcción.

En general, cuando en la construcción de carreteras se emplee pendientes mayores a 10%, se recomienda que el tramo con esta pendiente no exceda 180 m. Distancias mayores requieren un análisis en conformidad con el tipo de tráfico que circulará por la vía.

Es deseable que la máxima pendiente promedio en tramos de longitud mayor a 2000 m no supere el 6%. Las pendientes máximas que se indican en el cuadro 3.3.3.a son aplicables.

En curvas con radios menores a 50 m de longitud debe evitarse pendientes en exceso a 8%, debido a que la pendiente en el lado interior de la curva se incrementa muy significativamente.

3.4 Coordinación entre el diseño horizontal y del diseño vertical

El diseño de los alineamientos horizontal y vertical no debe realizarse independientemente. Para obtener seguridad, velocidad uniforme, apariencia agradable y eficiente servicio al tráfico, es necesario coordinar estos alineamientos. (Figura 3.4.1).

La superposición (coincidencia de ubicación) de la curvatura vertical y horizontal generalmente da como resultado una carretera más segura y agradable. Cambios sucesivos en el perfil longitudinal no combinados con la curvatura horizontal pueden conllevar una serie de depresiones no visibles al conductor del vehículo.

No es conveniente comenzar o terminar una curva horizontal cerca de la cresta de una curva vertical. Esta condición puede resultar insegura, especialmente en la noche, si el conductor no reconoce el inicio o final de la curva horizontal. Se mejora la seguridad si la curva horizontal guía a la curva vertical. La curva horizontal debe ser más larga que la curva vertical en ambas direcciones.

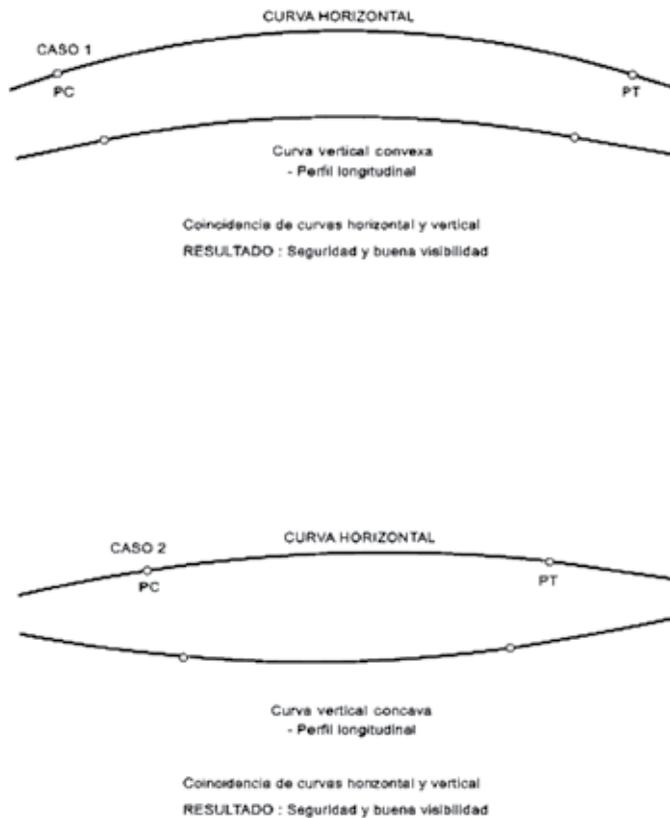
Para efectos del drenaje, deben diseñarse las curvas horizontal y vertical de modo que éstas no se ubiquen cercanas a la inclinación transversal nula en la transición del peralte.

El diseño horizontal y vertical de una carretera deberá estar coordinado de forma que el usuario pueda circular por ella de manera cómoda y segura. Concretamente, se evitará que circulando a la velocidad de diseño, se produzcan pérdidas visuales de trazado, definida ésta como el efecto que sucede cuando el conductor puede ver, en un determinado instante, dos tramos de carretera, pero no puede ver otro situado entre los dos anteriores.

Para conseguir una adecuada coordinación de los diseños, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:

- Los puntos de tangencia de toda curva vertical, en coincidencia con una curva circular, estarán situados dentro de la zona de curvas de transición (clotoide) en planta y lo más alejados del punto de radio infinito o punto de tangencia de la curva de transición con el tramo en recta.
- En tramos donde sea previsible la aparición de hielo, la línea de máxima pendiente (longitudinal, transversal o la de la plataforma) será igual o menor que el diez por ciento (10%).

Figura 3.4.1: Coordinación de los alineamientos horizontal y vertical



3.5 SECCIÓN TRANSVERSAL

3.5.1 Calzada

Se define como calzada a la superficie de la vía sobre la que transitan los vehículos, puede estar compuesta por uno o varios carriles de circulación. No incluye la berma (hombro).

En el cuadro 3.5.1 se indica los valores apropiados del ancho mínimo de la calzada en tramos rectos para cada velocidad directriz en relación al tráfico previsto y a la importancia de la carretera.

**Cuadro 3.5.1: Ancho mínimo deseable de la calzada en tangente
(En metros)**

Tráfico IMDA Velocidad Km./h	16 á 50		51 á 100		101 á 200		201 a 350	
		*		*		*		*
25	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	5.50	6.00
30	5.50	5.50	5.50	6.00	5.50	6.00	5.50	6.00
40	5.50	5.50	5.50	6.00	5.50	6.00	5.50	6.00
50	5.50	5.50	5.50	6.00	5.50	6.60	6.00	6.60
60	6.00	6.00	6.00	6.60	6.00	6.60	6.00	6.60
70	6.00	6.00	6.00	6.60	6.00	6.60	6.00	6.60
80	6.00	6.60	6.00	6.60	6.00	6.60	6.00	6.60
90	6.60	7.00	6.60	7.00	6.60	7.00	7.00	7.00

* Carreteras con predominio de tráfico pesado.

En los tramos en recta, la sección transversal de la calzada presentará inclinaciones transversales (bombeo) desde el centro hacia cada uno de los bordes para facilitar el drenaje superficial y evitar el empozamiento del agua.

Las carreteras pavimentadas estarán provistas de bombeo con valores entre 1.5% y 3%. En los tramos en curva, el bombeo será sustituido por el peralte.

Para determinar el ancho de la calzada en un tramo en curva, deberá considerarse las secciones indicadas en el cuadro 3.5.1 estarán provistas de sobre anchos, en los tramos en curva, de acuerdo a lo indicado en el cuadro 3.2.6.

3.5.2 Bermas

Se define como berma a la franja longitudinal paralela y adyacente a la calzada de la carretera que se utiliza como zona de seguridad para paradas de vehículos en emergencia y de confinamiento del pavimento. Las bermas pueden ser construidas por mezclas asfálticas, tratamientos superficiales o simplemente una prolongación de la superficie de rodadura en las carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

A cada lado de la calzada, se proveerán bermas con un ancho (no menor al indicado en el cuadro 3.5.2.a) mínimo de 0.50 m. Este ancho deberá permanecer libre de todo obstáculo incluyendo señales y guardavías. De existir limitaciones de plataforma, la berma del lado interior (hacia el corte), puede reducir su ancho a criterio del proyectista y en función a la seguridad vial, evitando el efecto pared. Para la colocación de hitos kilométricos, señales, guardavías y otros dispositivos de tránsito deberá proveerse un sobre ancho igual a 0.50m en los lugares en que sea necesario.

Cuadro 3.5.2.a: Ancho de bermas

Velocidad directriz	Ancho berma (*)
15	0.50
20	0.50
30	0.50
40	0.50
50	0.75
60	0.75
70	0.90
80	1.20
90	1.20

(*) Deberá proveerse un sobre ancho en las bermas de 0.50m para la colocación de hitos kilométricos, señales, guardavías y otros dispositivos viales.

En los tramos en tangentes, las bermas tendrán una pendiente de 4% hacia el exterior de la plataforma.

La berma situada en el lado inferior del peralte, seguirá la inclinación de éste cuando su valor sea superior a 4%. En caso contrario, la inclinación de la berma será igual al 4%.

La berma situada en la parte superior del peralte, tendrá en lo posible, una inclinación en sentido contrario al peralte igual a 4%, de modo que escurra hacia la cuneta.

La diferencia algebraica entre las pendientes transversales de la berma superior y la calzada será siempre igual o menor a 7%. Esto significa que cuando la inclinación del peralte es igual a 7%, la sección transversal de la berma será horizontal y cuando el peralte sea mayor a 7% la berma superior quedará indeseablemente inclinada hacia la calzada con una inclinación igual a la inclinación del peralte menos 7%.

ZONA DE SEGURIDAD

Antecedentes:

En el capítulo 3: Sección transversal, Sección 304: Sección transversal de la guía de diseño geométrico del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001 en el punto: Zona de seguridad, se indica los criterios a tomar en cuenta para la zona de seguridad.

Concepto de zona de seguridad

La zona de seguridad es el área fuera del borde del carril que debe ser diseñado de tal manera que un vehículo que salga de los carriles equivocadamente:

- No se vuelca.
- Puede ser parado sin lesiones personales graves.
- Puede ser retornado a la calzada sin daños graves.

El ancho de la zona de seguridad se define con base en la distancia de seguridad y la inclinación del área lateral.

Distancia de seguridad

La distancia de seguridad es la longitud recorrida por los vehículos que salen de la calzada y pueden volver a ella una vez dominada la situación de despiste. En un terreno plano y horizontal, la distancia de seguridad depende de la velocidad directriz y las curvas horizontales, por condiciones físicas en las curvas de distancia de seguridad se aumentan en su parte exterior (ver cuadro 3.5.2.b)..

La inclinación del área lateral

El terreno por dentro de la zona de seguridad debe tener una inclinación para que el área ayude a frenar vehículos errantes. Se distingue entre tres clases:

Clase 1: Terreno horizontal o creciente (pendiente menor que 1:2) o con declive leve (pendiente menor que 1:5), donde se usa el terreno para frenado y maniobra. Se incluye el área en la zona de seguridad.

Clase 2: Terreno descendente ($1:3 \geq \text{pendiente} > 1:5$). Es posible manejar en el área sin volcar, pero el vehículo no desacelera en el área. El área incluido en la zona de seguridad pero no puede ser incluido en la distancia de seguridad.

Clase 3: El terreno sube escarpadamente (pendiente $< 1:2$) o baja escarpadamente (pendiente $< 1:3$). Aquí hay peligro de volcar o ser parada muy de golpe. Estas áreas no están incluidas en la zona de seguridad, pero constituye zonas de peligro y deben ser protegidas con guardavías.

Es importante que en la parte inferior del talud del terraplén y el terreno natural se considere como una unión de forma cóncava con la finalidad de evitar el riesgo de que los vehículos se vuelquen o se paren de golpe.

Cuadro 3.5.2.b: Distancia de seguridad

Velocidad directriz (Km./h)	40	50	60	70	80	90
Radio horizontal (m)	Distancia de seguridad (m)*					
≥ 1000 o tramo recto	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
900	2.2	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4
800	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4
700	2.4	3.6	4.8	6.5	7.8	9.1
600	2.4	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1
500	2.6	3.9	5.2	7.0	8.4	
400	2.8	4.2	5.6	7.0		
300	3.0	4.5	6.4	8.0		
200	3.4	5.1	7.2			
100	4.8	7.5				

* Distancias de seguridad (distancia mínima entre carril y objetos o taludes peligros) Medición de la zona de seguridad

Medición de la zona de seguridad

La zona de seguridad empieza en el borde del carril y se determina en base a la distancia de seguridad y la inclinación del área lateral. La zona de seguridad se incluye dentro de los terrenos de clase 1. Para la clase 2 se ignora debido a que el área no contribuye a frenar el vehículo y para terrenos de clase 3 debe ser protegido por elementos de contención como por ejemplo guardavías.

Zona de peligro

Se considera como zona de peligro si por dentro de la zona de seguridad existen condiciones que constituyen un riesgo inaceptable. Estas incluyen:

- Objetos fijos.
- Taludes.
- Agua.
- Trafico en el sentido contrario.

Las salidas de los vehículos de las vías

Muchos accidentes se producen por despiste o salida de vehículos de la carretera causados muchas veces por distracción, sueño del conductor, etc.

Por ello, hay que disponer de elementos que contribuyan a paliar la gravedad del accidente de muy diversas maneras, entre las que se podrían citar algunas:

- Con la evaluación general de los riesgos que implican las salidas de las vías y con el diseño y construcción de elementos paliativos de eficacia proporcional a tal riesgo.
- Con la construcción de elementos de contención capaces de evitar la salida de la vía.
- Con el principio de que tales elementos de contención no agraven el accidente por la rigidez del impacto en el coche y aumenten los efectos y la discapacidad en los heridos.
- Con la protección de los elementos rígidos en los márgenes de las carreteras.
- Con otros sistemas tales como los lechos de frenada.

Si un vehículo se sale de la carretera, puede chocar con un obstáculo, despeñarse, caer sobre otra carretera (ejemplo típico de los enlaces) o desplazarse libre y regularmente por alguna zona llena y no peligrosa. Esta evaluación sería la relativa al riesgo de la zona.

La posibilidad de que un vehículo se salga de una carretera depende de las condiciones de la misma y también de las condiciones subjetivas de los conductores (sueño, deslumbramiento, etc.). La situación será proporcionalmente más peligrosa cuanto mayor intensidad de tráfico tenga la carretera.

Las consecuencias de cada salida individual de una carretera dependerán de la situación de la misma (viaducto, terraplén de gran altura, etc.) y también de la velocidad, del peso y del número de ocupantes de vehículo.

Para prevenir los accidentes por salida de la vía, se instalan las barreras de contención. Estas barreras tienen que ser menos peligrosas en sí que las consecuencias de la propia salida libre que se intenta prevenir. Es decir; un choque contra una barrera debe ser menos grave que un choque contra un elemento al que la barrera intenta interponerse.

Por otro lado, la barrera debe ser un elemento de contención y reconducción, lo que quiere decir que los vehículos no la deben sobrepasar, ni deben ser impulsados contra otros vehículos después del choque.

Tampoco la barrera nueva o después del impacto debe ser agresiva hacia los usuarios.

Las anteriores consideraciones se pueden resolver teóricamente en términos de energía cinética disipada. La rigidez de los habitáculos de los vehículos se ve contrapesada por los elementos deformables que tiene la carrocería y que sirven para absorber la energía que se disipa en el coche. Una barrera eficaz debe admitir también una deformación ante el choque que sumada a la del vehículo sirva para proteger la vida o para mitigar las lesiones de las personas. La energía es proporcional (no hay que olvidarlo) a la masa y al cuadrado de la velocidad del objeto que choca.

Como último aspecto, hay que plantear el binomio coste-beneficios. Una alta contención es más cara que una contención convencional. La adopción de mayor contención es ventajosa por la disminución del riesgo, lo mismo que sucede con cualquier medida de seguridad que se adopta en un vehículo, edificio o instalación.

3.5.3 Ancho de la plataforma (corona)

Se define como ancho de plataforma (corona) la superficie superior de la carretera, que incluye la calzada y las bermas.

El ancho de la plataforma a rasante terminada (corona) resulta de la suma del ancho en calzada y del ancho de las bermas.

La plataforma a nivel de la subrasante tendrá un ancho necesario para recibir sobre ella la capa o capas de la subbase, base, carpeta asfáltica o tratamiento superficial y la cuneta de drenaje.

3.5.4 Plazoletas de volteo

Se define como plazoleta de volteo a la sección ensanchada del camino destinada a facilitar el volteo del tránsito.

Se recomienda prever ensanches en la plataforma, cada 5 Km. aproximadamente, para que los vehículos puedan dar vuelta de retorno.

La ubicación de las plazoletas se fijará de preferencia en los puntos que combinen mejor la visibilidad a lo largo de la carretera con la facilidad de ensanchar la plataforma.

3.5.5 Dimensiones en los pasos inferiores

La altura libre deseable sobre la carretera será de, por lo menos 5.00 m. En los túneles la altura libre no será menor de 5.50. (Ver figura 3.5.5.1)

Cuando la carretera pasa debajo de una obra de arte vial, su sección transversal permanece inalterada y los estribos o pilares de la obra debajo de la cual pasa, deben encontrarse fuera de las bermas o de las cunetas eventuales, agregándose una sobre berma no menor a 0.50 (1.50 deseable).

3.5.6 Taludes

Los taludes para las secciones en corte y relleno variarán de acuerdo a la estabilidad de los terrenos en que están practicados. La altura admisibles del talud y su inclinación se determinarán, en lo posible, por medio de ensayos y cálculos o tomando en cuenta la experiencia del comportamiento de los taludes de corte ejecutados en rocas o suelos de naturaleza y características geotécnicas similares que se mantienen estables ante condiciones ambientales semejantes.

Los valores de la inclinación de los taludes en corte y relleno serán de un modo referencial los indicados en el acápite 5.2 del capítulo 5.

3.5.7 Sección transversal típica

La figura 3.5.7.1 ilustra una sección transversal típica de la carretera, a media ladera, que permite observar hacia el lado derecho de la carretera la estabilización del talud de corte; y hacia el lado izquierdo, el talud estable de relleno.

Ambos detalles por separado, representan en el caso de presentarse en ambos lados, la situación denominada, en el primer caso "carreteras en corte cerrados" y en el segundo caso "camino en relleno".

3.5.8 Accesos a puentes y túneles

La sección de los puentes, pontones y túneles deben mantener la sección de la carretera que la contiene. En casos especiales, la aproximación de la carrera a estas infraestructuras debe tomar en cuenta las medidas de seguridad vial, transitabilidad continua y conservación.



Figura 3.5.5.1

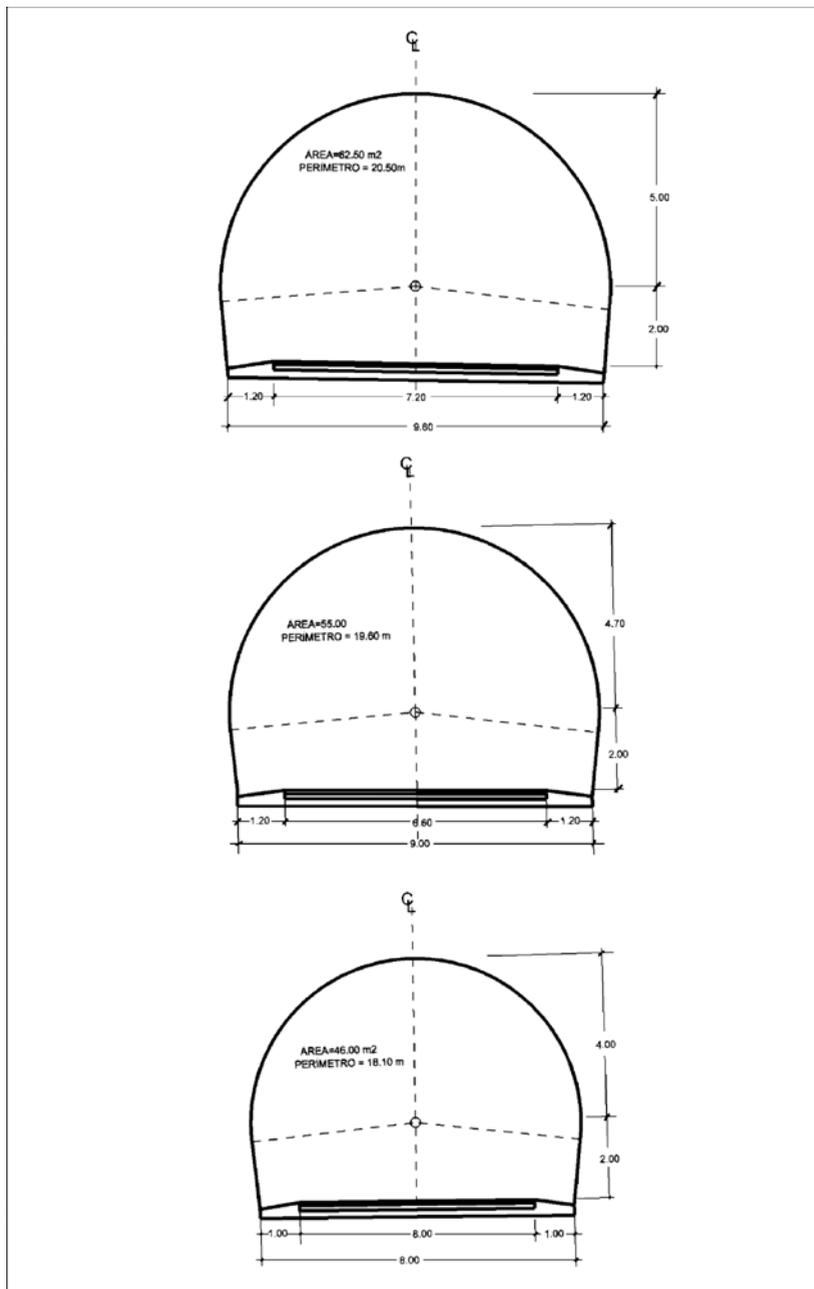
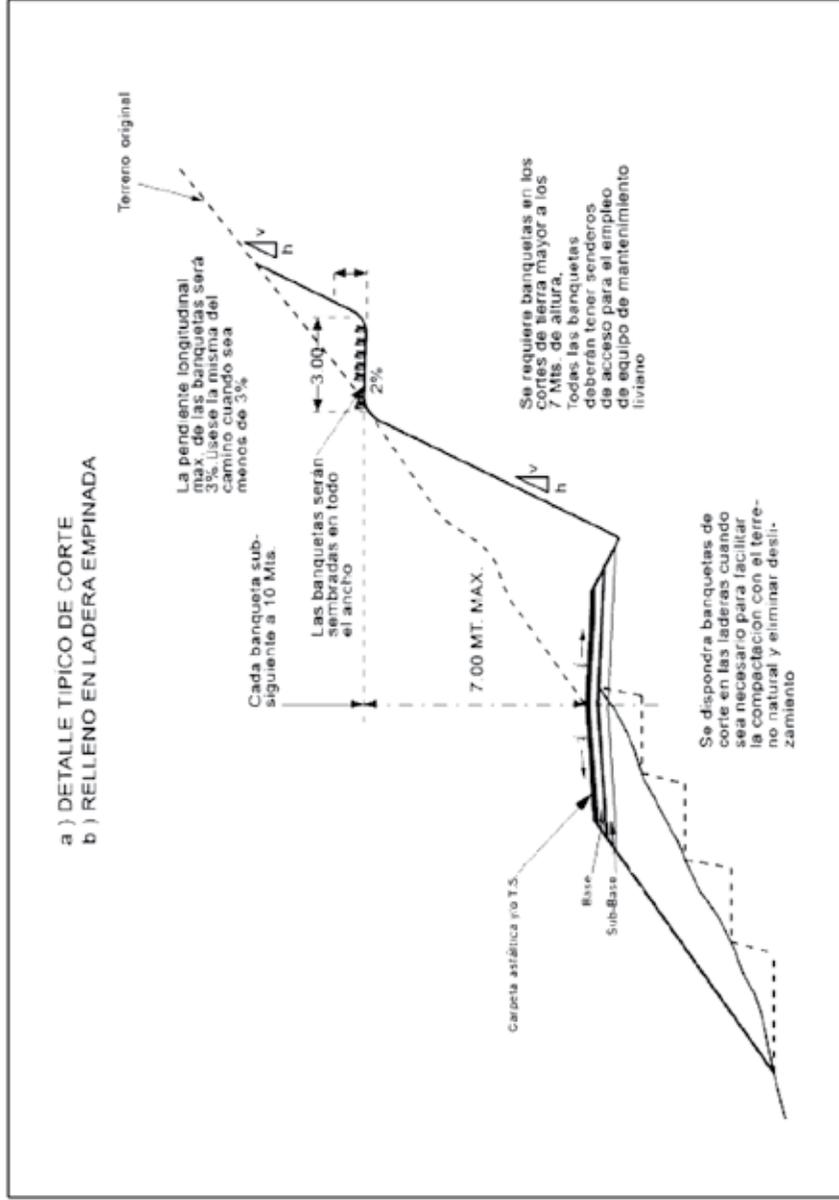




Figura 3.5.7.1



Capítulo 4

HIDROLOGÍA Y DRENAJE



HIDROLOGÍA Y DRENAJE

El sistema de drenaje de una carretera tiene esencialmente dos finalidades:

- a) Preservar la estabilidad de la superficie y del cuerpo de la plataforma de la carretera eliminando el exceso de agua superficial y la subsuperficial con las adecuadas obras de drenaje.
- b) Restituir las características de los sistemas de drenaje y/o de conducción de aguas (natural del terreno o artificial construida previamente) que serían dañadas o modificadas por la construcción de la carretera y que sin un debido cuidado en el proyecto, resultarían causando daños, algunos posiblemente irreparables en el medio ambiente.

Desde estos puntos de vista y de una manera práctica, debe considerarse:

- a) En la etapa del planeamiento
 - Debe aplicarse los siguientes criterios para la localización del eje de la carretera:
 - 1) Evitar en lo posible localizar la carretera en territorios húmedos o pantanosos; zonas de huaicos mayores; zonas con torrentes de aguas intermitentes; zonas con corrientes de aguas subterráneas y las zonas inestables y/o con taludes pronunciadas.
 - 2) Evitar en lo posible la cercanía a reservorios y cursos de aguas existentes, (naturales o artificiales) especialmente si son posible causa de erosiones de la plataforma de la carretera.
- b) En la etapa de diseño del sistema de drenaje
 - 1) Mantener al máximo la vegetación natural existente en los taludes.
 - 2) No afectar o reconstruir (perfeccionándolo) el drenaje natural del territorio (cursos de agua).
 - 3) Canalizar las aguas superficiales provenientes de lluvias sobre la plataforma de la carretera hacia cursos de agua existentes fuera de este, evitando que tenga velocidad erosiva.
 - 4) Bajar la napa freática de aguas subterráneas a niveles que no afecten la carretera.
 - 5) Proteger la carretera contra la erosión de las aguas.

La aplicación de estos criterios, lleva al diseño de soluciones de ingeniería que, por su naturaleza, se agrupan en la forma siguiente:

- 4.1 Drenaje superficial
- 4.2 Drenaje subterráneo

4.1 DRENAJE SUPERFICIAL

4.1.1 Consideraciones generales

a) Finalidad del drenaje superficial

El drenaje superficial tiene como finalidad alejar las aguas de la carretera para evitar el impacto negativo de las mismas sobre su estabilidad, durabilidad y transitabilidad.

El adecuado drenaje es esencial para evitar la destrucción total o parcial de una carretera y reducir los impactos indeseables al ambiente debido a la modificación de la escorrentía a lo largo de éste.

El drenaje superficial comprende:

- La recolección de las aguas procedentes de la plataforma y sus taludes.
- La evacuación de las aguas recolectadas hacia cauces naturales.
- La restitución de la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera.

b) Criterios funcionales

Los elementos del drenaje superficial se elegirán teniendo en cuenta criterios funcionales, según se menciona a continuación:

- Las soluciones técnicas disponibles.
- La facilidad de su obtención y así como los costos de construcción y mantenimiento.
- Los daños que eventualmente producirían los caudales de agua correspondientes al periodo de retorno, es decir, los máximos del periodo de diseño.

Al paso del caudal de diseño, elegido de acuerdo al periodo de retorno y, considerando el riesgo de obstrucción de los elementos del drenaje, se deberá cumplir las siguientes condiciones:

- En los elementos de drenaje superficial, la velocidad del agua será tal que no produzca daños por erosión ni por sedimentación.
- El máximo nivel de la lámina de agua dentro de una alcantarilla será tal que siempre se mantenga un borde libre no menor de 0.10 m.
- No deberán alcanzar la condición de catastróficos los daños materiales a terceros, producibles por una eventual inundación de zonas aledañas al camino, debida a la sobre elevación del nivel de la corriente en un cauce, provocada por la presencia de una obra de drenaje transversal.

c) Periodo de retorno

La selección del caudal de diseño para el cual debe proyectarse un elemento del drenaje superficial está relacionada con la probabilidad o riesgo que ese caudal sea excedido durante el periodo para el cual se diseña la carretera. En general, se aceptan riesgos más altos cuando los daños probables que se produzcan, en caso de que discurra un caudal mayor al de diseño, sean menores y los riesgos aceptables deberán ser muy pequeños cuando los daños probables sean mayores.

El riesgo o probabilidad de excedencia de un caudal en un intervalo de años está relacionado con la frecuencia histórica de su aparición o con el periodo de retorno.

En el cuadro 4.1.1a se muestran los valores del riesgo de excedencia del caudal de diseño, durante la vida útil del elemento de drenaje para diversos periodos de retorno.

Cuadro 4.1.1.a: Riesgo de excedencia (%) durante la vida útil para diversos periodos de retorno

Período de retorno (años)	Años de vida útil				
	10	20	25	50	100
10	65.13%	87.84%	92.82%	99.48%	99.99%
15	49.84%	74.84%	82.18%	96.82%	99.90%
20	40.13%	64.15%	72.26%	92.31%	99.41%
25	33.52%	55.80%	63.96%	87.01%	98.31%
50	18.29%	33.24%	39.65%	63.58%	86.74%
100	9.56%	18.21%	22.22%	39.50%	63.40%
500	1.98%	3.92%	4.88%	9.3%	18.14%
1000	1.00%	1.98%	2.47%	4.88%	9.52%
10000	0.10%	0.20%	0.25%	0.50%	0.75%

Se recomienda adoptar periodos de retorno no inferiores a 10 años para las cunetas y para las alcantarillas de alivio. Para las alcantarillas de paso, el periodo de retorno aconsejable es de 50 años. Para los pontones y puentes, el periodo de retorno no será menor a 100 años. Cuando sea previsible que se produzcan daños catastróficos en caso de que se excedan los caudales de diseño, el periodo de retorno podrá ser hasta de 500 años ó más.

En el cuadro 4.1.1.b, se indican períodos de retorno aconsejables según el tipo de obra de drenaje.

Cuadro 4.1.1.b: Períodos de retorno para diseño de obras de drenaje en carreteras de bajo volumen de tránsito

Tipo de Obra	Período de Retorno en años
Puentes y pontones	100(mínimo)
Alcantarillas de paso y badenes	50
Alcantarilla de alivio	10 – 20
Drenaje de la plataforma	10

d) Riesgo de obstrucción

Las condiciones de funcionamiento de los elementos de drenaje superficial pueden verse alteradas por su obstrucción debido a cuerpos arrastrados por la corriente.

Entre los elementos del drenaje superficial de la plataforma, el riesgo es especialmente mayor en los sumideros y colectores enterrados, debido a la presencia de elementos flotantes y/o sedimentación del material transportado por el agua. Para evitarlo, se necesita un adecuado diseño, un cierto sobre dimensionamiento y una eficaz conservación o mantenimiento.

El riesgo de obstrucción de las obras de drenaje transversal (alcantarillas de paso de cursos naturales), fundamentalmente por vegetación arrastrada por la corriente, dependerá de las características de los cauces y zonas inundables y puede clasificarse en las categorías siguientes:

- **Riesgo alto:** Existe peligro de que la corriente arrastre árboles y rocas u objetos de tamaño parecido.
- **Riesgo medio:** Pueden ser arrastradas cañas, arbustos, ramas y objetos de dimensiones similares en cantidades importantes.

- **Riesgo bajo:** No es previsible el arrastre de objetos de tamaño en cantidad suficiente como para obstruir el desagüe.

Si el riesgo fuera alto, deberá procurarse que las obras de drenaje transversal no funcionen a sección llena, dejando entre el nivel superior de la superficie del agua y el techo del elemento un borde libre, para el nivel máximo del agua, con un resguardo mínimo de 1.5 m, mantenido en una anchura no inferior a 12 m. Si el riesgo fuera medio, las cifras anteriores podrán reducirse a la mitad. De no cumplirse estas condiciones, deberá tenerse en cuenta la sobre elevación del nivel del agua que pueda causar una obstrucción, aplicando en los cálculos una reducción a la sección teórica de desagüe. También se podrá recurrir al diseño de dispositivos para retener al material flotante, aguas arriba y a distancia suficiente. Esto siempre que se garantice el mantenimiento adecuado.

Deberá comprobarse que la carretera no constituya un obstáculo que retenga las aguas desbordadas de un cauce o conducto de agua, y prolongue de forma apreciable la inundación después de una crecida.

e) Daños debidos a la escorrentía

A efectos del presente manual, únicamente se considerarán como daños a aquellos que se producen por la presencia de la carretera. Es decir a las diferencias en los efectos producidos por el caudal entre las situaciones correspondientes a la presencia de la carretera y de sus elementos de drenaje superficial, y a su ausencia.

Estos daños pueden clasificarse en las categorías siguientes:

- Los producidos en el propio elemento de drenaje o en su entorno inmediato (sedimentaciones, erosiones, roturas).
- Las interrupciones en el funcionamiento de la carretera o de vías contiguas, debidas a inundación de su plataforma.
- Los daños a la estructura del pavimento, a la plataforma de la carretera o a las estructuras y obras de arte.
- Los daños materiales a terceros por inundación de las zonas aledañas.

Estos daños, a su vez, podrán considerarse catastróficos o no. No dependen del tipo de la carretera ni de la circulación que esta soporte, sino de su emplazamiento.

e.1) Daños en el elemento de drenaje superficial

Se podrá considerar que la corriente no producirá daños importantes por erosión de la superficie del cauce o conducto si su velocidad media no excede de los límites fijados en la cuadro 4.1.1c en función de la naturaleza de dicha superficie:

Cuadro 4.1.1.c: Velocidad máxima del agua

Tipo de superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 – 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50 *
Concreto	4.50 – 6.00 *

* Para flujos de muy corta duración

Si la corriente pudiera conducir materiales en suspensión (limo, arena, etc.) se cuidará de que una reducción de la velocidad del agua no provoque su sedimentación, o se dispondrán depósitos de sedimentación para recogerlas, los cuales deberán ser de fácil limpieza y conservarse de forma eficaz.

e.2) Daños no catastróficos a terceros

Donde existan zonas rurales en las que eventualmente terceros sufren daños por inundaciones o similares, deberá cuidarse y comprobarse que la carretera no constituya un obstáculo que retenga las aguas desbordadas y prolongue de forma apreciable la inundación después del paso de una crecida. Especial atención deberá prestarse a este problema en cauces con márgenes más altos que los terrenos circundantes y en llanuras de inundación.

e.3) Daños catastróficos

Los daños a terceros se considerarán catastróficos cuando exista alguna de las circunstancias siguientes:

- Riesgo de pérdida de vidas humanas o graves daños personales.
- Afectaciones a núcleos poblados o industriales.

En los casos en que no resulte evidente la imposibilidad de daños catastróficos, evidencia que se deberá justificar razonadamente, se realizará un detallado análisis de la situación. Si de dicho análisis se dedujera riesgo de daños catastróficos se adoptarán las medidas oportunas para evitarlos.

e.4) Beneficios

Todo análisis de las afectaciones a terceros causadas por la presencia de una carretera deberá incluir, además de los daños, eventuales beneficios.

4.1.2 Hidrológica y cálculos hidráulicos

Las dimensiones de los elementos del drenaje superficial serán establecidas mediante métodos teóricos conocidos de acuerdo a las características hidrológicas de la zona por la que pasa la carretera y tomando en cuenta la información pluviométrica disponible.

El método de estimación de los caudales asociados a un período de retorno depende del tamaño y naturaleza de la cuenca tributaria. Por su naturaleza representan casos especiales la presencia de lagos, embalses y zonas inundables que retengan o desvíen la escorrentía.

Cuando las cuencas son pequeñas, se considera pertinente el método de la fórmula racional y/o de alguna otra metodología apropiada para la determinación del caudal de diseño. Se consideran cuencas pequeñas a aquellas en que el tiempo de concentración es igual o menor a 6 horas. El tiempo de recorrido del flujo en el sistema de cauces de una cuenca (o tiempo de concentración relacionado con la intensidad media de precipitación), se puede deducir por la fórmula:

$$T = 0.3 (L/J)^{3/4}$$

Siendo:

T = Tiempo de concentración en horas

L = Longitud del cauce principal en km.

J = Pendiente media

Cuando se disponga de información directa sobre niveles o cualidades de la avenida, se recomienda comparar los resultados obtenidos del análisis con esta información directa.

El caudal de diseño que aporta una cuenca pequeña se obtendrá mediante la fórmula racional:

$$Q = C I A / 3.6$$

Q = Caudal m³/seg. (Para cuencas pequeñas) en la sección en estudio.

I = Intensidad de la precipitación pluvial máxima, previsible, correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración y a un periodo de retorno dado, en mm/h.

A = Área de la cuenca en km²

C = Coeficiente de escorrentía.

Para el pronóstico de los caudales, el procedimiento racional requiere contar con la familia de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF). En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración; en el cuadro 4.1.2.a se muestran coeficientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información.

**Cuadro 4.1.2.a: Coeficientes de duración
Lluvias entre 48 horas y una hora**

Duración de la precipitación en horas	Coeficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

El coeficiente de C, de la fórmula racional, puede determinarse con la ayuda de los valores mostrados en los cuadros 4.1.2.b y 4.1.2.c

Cuadro 4.1.2.b: Valores para la determinación del coeficiente de escorrentía

Condición	Valores			
1. Relieve del terreno	$K_1 = 40$ Muy accidentado pendiente superior al 30%	$K_1 = 30$ Accidentado pendiente entre 10% y 30%	$K_1 = 20$ Ondulado pendiente entre 5% y 10%	$K_1 = 10$ Llano pendiente inferior al 5%
2. Permeabilidad del suelo	$K_2 = 20$ Muy impermeable Roca sana	$K_2 = 15$ Bastante impermeable Arcilla	$K_2 = 10$ Permeable	$K_2 = 5$ Muy permeable
3. Vegetación	$K_3 = 20$ Sin vegetación	$K_3 = 15$ Poca Menos del 10% de la superficie	$K_3 = 10$ Bastante Hasta el 50% de la superficie	$K_3 = 5$ Mucha Hasta el 90% de la superficie
4. Capacidad de retención	$K_4 = 20$ Ninguna	$K_4 = 15$ Poca	$K_4 = 10$ Bastante	$K_4 = 5$ Mucha

Cuadro 4.1.2.c: Coeficiente de escorrentía

$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4$ *	C
100	0.80
75	0.65
50	0.50
30	0.35
25	0.20

* Ver Cuadro 4.1.2.b

Para la determinación del coeficiente de escorrentía también podrán tomarse como referencia, cuando sea pertinente, los valores mostrados en el cuadro 4.1.2.d

Cuadro 4.1.2.d: Coeficiente de escorrentía

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía
Pavimento asfáltico y concreto	0.70 – 0.95
Adoquines	0.50 – 0.70
Superficie de grava	0.15 – 0.30
Bosques	0.10 – 0.20
Zonas de vegetación densa	
• Terrenos granulares	0.10 – 0.50
• Terrenos arcillosos	0.30 – 0.75
Tierra sin vegetación	0.20 – 0.80
Zonas cultivadas	0.20 – 0.40

Para el cálculo de la velocidad y del caudal en un canal con régimen hidráulico uniforme, se puede emplear la fórmula de Manning.

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

$$Q = VA$$

$$R = A / P$$

Donde:

- Q** = Caudal m³/s
- V** = Velocidad media m/s
- A** = Área de la sección transversal ocupada por el agua m²
- P** = Perímetro mojado m
- R** = A/P; Radio hidráulico m
- S** = Pendiente del fondo m/m
- n** = Coeficiente de rugosidad de Manning (Cuadro 4.1.2.e)

Cuadro 4.1.2.e: Valores del coeficiente de Manning

Tipo de canal	Mínimo	Normal	Máximo
Tubo metálico corrugado	0.021	0.024	0.030
Tubo de concreto	0.010	0.015	0.020
Canal revestido en concreto alisado	0.011	0.015	0.017
Canal revestido en concreto sin alisar	0.014	0.017	0.020
Canal revestido albañilería de piedra	0.017	0.025	0.030
Canal sin revestir en tierra o grava	0.018	0.027	0.030
Canal sin revestir en roca uniforme	0.025	0.035	0.040
Canal sin revestir en roca irregular	0.035	0.040	0.050
Canal sin revestir con maleza tupida	0.050	0.080	0.120
Río en planicies de cauce recto sin zonas con piedras y malezas	0.025	0.030	0.035
Ríos sinuosos o torrentosos con piedras	0.035	0.040	0.600

En las cuencas mayores, el cálculo del caudal de diseño debe ser obtenido de métodos hidrológicos apropiados y que no son tratados en este manual.

Para los aspectos hidrológicos del diseño de puentes, serán de aplicación lo establecido en el Manual de Diseño de Puentes.

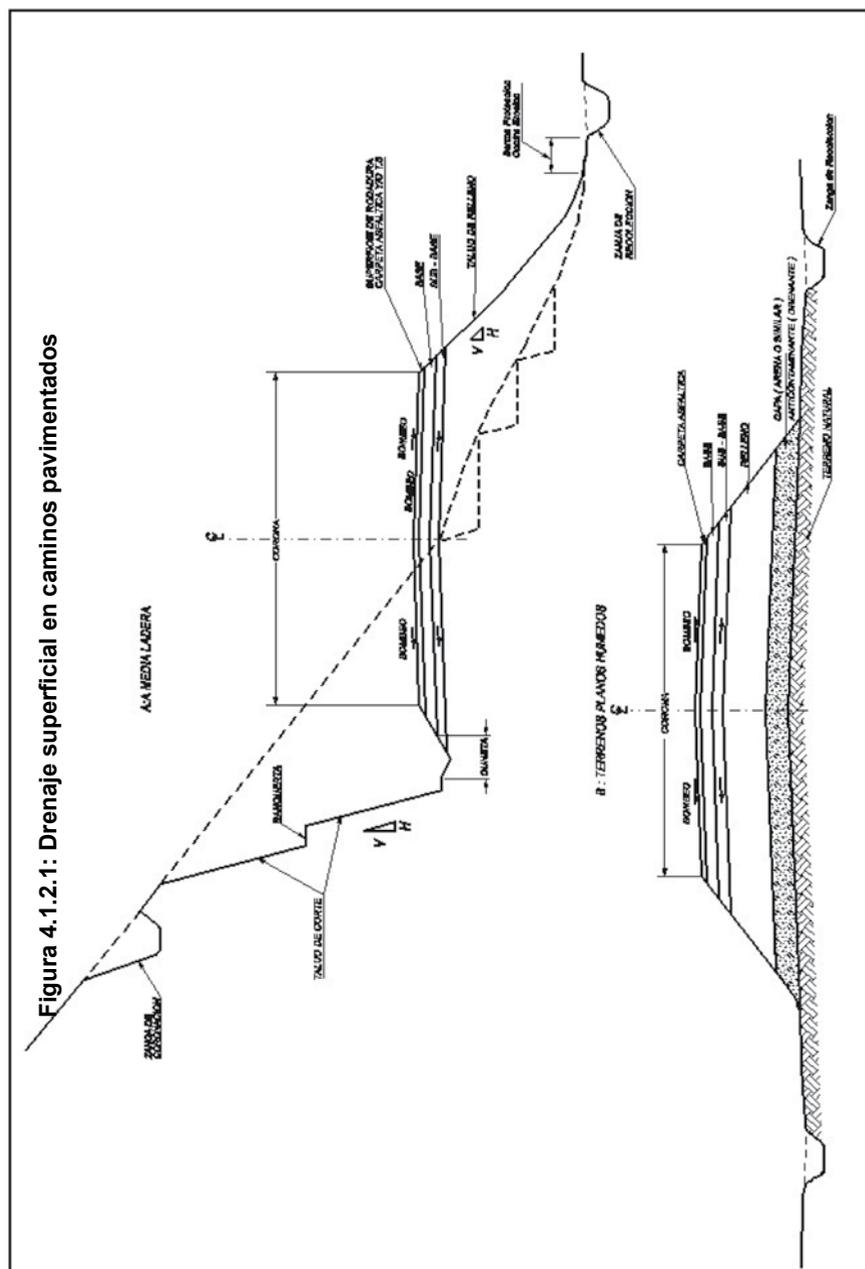
4.1.3 Elementos físicos del drenaje superficial

a) Drenaje del agua que escurre superficialmente

Función del bombeo y del peralte

La eliminación del agua de la superficie de rodadura se efectúa por medio del bombeo en las secciones en tangente y del peralte en las curvas horizontales, provocando el escurrimiento de las aguas hacia las cunetas (figura 4.1.3.1). Los valores del bombeo se señalan en el ítem 3.5.1.

Figura 4.1.2.1: Drenaje superficial en caminos pavimentados



Pendiente longitudinal de la rasante

De modo general la rasante será proyectada con pendiente longitudinal no menor de 0.5 %, evitándose los tramos horizontales con el fin de facilitar el movimiento del agua de las cunetas hacia sus aliviaderos o alcantarillas.

Solamente en el caso que la rasante de la cuneta pueda proyectarse con la pendiente conveniente, independientemente de la calzada, se podrá admitir la horizontalidad de ésta.

Desagüe sobre los taludes en relleno o terraplén

Si la plataforma de la carretera está en un terraplén o relleno y el talud es erosionable, las aguas que escurren sobre la calzada deberán ser encausadas por los dos lados, de la misma forma que el desagüe en sitios preparados especialmente protegidas para evitar la erosión de los taludes (figura 4.1.3.2).

Para encausar las aguas, cuando el talud es erosionable, se podrá prever la construcción de un bordillo al costado de la berma el mismo que deberá ser cortado con frecuencia impuesta por la intensidad de las lluvias, encausando el agua mediante aliviaderos con descarga al pie del talud.

b) Cunetas

Las cunetas preferentemente serán de sección triangular y se proyectarán para todos los tramos al pie de los taludes de corte.

Sus dimensiones serán fijadas de acuerdo a las condiciones pluviales, siendo las dimensiones mínimas aquellas indicadas en el cuadro 4.1.3.a.

El ancho es medido desde el borde de la subrasante hasta la vertical que pasa por el vértice inferior. La profundidad es medida verticalmente desde el nivel del borde de la subrasante al fondo o vértice de la cuneta.

Cuando existan limitaciones de ancho de la plataforma se podrá proyectar cunetas con doble función:

- Drenaje y
- Área de emergencia (berma)

Para los cuales se buscará la solución más adecuada tales como: cunetas cubiertas, berma-cuneta, etc.

Figura 4.1.3.2
Desagüe sobre los taludes en relleno

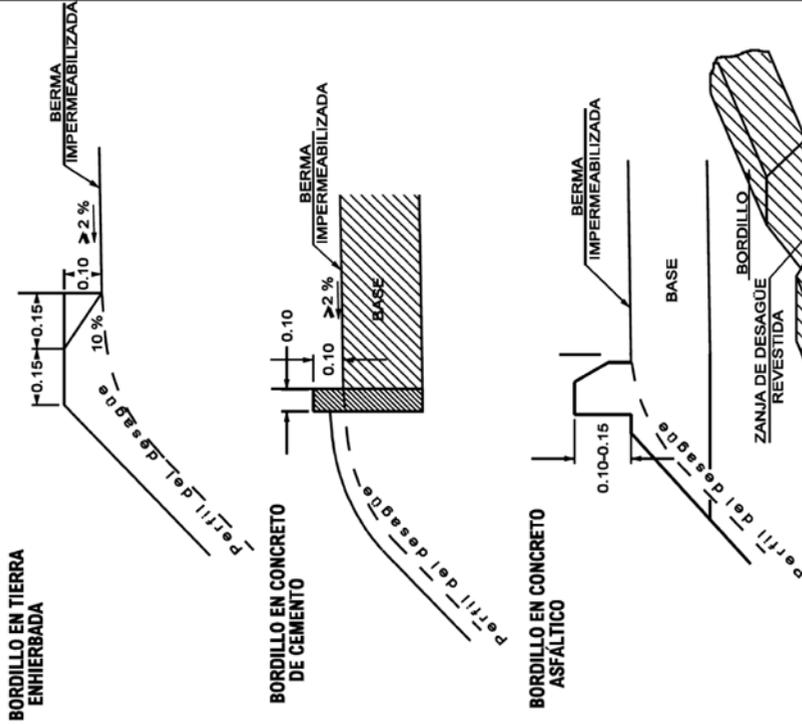


Figura 4.1.3.3a
Cuneta revestida

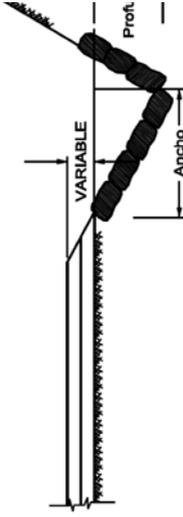
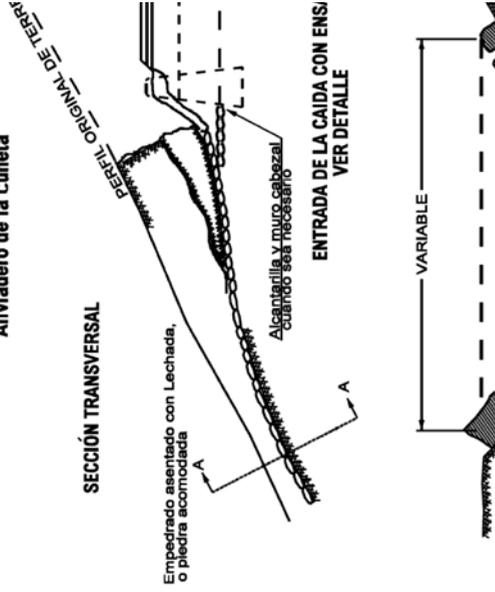


Figura 4.1.3.3b

LINEA TÍPICA REVESTIDA
Aliviadero de la cuneta



Cuadro 4.1.3.a: Dimensiones mínimas de las cunetas

Región	Profundidad (m)	Ancho (m)
Seca	0.20	0.50
Lluviosa	0.30	0.75
Muy lluviosa	0.30*	1.20

* Sección trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30m.

Revestimiento de las cunetas

Para evitar el deterioro del pavimento, las cunetas deberán ser revestidas. Dicho revestimiento será a base de mampostería de piedra, concreto u otro material adecuado (figura 4.1.3.3a).

Desagüe de las cunetas

La descarga de agua de las cunetas se efectuará por medio de alcantarillas de alivio (figura 4.1.3.3b).

En región seca o poco lluviosa la longitud de las cunetas será de 250 m. como máximo. Las longitudes de recorridos mayores deberán justificarse técnicamente. En región muy lluviosa se recomienda reducir esta longitud máxima a 200 m.

c) Zanjas de coronación

Ubicación de las zanjas de coronación

Cuando se prevea que el talud de corte esta expuesto a efecto erosivo del agua de escorrentía, se deberá diseñar zanjas de coronación (figura 4.1.3.4)

Revestimiento de las zanjas de coronación

Se deberá revestir las zanjas en el caso que estén previstas filtraciones que pueden poner en peligro la estabilidad del talud de corte.

d) Zanjas de recolección

La zanja de recolección será necesaria para llevar las aguas de las alcantarillas de alivio hacia los cursos de agua existente. (Figura 4.1.3.4)

Dimensiones de las zanjas

Las dimensiones se fijarán de acuerdo a las condiciones pluviométricas de la zona y características del terreno.

Desagüe de las zanjas

La ubicación de los puntos de desagüe deberá ser fijada por el proyectista teniendo en cuenta la ubicación de las alcantarillas y la longitud máxima que puede alcanzar la zanja con relación a sus dimensiones y a la lluviosidad de la zona (figura 4.1.3.5).

e) Canal de bajada

Cuando la carretera en media ladera o en corte cerrado cruza un curso de agua que no es posible desviar, es necesario encauzar las aguas en un canal de bajada revestida con el fin también de preservar la estabilidad del talud (figura 4.1.3.5 y 4.1.3.6).

f) Alcantarillas de paso y alcantarillas de alivio

Tipo y ubicación

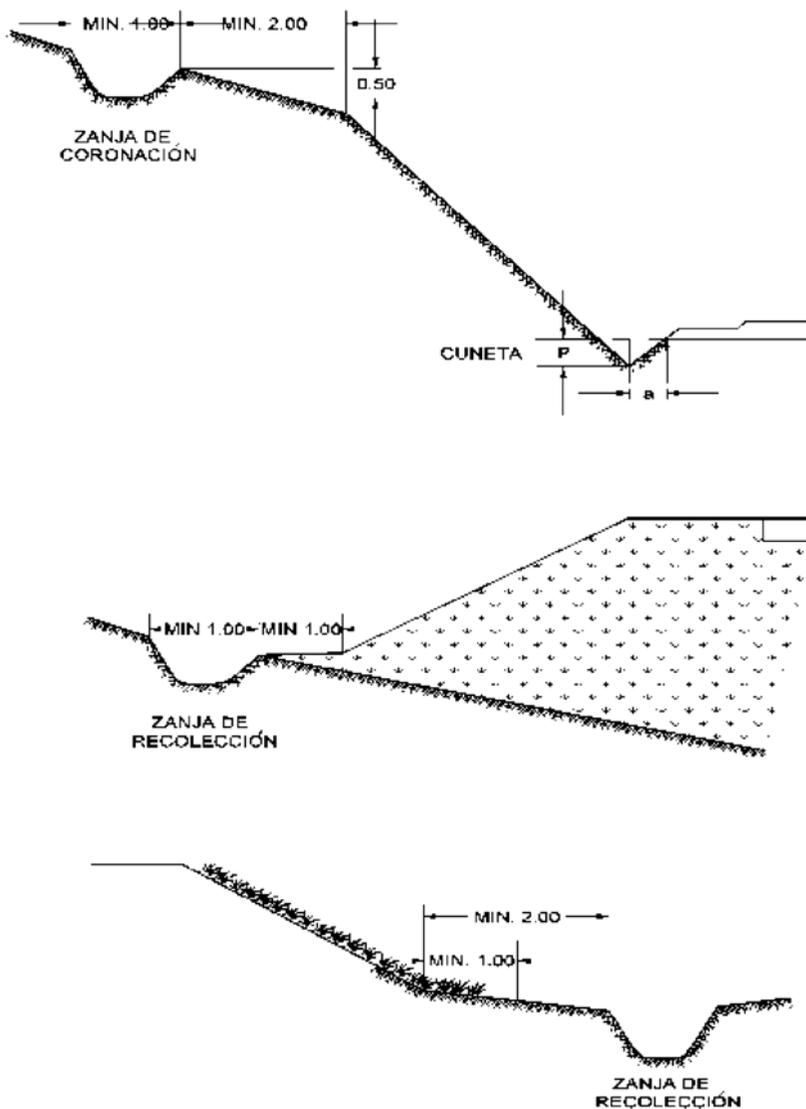
El tipo de alcantarilla deberá de ser elegido en cada caso teniendo en cuenta el caudal a eliminarse, la naturaleza y la pendiente del cauce y el costo en relación con la disponibilidad de los materiales.

La cantidad y la ubicación deberán establecerse a fin de garantizar el funcionamiento del sistema de drenaje. En los puntos bajos del perfil longitudinal, debe proyectarse una alcantarilla de alivio.

Dimensiones mínimas

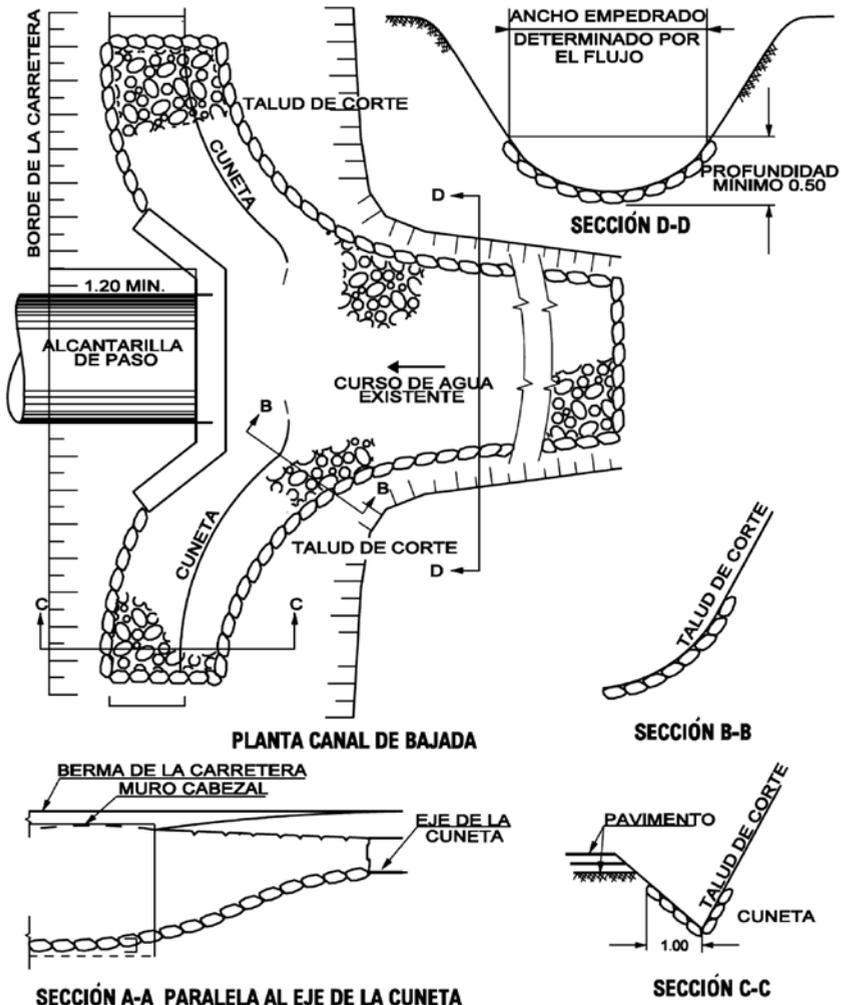
La dimensión mínima interna de las alcantarillas deberá ser la que permite su limpieza y conservación, adoptándose una sección circular mínima de 0.90 m (36") de diámetro o su equivalente de otra sección. (Figuras 4.1.3.7 y 4.1.3.9).

Figura 4.1.3.4
Zanjas de coronación y de recolección



NOTA: LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EXPRESADAS EN METROS A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

Figura 4.1.3.5
Canal de bajada



NOTA: LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EXPRESADAS EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

Figura 4.3.1.6
Canal de bajada - Elevación de corte

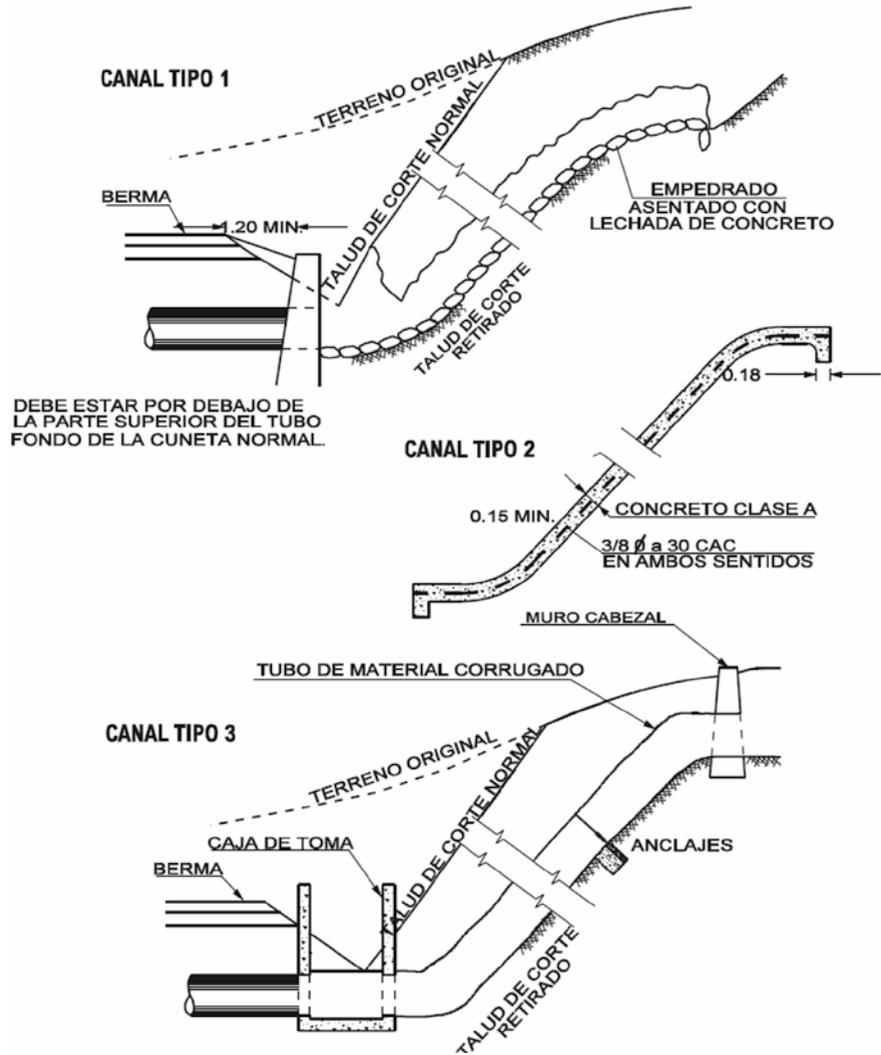


Figura N° 4.1.3.7
Detalles de alcantarillas

Detalle de instalación
de alcantarilla metálica

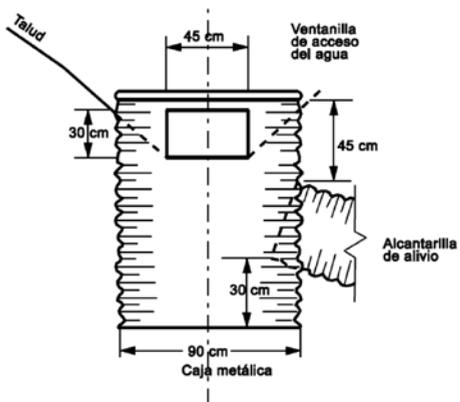
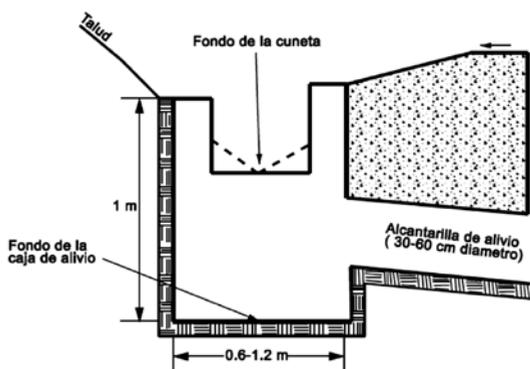
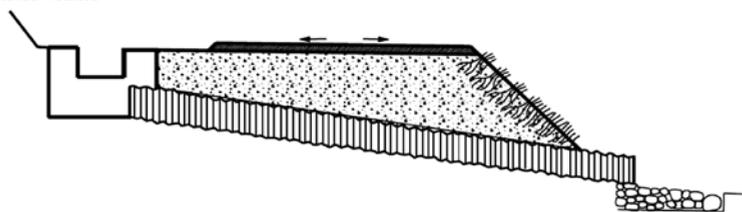
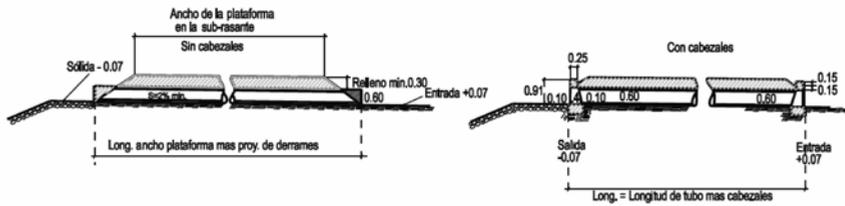
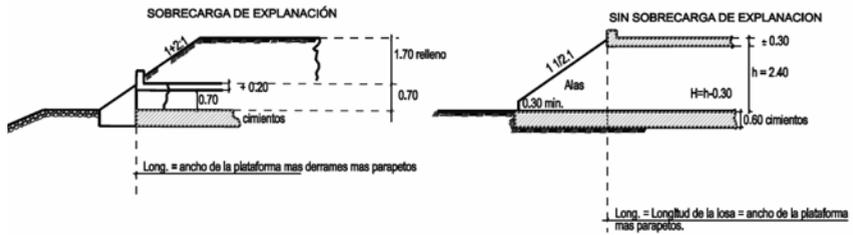


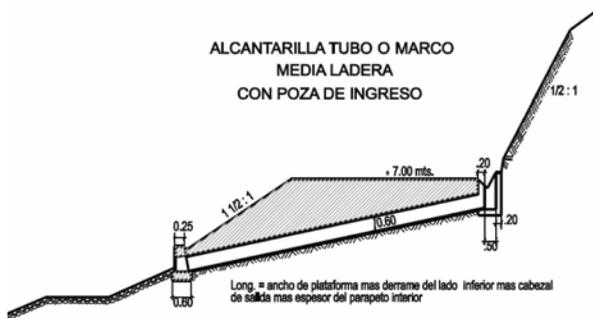
Figura 4.1.3.8
Ejemplos de localización y de tipos de alcantarillas



ALCANTARILLA DE LOSA



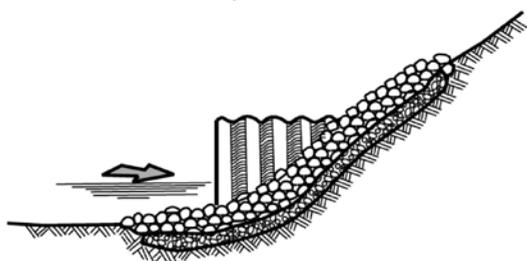
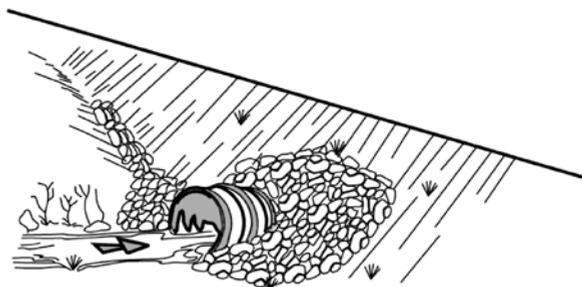
**ALCANTARILLA TUBO O MARCO
MEDIA LADERA
CON POZA DE INGRESO**



ALCANTARILLA MARCO



Figura 4.1.3.8a
Alcantarilla de paso y protección de piedra



OPCIONAL CON GEOTEXTIL

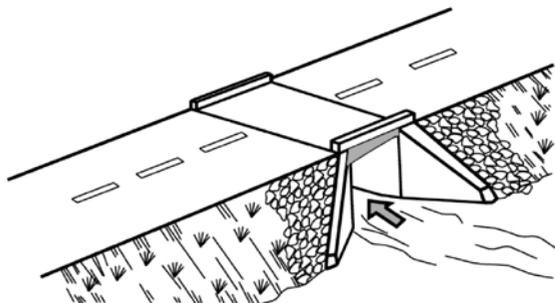


Figura 4.1.3.9a
Diseños típicos de cunetas

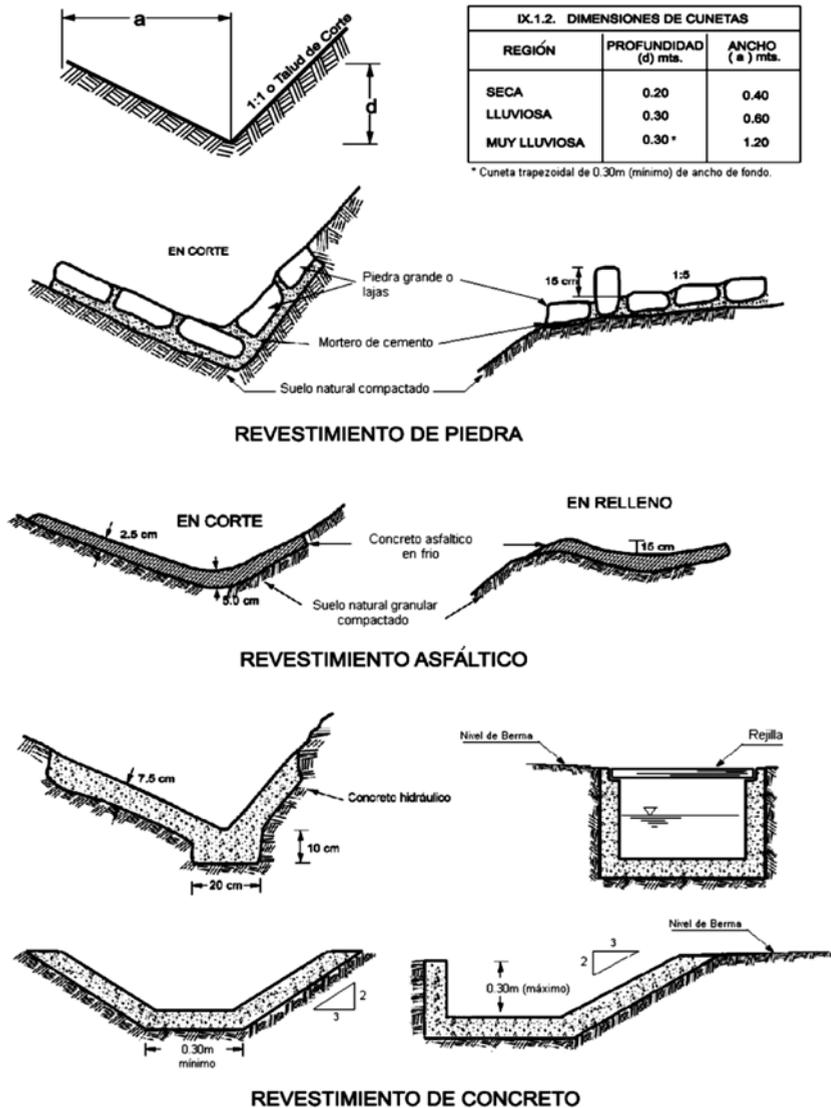
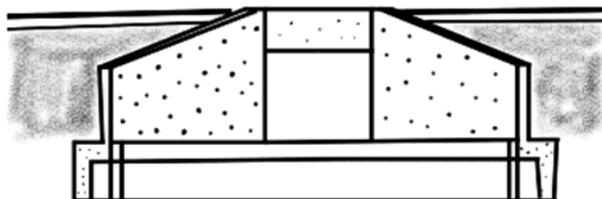
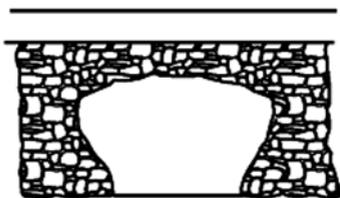


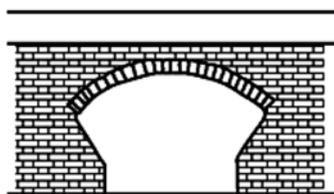
Figura 4.1.3.9b
Tipos de alcantarillas económicas*



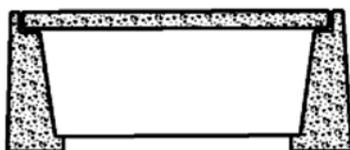
ALCANTARILLA TIPO MARCO DE CONCRETO ARMADO



ALCANTARILLA DE MAMPOSTERÍA
DE PIEDRA



ALCANTARILLA DE LADRILLO



ALCANTARILLA Y PONTONES DE CONCRETO

* Las alcantarillas tendran una dimension minima de 0.90m

g) **Badenes**

Los badenes (figura 4.1.3.10) son una solución satisfactoria para los cursos de agua que descienden por quebradas cuyo nivel de fondo de cauce coincide con el nivel de la rasante, descargando materiales sólidos esporádicamente con fuerza durante algunas horas, en épocas de lluvia.

Los badenes tienen como superficie de rodadura una capa de empedrado de protección o tienen una superficie mejorada formada por una losa de concreto.

Evitar la colocación de badenes sobre depósitos de suelos de grano fino susceptibles a la socavación, evitar también la adopción de diseños que no prevean protección contra la socavación.

En casos que así lo ameriten, podrá afianzarse su estabilidad mediante uñas a la entrada y/o salida de la estructura.

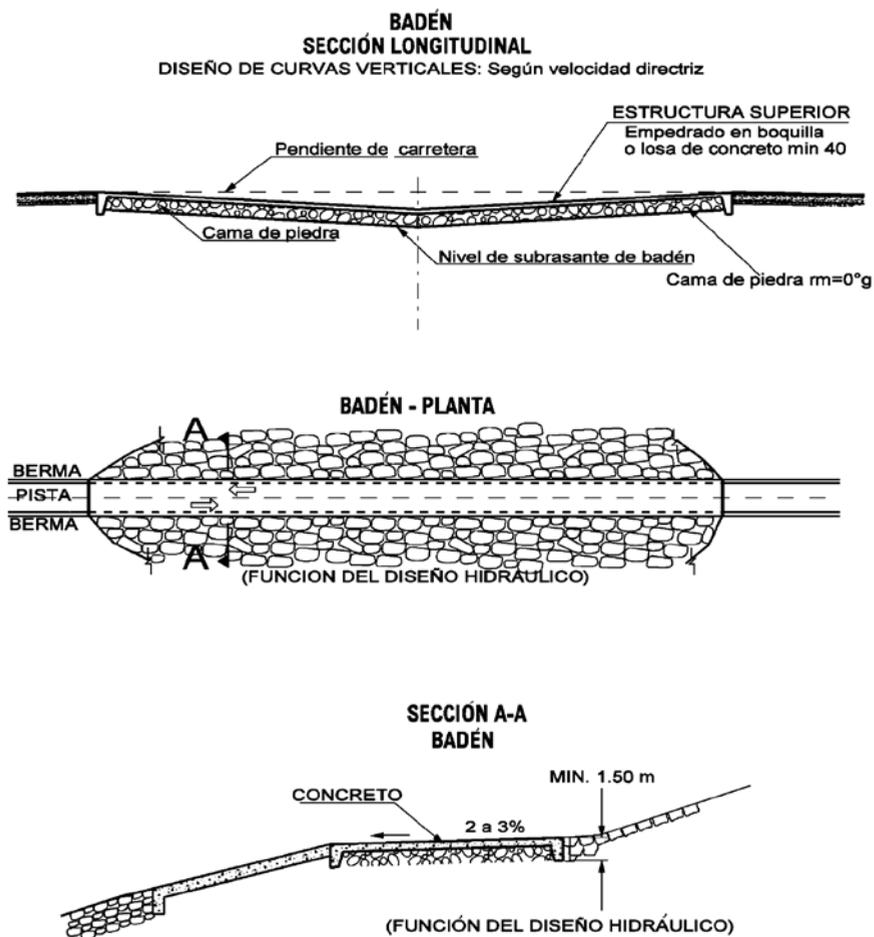
También pueden usarse badenes combinados con alcantarillas, tanto de tubos como del tipo cajón; sin embargo estas estructuras pueden originar el represamiento de los materiales de arrastre en el cauce ocasionado la obstrucción de la alcantarilla, poniendo en riesgo la estabilidad de la estructura.

Los badenes presentan la ventaja de que son estructuras menos costosas que las alcantarillas grandes, pontones o puentes. Asimismo, en general, no son susceptibles de obstruirse.

Para el diseño de badenes se recomienda lo siguiente:

- Usar una estructura o una losa suficientemente larga para proteger el “perímetro mojado” del cauce natural del curso de agua. Agregar protección por arriba del nivel esperado de aguas máximas. Mantener un borde libre, típicamente de entre 0.3 y 0.5 metros, entre la parte superior de la superficie reforzada de rodadura (losa) y el nivel de aguas máximas esperado.
- Proteger toda la estructura con pantallas impermeables, enrocamiento, gaviones, losas de concreto, u otro tipo de protección contra la socavación.
- Construir las cimentaciones sobre material resistente a la socavación (roca sana o enrocado) o por debajo de la profundidad esperada de socavación. Evitar la socavación de la cimentación o del cauce mediante el uso de empedrado pesado colocado localmente, jaulas de gaviones o refuerzo de concreto.

Figura 4.1.3.10
Badenes



h) Vados

El cruce a nivel de una carretera a través de un río pequeño se denomina "vado". Idealmente debe construirse en lugares donde el cruce natural tiene poca altura.

Para el diseño de vados se recomienda:

- Para el caso de vados simples de piedra, es conveniente usar grandes fragmentos de roca o piedra bien graduados en la base de la quebrada. Rellenar los huecos con fragmentos pequeños de roca limpia o con grava para proporcionar una superficie de rodadura uniforme. A estas rocas pequeñas se les deberá dar mantenimiento periódico y se remplazarán eventualmente.
- Usar vados para el cruce de cauces secos o con caudales pequeños durante la mayor parte del año.
- Ubicar los vados donde las márgenes del curso de agua sean bajas y donde el cauce esté bien confinado.
- Usar marcadores de profundidad resistentes y bien colocados en los vados para advertir al tránsito de alturas peligrosas del agua.
- Evitar la construcción de curvas verticales pronunciadas en vados en las que puedan quedar atrapados camiones largos o remolques.



4.2 Drenaje subterráneo

4.2.1 Condiciones generales

El drenaje subterráneo se proyectará para controlar y/o limitar la humedad de la plataforma de la carretera y de los diversos elementos del pavimento de una carretera.

Sus funciones serán alguna o varias de las siguientes:

- Interceptar y desviar corrientes subsuperficiales y/o subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera.
- Hacer descender el nivel freático.
- Sanear las capas del pavimento.

Las figuras 4.2.1a y 4.2.1b muestran la disposición general que deben tener los drenes subterráneos.

Figura 4.2.1a
DRENAJE SUBTERRÁNEO

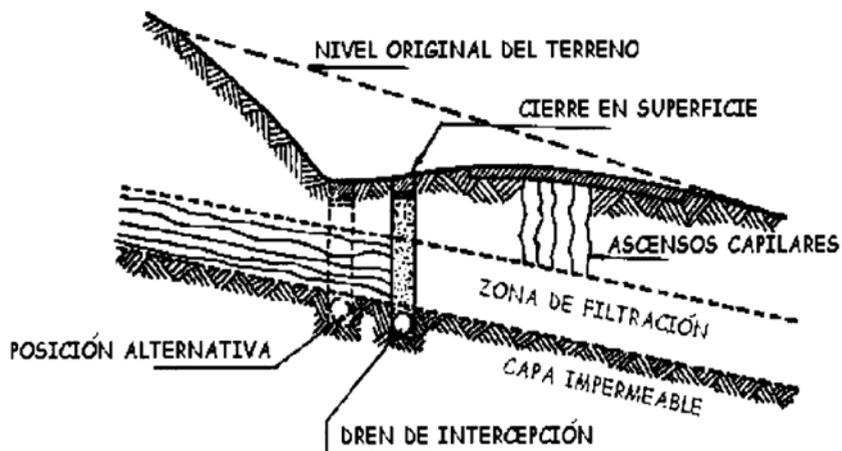
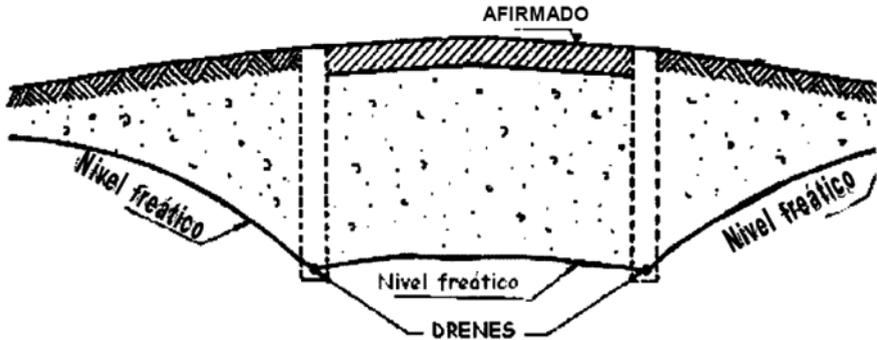


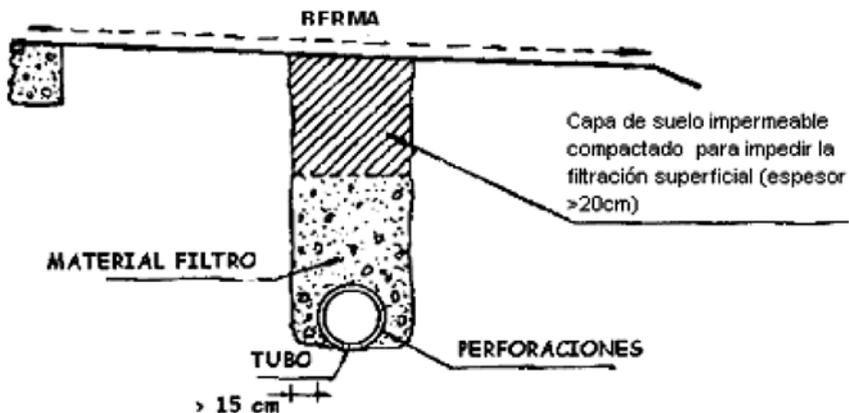
Figura 4.2.1b
DRENAJE SUBTERRÁNEO



4.2.2 Drenes subterráneos

El dren subterráneo estará constituido por una zanja en la que se colocará un tubo con orificios perforados, juntas abiertas, o de material poroso. Se rodeará de un material permeable, material filtro, compactado adecuadamente, y se aislará de las aguas superficiales por una capa impermeable que ocupe y cierre la parte superior de la zanja (figura 4.2.2a).

Figura 4.2.2a
DRENES SUBTERRÁNEOS



Las paredes de la zanja serán verticales o ligeramente inclinadas, salvo en drenes transversales o en espina de pez en que serán admisibles, incluso convenientes, pendientes más fuertes. En casos normales, el talud máximo no superará el valor 1/5. (H/V)

4.2.2.1 La tubería

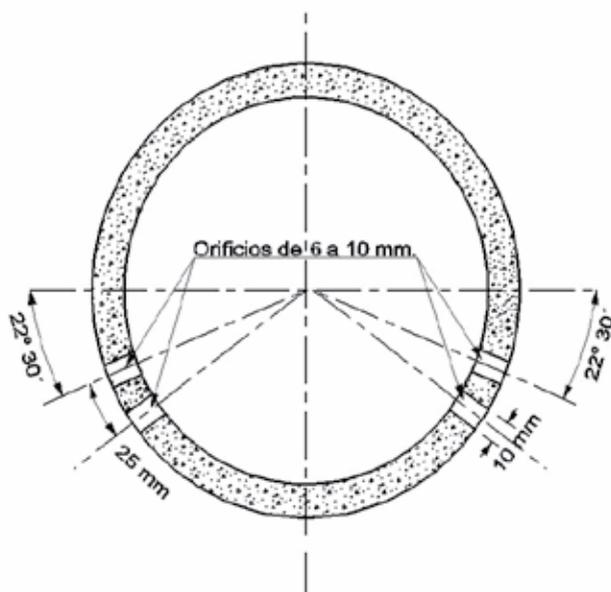
Condiciones generales

Los tubos serán de material de buena calidad. Los tubos de cerámica o concreto, plásticos, aceros corrugados podrán proyectarse con juntas abiertas o perforaciones que permitan la entrada de agua en su interior. Los de plástico, de material corrugado, o de fibras bituminosas deberán ir provistos de ranuras u orificios para el mismo fin que el señalado anteriormente. Los de concreto poroso, permitirán la entrada del agua a través de sus paredes.

En las tuberías con juntas abiertas, el ancho oscilará entre 1 cm. y 2 cm. Los orificios de las tuberías perforadas se dispondrán, preferentemente, en la mitad inferior de la superficie del tubo y tendrán un diámetro entre 6 mm y 10 mm.

En la figura 4.2.2.1, se indica la disposición que deben satisfacer los orificios de tuberías perforadas en la mitad inferior de la superficie del tubo.

Figura 4.2.2.1



Los tubos de concreto poroso tendrán una superficie de absorción mínima del 20 % de la superficie total del tubo y una capacidad de absorción mínima de 50 litros/ minuto por decímetro cuadrado de superficie, bajo una carga hidrostática de 1 Kg./cm².

Condiciones mecánicas

Los tubos cerámicos o de concreto, plásticos, aceros corrugados tendrán una resistencia mínima, medida en el ensayo de los tres puntos de carga, de 1000 Kg./m.

Cuando los tubos hayan de instalarse en la vertical de las cargas del tráfico, se situarán, como mínimo, a las profundidades que se señalan en el cuadro 4.2.2.a.

Cuadro 4.2.2.a: Profundidad de instalación

Tipo de tubo	Profundidad mínima	
	$\phi = 15 \text{ cm.}$	$\phi = 30 \text{ cm.}$
Cerámica	50	90
Plástico	50	75
Concreto	50	75
Concreto armado		60
Acero corrugado: Espesor 1.37 mm Espesor 1.58 mm	30	30

ϕ = diámetro nominal del tubo

Condiciones hidráulicas

Normalmente, la capacidad hidráulica del dren queda limitada por la posibilidad de filtración lateral del agua a través del material permeable hacia los tubos; la capacidad hidráulica de estos, con los diámetros que se indican más adelante, normalmente resulta superior a la necesaria para las exigencias del drenaje.

No obstante, si existe la posibilidad de conocer el caudal de desagüe, puede hacerse el cálculo hidráulico correspondiente utilizando las formulas de Darcy y Manning para el dimensionamiento del diámetro de la tubería. La formula de Darcy es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 Q &= A v \\
 v &= K i \\
 i &= \Delta\Phi/\Delta L
 \end{aligned}$$

Donde:

- Q = Caudal (m³/seg)
A = Sección transversal al flujo (m²)
v = Velocidad de flujo (m/seg)
K = Conductividad hidráulica del medio poroso (m/seg)
i = Gradiente hidráulico
 $\Delta\Phi$ = Pérdida de carga o potencial (m)
 ΔL = Longitud o tramo (m)

Se utilizará la tabla de coeficientes de rugosidad que se incluye a continuación en el cuadro 4.2.2.b.

Cuadro 4.2.2.b

Tipo de tubo	Coefficiente n de rugosidad
De concreto normal y cerámica	
Condiciones buenas	0.013
Condiciones medias	0.015
De concreto poroso	
Condiciones buenas	0.017
Condiciones medias	0.021
De plástico	
Condiciones buenas	0.013
Condiciones medias	0.015
De metal	
Condiciones buenas	0.017
Condiciones medias	0.021

Diámetros y pendientes

Los diámetros de los tubos oscilarán entre 10 cm. y 30 cm. Los diámetros hasta 20 cm. serán suficientes para longitudes inferiores a 120 m. Para longitudes mayores, se aumentará la sección. Los diámetros menores, sin bajar de 10 cm., se utilizarán con caudales y pendientes pequeños.

Las pendientes longitudinales no deben ser inferiores al 0.5% y habrá de justificarse debidamente la necesidad de pendientes menores, que nunca serán inferiores al 0.2%.

En tales casos, la tubería se asentará sobre un solado de concreto que permita asegurar la perfecta situación del tubo.

La velocidad del agua en las conducciones de drenaje estará comprendida entre 0.20 m/s y 1.20 m/s.

4.2.3 Relleno de zanjas

Cuando el fondo de la zanja se encuentre en terreno impermeable, para evitar la acumulación de agua bajo la tubería se preverá la colocación de una capa de material, perfectamente apisonado, y que puede ser del mismo terreno, alrededor del tubo, sin que alcance el nivel de las perforaciones, o se asentará sobre un solado. En caso de tuberías con juntas abiertas, estas pueden cerrarse en su tercio inferior y dar a la capa impermeable el espesor correspondiente.

Si el fondo de la zanja se encuentra en terreno permeable, no son necesarias las anteriores precauciones.

La composición granulométrica del material permeable, material filtro, con el que se rellene, la zanja del dren requiere una atención especial, pues de ella depende su buen funcionamiento.

Si d_n es el diámetro del elemento de suelo o filtro tal que n % de sus elementos en peso son menores que d_n deben cumplirse las siguientes condiciones:

- a) Para impedir el movimiento de las partículas del suelo hacia el material filtrante.
 - d_{15} del filtro / d_{85} del suelo < 5
 - d_{50} del filtro / d_{50} del suelo < 25

En el caso de terreno natural de granulometría uniforme, se sustituirá la primera relación por:

$$d_{15} \text{ del filtro} / d_{85} \text{ del suelo} < 4$$

- b) Para que el agua alcance fácilmente el dren: d_{15} del filtro / d_{15} del suelo > 5
- c) Para evitar el peligro de colmatación de los tubos por el material filtro.
 - En los tubos con perforaciones circulares:
 d_{85} del filtro / diámetro del orificio del tubo > 1.0

- En los tubos con juntas abiertas:

$$d_{85} \text{ del material filtro / ancho de la junta} > 1.2$$

- En los tubos de concreto poroso, se debe respetar la siguiente condición:

$$d_{85} \text{ del árido del dren poroso / } d_{85} \text{ del filtro} < 5$$

En caso de terrenos cohesivos, el límite superior para d_{15} del filtro se establecerá en 0.1 mm. Cuando sea preciso, deberán utilizarse en el proyecto dos o más materiales de filtros. Ordenados estos desde el terreno natural a la tubería, deben satisfacer, cada uno con respecto al contiguo, las condiciones exigidas anteriormente entre el material filtro y el suelo a drenar. El último, que será el que rodea el tubo, deberá satisfacer, además, las condiciones que se han indicado en relación con el ancho de las juntas o diámetro de los orificios de dichos tubos.

Para impedir cambios en la composición granulométrica o segregaciones del material filtro por movimiento de sus finos, debe utilizarse material de coeficiente de uniformidad (d_{60}/d_{10}) inferior a 20, cuidadosamente compactado.

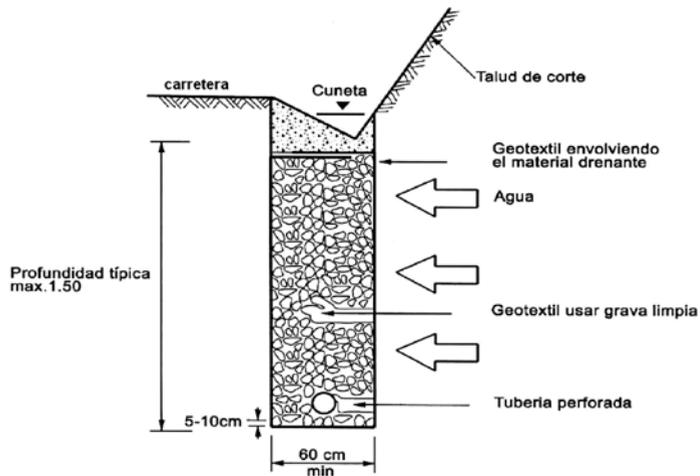
El dren subterráneo se proyectará cumpliendo las disposiciones que se detallan en la figura 4.2.3a y 4.2.3b, según se encuentre en terreno permeable o impermeable y sean necesarios uno o dos materiales filtro.

Como alternativa del procedimiento anterior, se podrá rellenar la zanja con material granular (grava) envuelto con tela sintética (geotextil) cuyo diseño deberá circunscribirse a lo establecido en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000), recomendándose este tratamiento para el diseño de subdrenes en suelos granulares.

Figura 4.2.3a: Drenaje subterráneo



Figura 4.2.3b: Subdren de aguas subterráneas con geotextil
(Recomendado para drenar suelos de naturaleza granular)



4.2.4 Cajas de registro y buzones

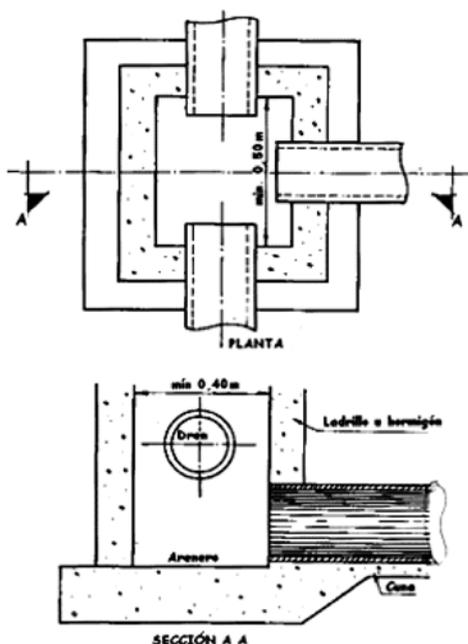
En los drenes longitudinales, se proyectarán, a intervalos regulares, cajas de registro o buzones de registro que permitan controlar el buen funcionamiento del drenaje y sirvan para evacuar el agua recogida por la tubería del dren, bien a un colector principal, bien a una cuneta situada, por ejemplo, al pie de un terraplén, a una vaquada natural o a otros dispositivos de desagüe.

Con independencia de lo anterior, deberán colocarse cajas de registro o buzones en todos los cambios de alineación de la tubería de drenaje.

La distancia entre dos cajas o buzones consecutivos oscilará en general entre 80 m y 100 m y dependerá de la pendiente longitudinal del tubo y de su capacidad de desagüe, de la disposición general del drenaje y de los elementos naturales existentes.

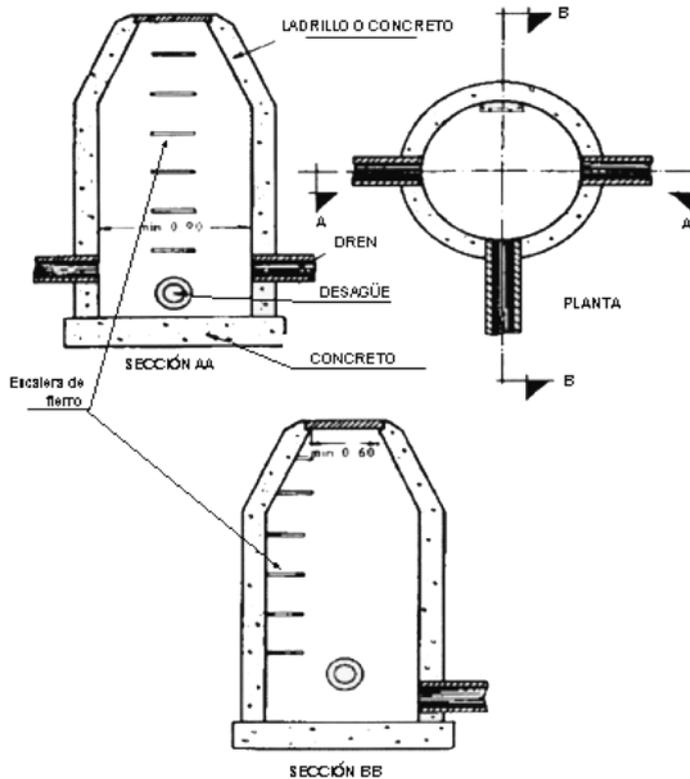
Las figuras 4.2.4a y 4.2.4b son esquemas de cajas y buzones de registro que pueden servir de orientación para el proyecto.

Figura 4.2.4a: Cajas de registro



En el caso de salida libre de la tubería de desagüe de la caja de registro o el buzón a una cuneta, etc. se cuidará que el nivel de la salida quede lo suficientemente alto y con las protecciones necesarias para impedir su aterramiento, inundación, entrada de animales, etc.

Figura 4.2.4b: Buzón de registro



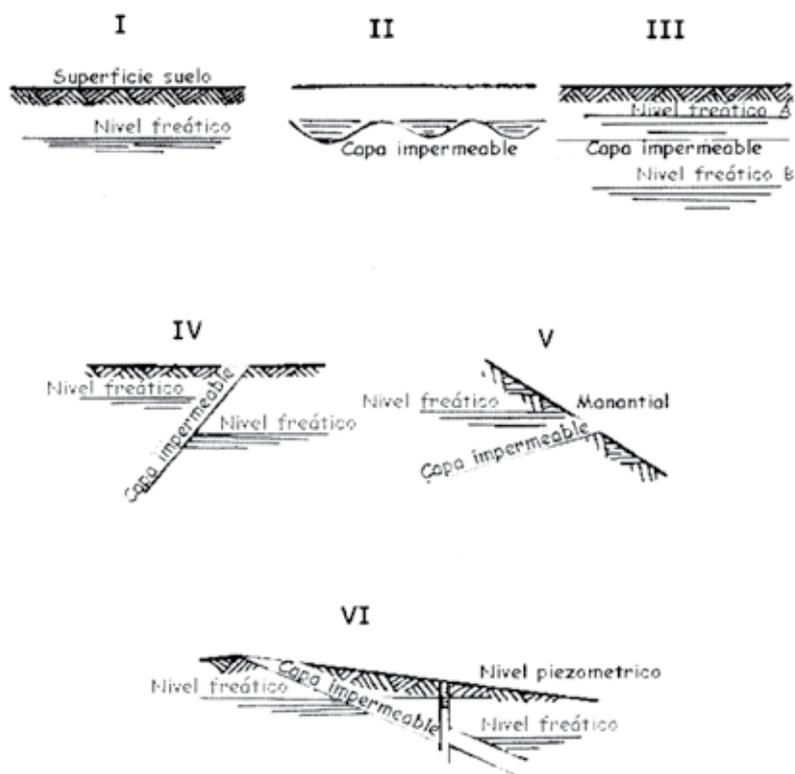
4.2.5 Investigación del agua freática

La presencia de un nivel freático elevado exigirá una investigación cuidadosa de sus causas y naturaleza. Deberán practicarse los pozos y/o exploraciones que se consideren precisos para fijar la posición del nivel freático y, si es posible, la naturaleza, origen y movimientos del agua subterránea.

El reconocimiento se debe efectuar preferentemente al final del período de lluvias del año en la zona en la que, en condiciones normales, alcanzará su máxima altura.

Los casos que pueden presentarse en la práctica y su tratamiento adecuado son innumerables. Algunos de ellos se señalan en la figura 4.2.5

Figura 4.2.5: Agua freática



4.2.6 Drenes de intercepción

4.2.6.1 Objeto y clasificación

Se proyectarán drenes de intersección para cortar corrientes subterráneas e impedir que alcancen las inmediaciones de la carretera.

Se clasifican, por su posición, en longitudinales y transversales.

4.2.6.2 Drenes longitudinales

El dren de intersección deberá proyectarse cumpliendo las condiciones generales expuestas anteriormente para los drenes enterrados.

El fondo del tubo debe quedar, por lo menos, 15 cm. por debajo del plano superior de la capa impermeable o relativamente impermeable, que sirve de lecho a la corriente subterránea. En el caso de que esta capa sea roca, deben extremarse las precauciones para evitar que parte de la filtración cruce el dren por debajo de la tubería.

El caudal a desaguar puede determinarse aforando la corriente subterránea. Para ello, se agotará el agua que afluya a la zanja en que se situará el dren en una longitud y tiempo determinados.

Para interceptar filtraciones laterales que procedan de uno de los lados de la carretera, se dispondrá un solo dren longitudinal en el lado de la filtración. Sin embargo, en el fondo de un valle o quebrada, donde el agua pueda proceder de ambos lados, deberán disponerse dos drenes de intersección, uno a cada lado de la carretera. Las figuras 4.2.6.2a y 4.2.6.2b son ejemplo de drenes longitudinales en carreteras a media ladera y en trinchera, respectivamente.

4.2.6.3 Drenes transversales

En carreteras en pendiente, los drenes longitudinales pueden no ser suficientes para interceptar todo el agua de filtración.

En estos casos, deberá instalarse drenes interceptores transversales normales al eje de la carretera o un drenaje en espina de pez.

La distancia entre drenes interceptores transversales será, por término medio, de 20 m a 25 m. El drenaje en espina de pez se proyectará de acuerdo con las siguientes condiciones (figura 4.2.6.3a).

- a) El eje de las espinas formará con el eje de la carretera un ángulo de 60°.
- b) Las espinas estarán constituidas por una zanja situada bajo el nivel del plano superior de la explanada.
- c) Sus paredes serán inclinadas, con talud aproximado de 1/2, para repartir, al máximo, el posible asiento diferencial.
- d) Las zanjas se rellenarán de material filtro.
- e) Las espinas llevarán una cuna de concreto de baja resistencia o arcilla unida al solado del dren longitudinal.
- f) Las espinas consecutivas se situarán a distancias variables que dependerán de la naturaleza del suelo que compone la explanada. Dichas distancias estarán comprendidas entre 6 m, para suelos muy arcillosos, y 28 m para suelos arenosos.

Con independencia de la pendiente longitudinal de la carretera, se recomienda utilizar drenes en espina de pez al pasar de corte cerrado (trinchera) a terraplén, como protección de éste contra las aguas infiltradas procedentes de la trinchera (corte cerrado) (figura 4.2.6.3b).

Figura 4.2.6.3b: Drenes de intercepción transversales

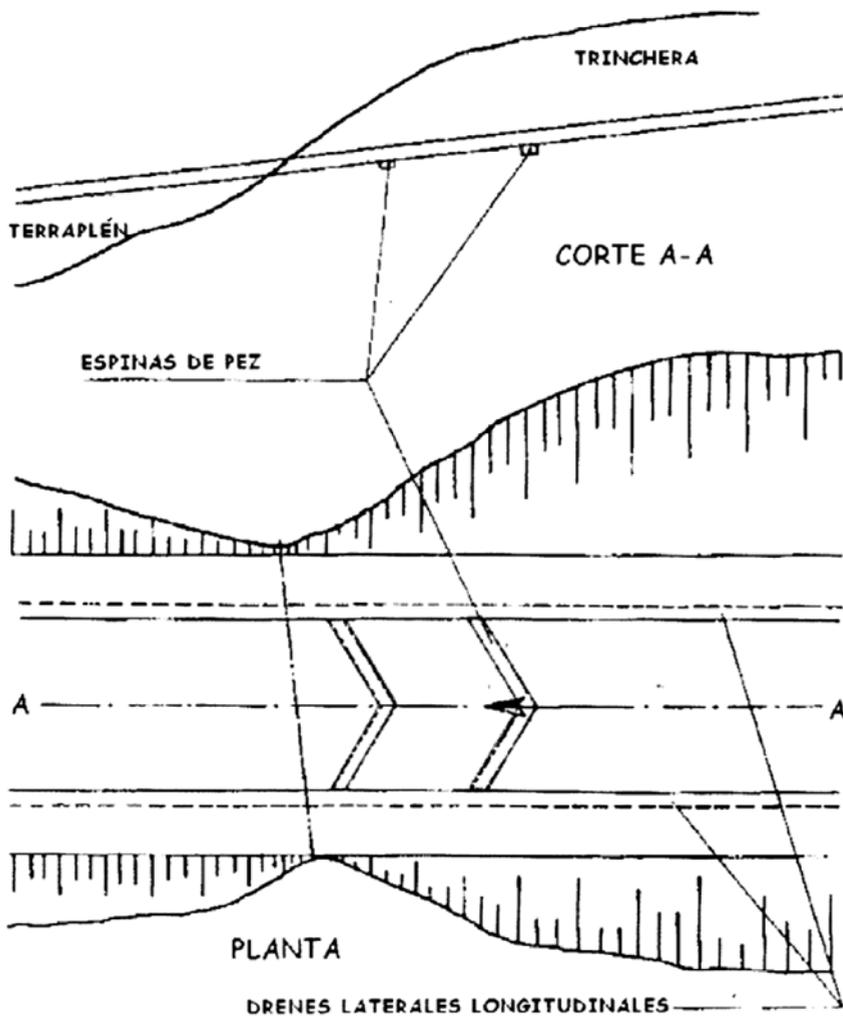


Figura 4.2.6.2b: Drenes de intercepción longitudinales

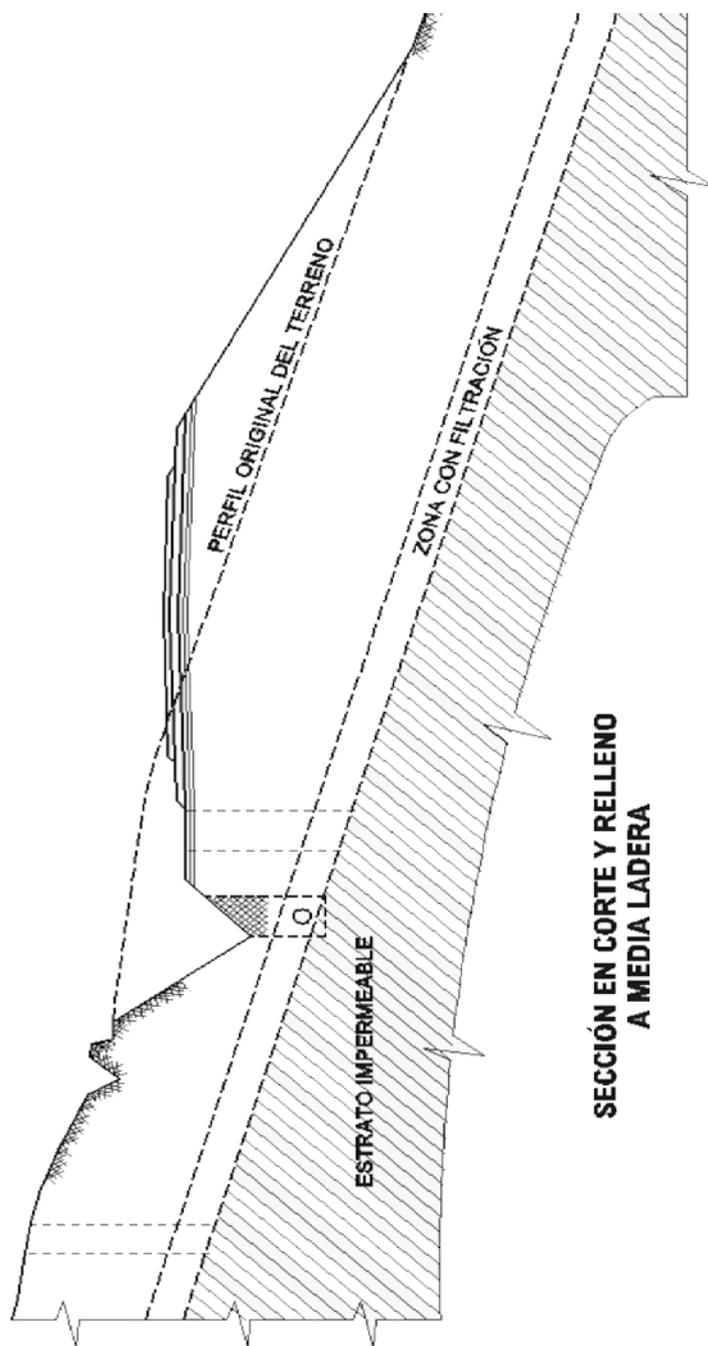
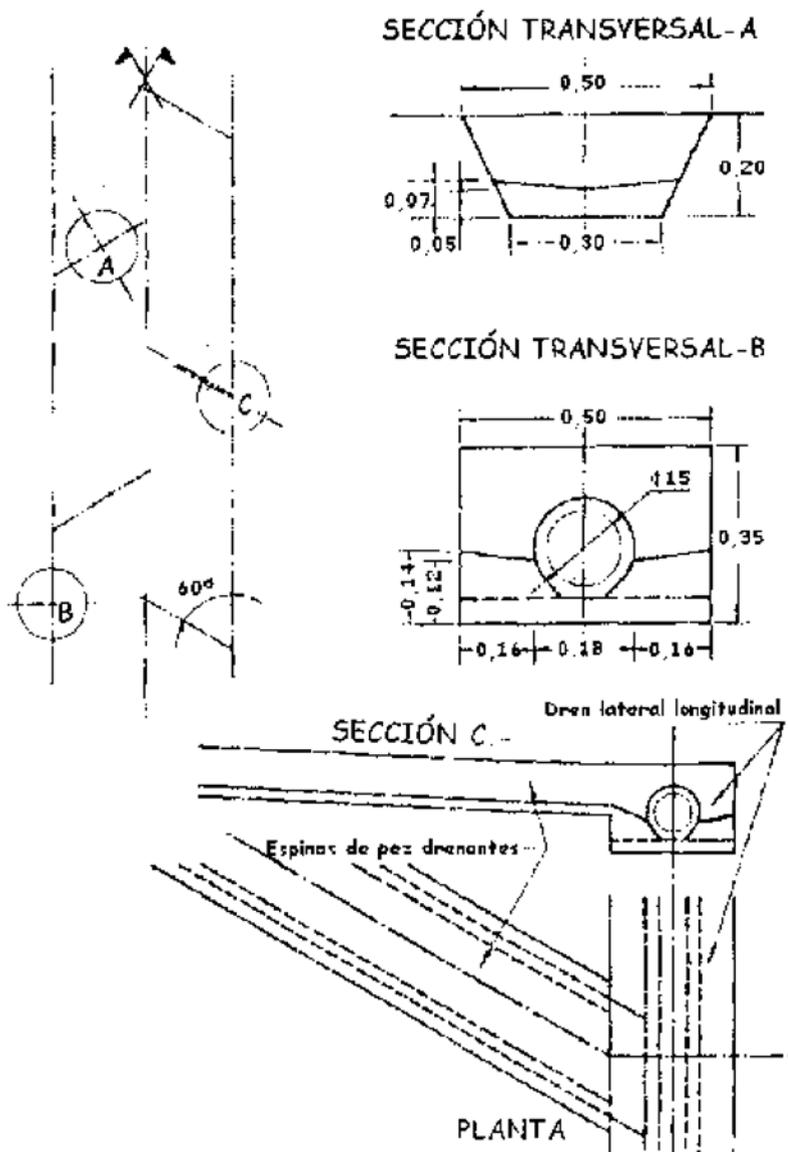


Figura 4.2.6.3a: Drenes de intercepción transversales



ACOTACIONES EN METROS

4.2.7 Drenaje del pavimento

Salvo en el caso de carreteras en terrenos permeables, el drenaje de la capa permeable constituida por la sub-base y/o base, puede proyectarse tanto mediante drenes enterrados como prolongando la capa permeable hasta los taludes de los terraplenes a cunetas. Además, deben darse pendientes transversales mínimas a la subrasante.

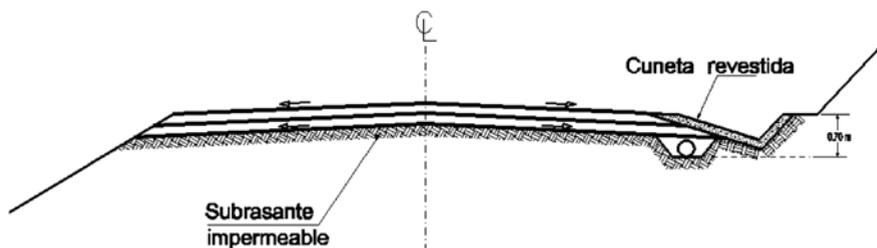
En los sectores de la carretera en los que el pavimento se asienta sobre una subrasante impermeable, debe evitarse que el agua de lluvia que se presenta por capilaridad o se filtra a través del pavimento, se acumule bajo éste y forme una bolsa de agua que origine su ruptura por el paso del tránsito.

Este problema es mayor cuando la cuneta se coloca a la altura del pavimento y naturalmente tiene que ser revestida.

Las soluciones mas recomendadas para evitar la acumulación del agua son:

- a) Colocación en el sector, bajo el pavimento, una capa drenante que siga la pendiente lateral de la carretera, que se prolonga hasta un lugar con drenaje natural.
- b) Colocación de un subdren, bajo la berma adyacente a la cuneta, con una tubería perforada de plástico pesada de 10 cm. de diámetro, aproximadamente a 0.70m de la superficie del asfaltado, que recoja el agua que filtra y la lleve al lugar de drenaje natural. Ver figura 4.2.7

Figura 4.2.7
Drenaje del pavimento



4.2.8 Casos especiales

4.2.8.1 Protección del suelo de la explanación contra el agua libre en terreno de elevado nivel freático, llano y sin desagüe.

Cuando haya que construir una carretera en terreno llano y con elevado nivel freático, se estudiará el abatimiento de la napa freática, pudiéndose utilizar alternativamente métodos como zanjas laterales, drenes enterrados, etc. Si no existiera posibilidad de evacuar el sistema de drenaje, se elevará el nivel de la rasante.

Para la elección del material del terraplén, se tendrá en cuenta que su humedad de equilibrio debe disminuir rápidamente con la distancia al nivel freático y que el terraplén se construirá sobre un terreno saturado de agua, sin capacidad para resistir esfuerzos de compactación elevados.

La necesidad de proteger el terraplén mediante la colocación de membranas bituminosas u hojas de plástico, tratando su superficie con sustancias hidrófobas, o utilizando geotextiles, geomembranas o adoptando disposiciones análogas a la indicada en las figuras 4.2.8.1a y 4.2.8.1b, dependerá de la naturaleza y estado del terreno y del material disponible para la construcción del terraplén.

4.2.8.2 Protección del suelo de explanación situado bajo la calzada contra los movimientos capilares del agua.

Las diferencias de humedad en el suelo bajo la calzada y bajo las bermas facilitan los movimientos capilares y, al aumentar el contenido de humedad del suelo de la subrasante bajo la calzada, disminuyen su capacidad resistente.

Para evitar esta disminución, las fisuraciones del suelo y los asentamientos diferenciales que con dicho aumento de humedad pueden producirse, deben utilizarse alguna de las siguientes técnicas:

- Colocación de capas drenantes sobre la subrasante para romper el ascenso capilar.
- Impermeabilizar las calzadas y las bermas.
- Establecer una membrana impermeable que impida el movimiento del agua capilar, situándola en un plano más o menos vertical bajo los bordes de la calzada.
- Construir zanjas anticapilares bajo los bordes de la calzada.

Tanto la membrana impermeable como las zanjas anticapilares deberán ejecutarse hasta una profundidad de 1,20 m. baja la superficie de las bermas. Pueden utilizarse como zanjas anticapilares las que se proyecten para el drenaje del pavimento, cuidando de que el material filtro rompa la continuidad en fase líquida entre el agua situada a un lado y otro de la misma.

4.2.8.3 Capa drenante

Cuando se eleva el terraplén de la carretera sobre un terreno saturado con agua para evitar que por capilaridad el agua pueda subir a través del terraplén hasta la superficie de rodadura, debe colocarse una capa de material drenante, constituida por gravas y/o arenas.

La capa deberá estar sobre el nivel de referencia más alto de la napa freática del terreno y servirá de anticontaminante a los efectos de romper la capilaridad y drenar la plataforma lateralmente. Se recomienda un espesor mínimo de 0.30 m.



Figura 4.2.8.1a: Protección del terraplén

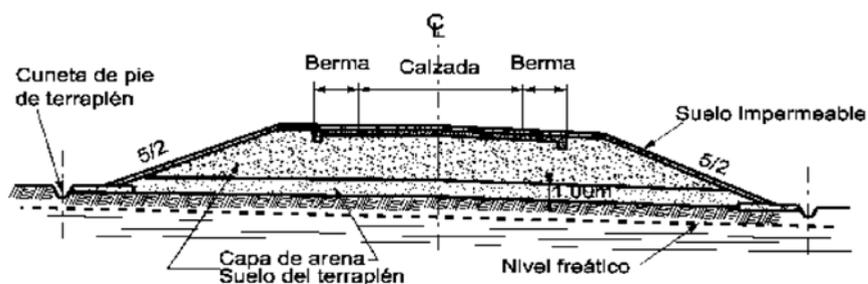
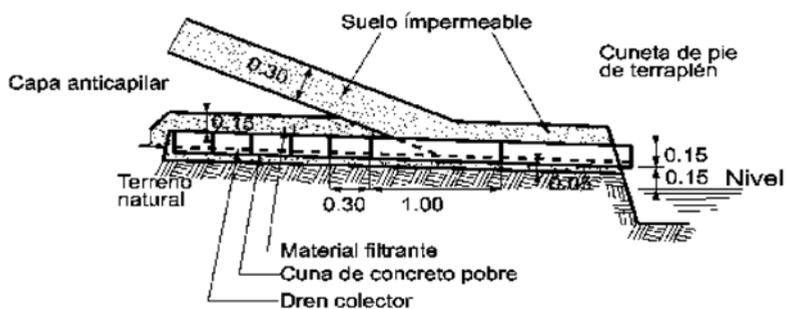
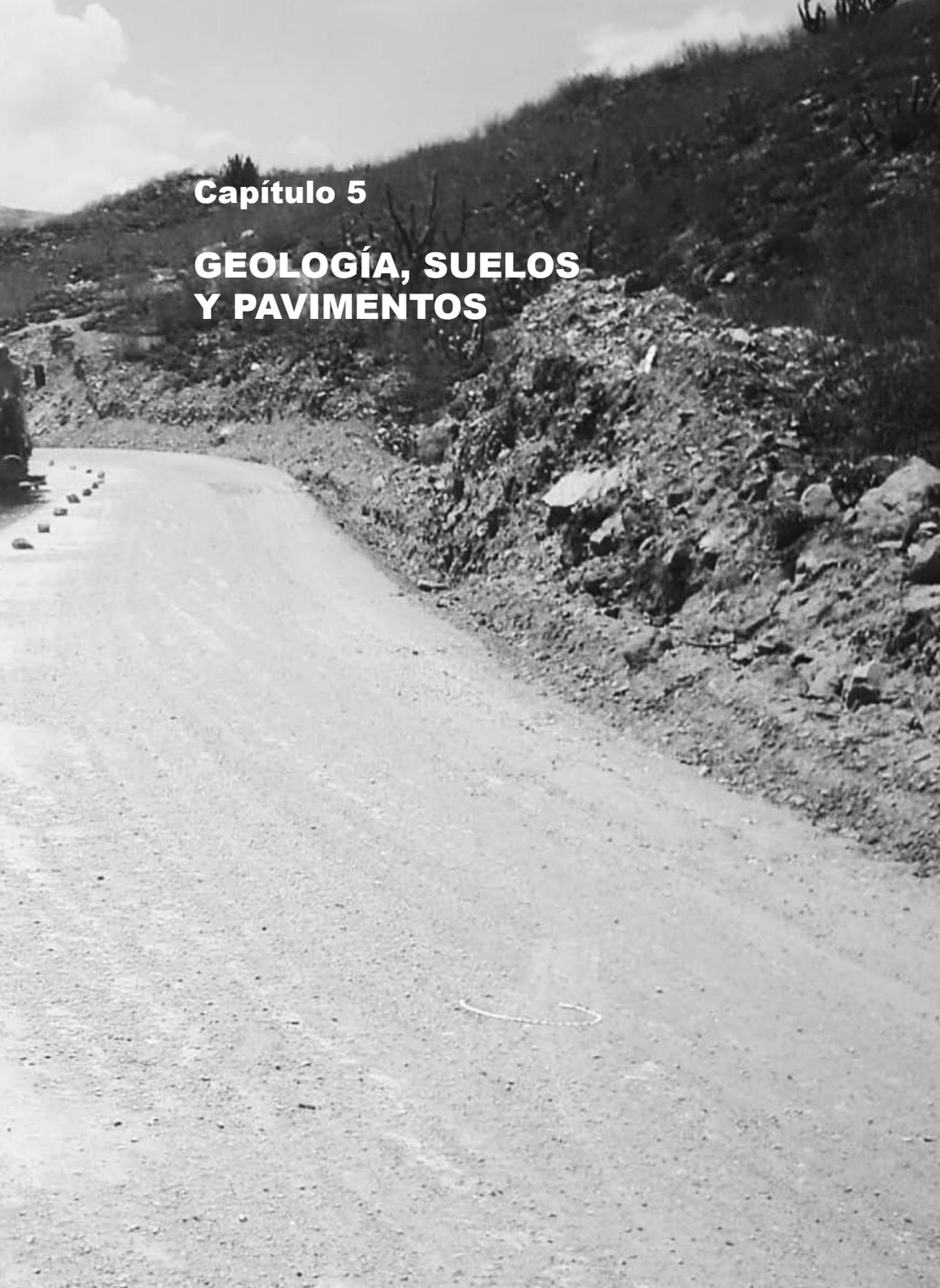


Figura 4.2.8.1b: Protección del terraplén



COTAS EN METROS





Capítulo 5

**GEOLOGÍA, SUELOS
Y PAVIMENTOS**

GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS

5.1 Geología

Las carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, se estructuran como carreteras de bajo costo. Consecuentemente, tienen alineamientos de diseño que evitan excesivos movimientos de tierra; considerando estructuras y obras de arte, por lo general diseñadas para periodos de vida útil, de corto, mediano y largo plazo.

Con estos requerimientos básicos, los estudios de geología incluirán un diagnóstico que comprenda consultas a los pobladores, a la autoridad vial competente y a su personal técnico. Asimismo un reconocimiento e inspección de campo siguiendo el trazo probable del eje de la carretera, para detectar o certificar la presencia o total ausencia de problemas geológicos activos en la ruta y/o en el tramo vial materia de estudio, que pudieran en algún caso afectar las características del proyecto tales como problemas de inestabilidad de taludes, fallas localizadas por las que se filtra el agua de lluvias hacia el subsuelo, presencia de afloramientos de aguas subterráneas, erosiones por acción de los ríos, inclinación de los árboles en las laderas, zonas de caídas de rocas sobre la carretera existente, el sentido de las formaciones rocosas que podrían desestabilizarse y otros problemas de naturaleza geodinámica que ocasionen fallas en la plataforma y taludes de la carretera.

El estudio determinará las características geológicas del terreno a lo largo del trazo definitivo y de las fuentes de materiales (canteras), definiendo las unidades estratigráficas considerando las características geológicas tanto de rocas como de suelos y el grado de sensibilidad o la pérdida de estabilidad en relación a la obra a construir.

Asimismo, se determinará la geomorfología regional y área definiendo los aspectos principales de interés geotécnico:

- a) Topografía (plana, ondulada, montañosa).
- b) Unidades geomorfológicas areales y locales (terracea fluvial, conoide aluvional, terracea marina, duna, pantano, quebradas, taludes, ladera).
- c) Materiales componentes del talud de corte (Clasificación de materiales).
- d) Materiales constituyentes del suelo (grava, arena, arcilla...) diferenciándolos entre transportados y no transportados.

e) Litología dominante de materiales transportados.

El estudio geológico debe ser de extensión y alcance local y será desarrollada fundamentalmente sobre la base del reconocimiento de campo y complementada con documentos de consulta, como información técnica general publicada por el INGETET a nivel regional, mapas geológicos, topográficos o de restitución fotogramétrica.

5.2 Estabilidad de taludes

Sobre la base de un recorrido minucioso de la carretera, el proyectista realizará una evaluación general de la estabilidad de los taludes existentes e identificará los taludes críticos o susceptibles de inestabilidad. Asimismo definirá la inclinación de los taludes expresada como la relación H : V, siendo H la distancia horizontal y V la altura vertical del talud. Para el efecto, se determinarán en lo posible, los parámetros obtenidos de ensayos y cálculos o se tomará en cuenta la experiencia del comportamiento de los taludes de corte in situ y/o ejecutados en rocas o suelos de naturaleza y características geológicas, geotécnicas similares que se mantienen estables ante condiciones ambientales semejantes

Los taludes de corte dependerán de la naturaleza del terreno y de su estabilidad, pudiendo utilizarse (a modo referencial) las relaciones de corte en talud siguientes, los que son apropiados para los tipos de materiales (rocas y suelos) indicados en el cuadro 5.2.1

Cuadro 5.2.1: Taludes de corte

CLASE DE TERRENO	TALUD (V: H)		
	H < 5	5 < H < 10	H > 10
Roca fija	10 : 1	(*)	(**)
Roca suelta	6 : 1 - 4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados cementados	4 : 1	(*)	(**)
Suelos consolidados compactos	4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados comunes	3 : 1	(*)	(**)
Tierra compacta	2 : 1 - 1 : 1	(*)	(**)
Tierra suelta	1 : 1	(*)	(**)
Arenas sueltas	2 : 1	(*)	(**)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2 hasta 1 : 3	(*)	(**)

(*) Requiere banquetta o análisis de estabilidad

(**) Requiere análisis de estabilidad.

Nota: En algunos casos se presentan taludes de corte de 8 o 10:1, debiendo mantenerse o evaluarse estas posibilidades.

Los taludes de relleno igualmente estarán en función de los materiales empleados, pudiendo utilizarse (a modo de taludes de relleno referenciales) los siguientes que son apropiados para los tipos de material incluidos en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.2.2 : Taludes de relleno

MATERIALES	TALUD (V : H)		
	H < 5	5 < H < 10	H > 10
Enrocado	1 : 1	(*)	(**)
Suelos diversos compactados (mayoría de suelos)	1 : 1.5	(*)	(**)
Arena compactada	1 : 2	(*)	(**)

(*) Requiere banquetta o análisis de estabilidad

(**) Requiere análisis de estabilidad.

Para controlar los sectores con taludes inestables para el caso de este tipo de vías se diseñarán soluciones de bajo costo, para lo cual el proyectista evaluará y definirá soluciones mediante:

I Métodos físicos, como:

- Zanjas de coronación: establecer el tipo y características, si es revestido o no tipo de revestimiento.
- Subdrenaje: definir el tipo de estructura.
- Muros: especificar el tipo de muros, gaviones, etc.

II Métodos de revegetación, empleando:

- Vegetación “natural” económica y estética que generen cobertura al terreno e incrementen la resistencia por la profundidad de las raíces. Es ideal que, para la estabilización de taludes, se seleccione la vegetación, por sus propiedades de crecimiento, resistencia, cobertura densa del terreno y raíces profundas. Preferentemente, se deben usar especies locales nativas que tengan las propiedades antes mencionadas.

III Para sectores críticos o muy críticos, como producto de un estudio geotécnico de estabilidad de taludes de extensión y alcance local, se propondrán medidas físicas y biotécnicas de estabilización de taludes, tales como:

- Drenaje y subdrenaje.
- Capas de vegetación, mantas con semillas (biomantas) y vegetación.

- Estructuras de contención que pueden estar formadas por enrocado suelto (muros secos), gaviones o muros de tierra estabilizada mecánicamente (tierra reforzada o tierra armada).

Las figuras 5.2.1 á 5.2.9 ilustran diversas formas de tratamiento para la estabilización de taludes y protección de la plataforma de la carretera.

Figura 5.2.1: Corte y relleno en la ladera empinada

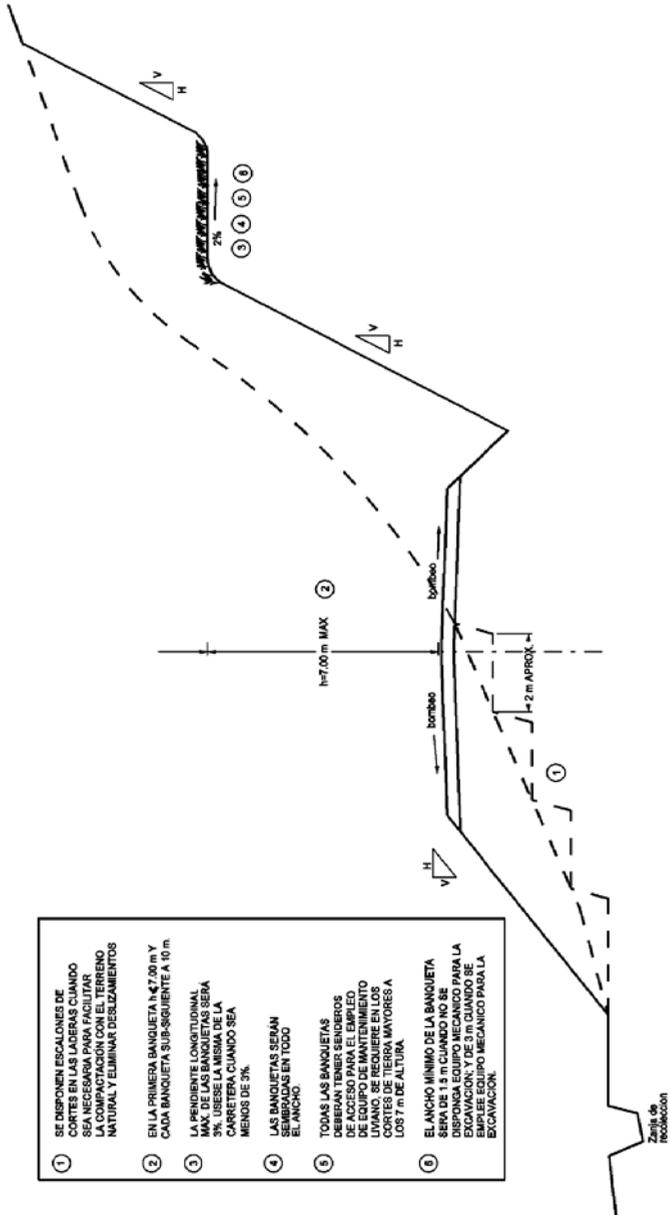


Figura 5.2.2: Opciones de diseño de secciones típicas

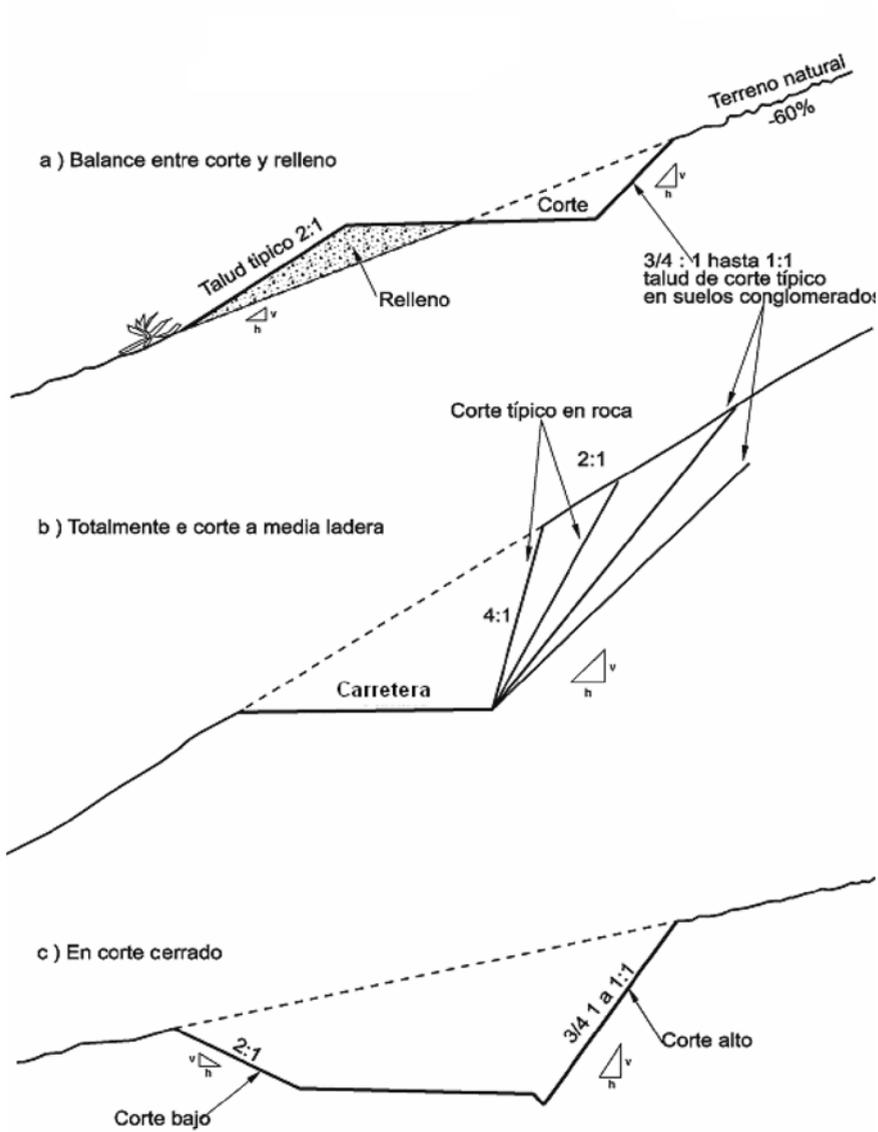


Figura 5.2.3: Sección transversal y taludes típicos

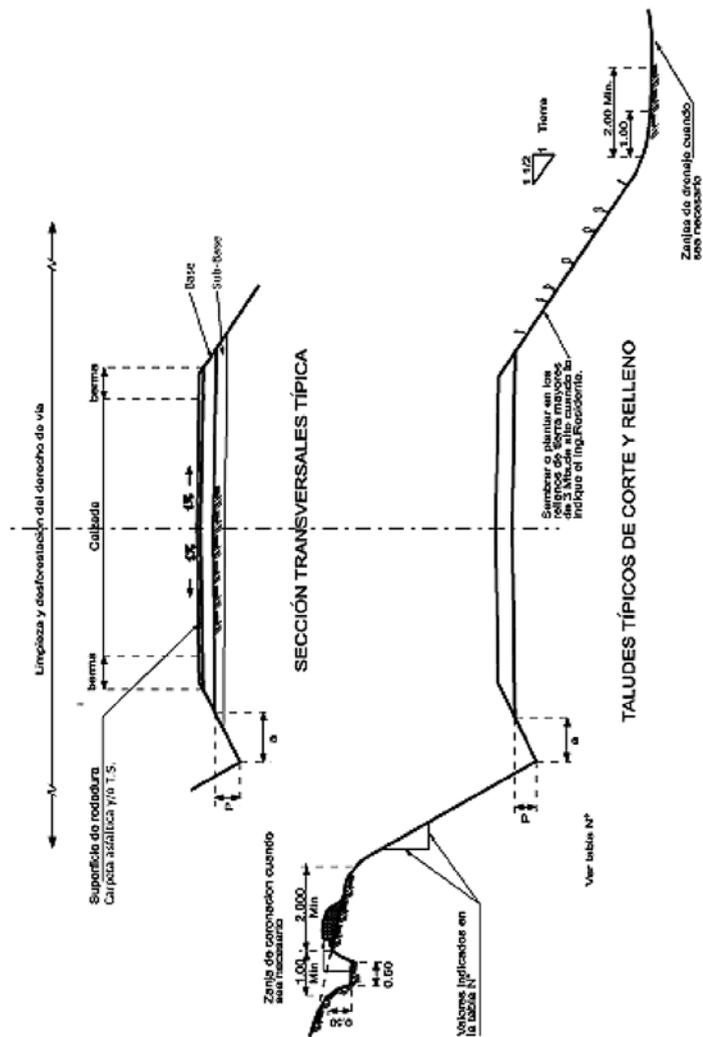


Figura 5.2.4: Canteras de préstamos lateral

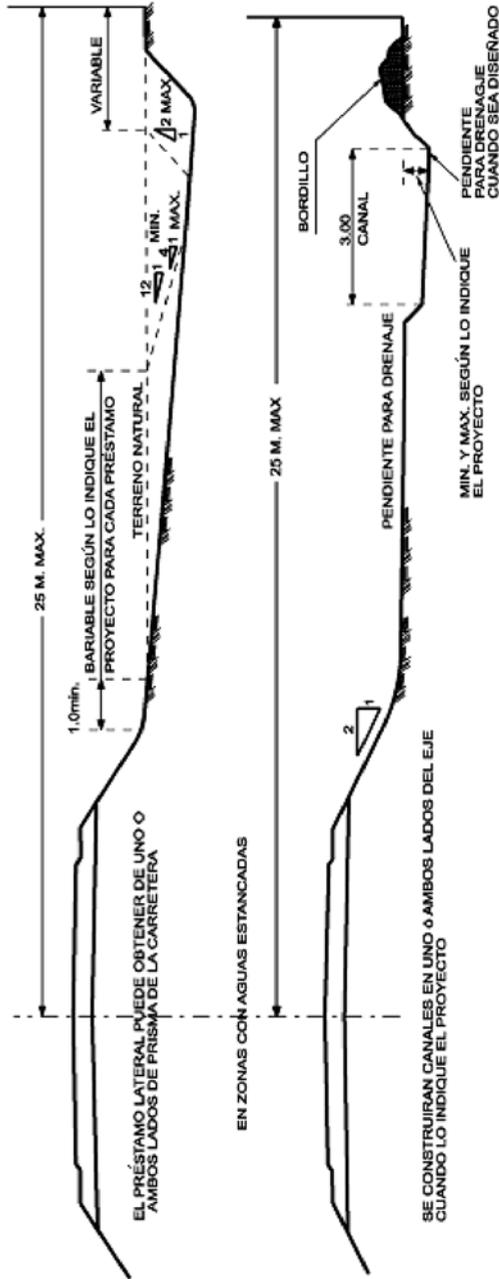
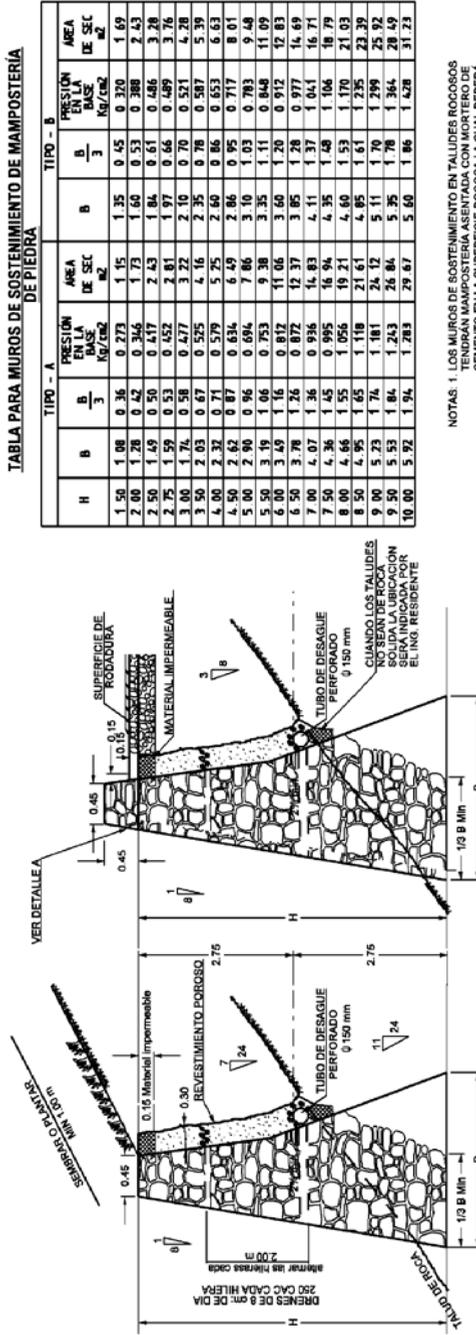


Figura 5.2.5: Muro de sostenimiento de mampostería de piedra



- NOTAS: 1. LOS MUROS DE SOSTENIMIENTO EN TALUDES ROCOSOS TENDRÁN MAMPOSTERÍA ASERRADA CON MORTERO DE CEMENTO EN LA SUPERFICIE RÓCOSA LA CUAL DEBERÁ SER CANCELADA Y LIMPIADA.
2. CUANDO LO INDIQUE EL ING. RESIDENTE SE COLOCARÁ BARRAS DE REFUERZO DE ϕ 1" CON LECHADA DE CEMENTO EN HUECOS DE 6 cm DE DIÁMETRO POR 80 cm DE PROFUNDIDAD.
3. ALTURA MÁXIMA DE DISEÑO = 10.5 m
4. SE USARÁ EL ANCHO DE $\frac{1}{3}$ SOLO CUANDO LAS CONDICIONES DEL SUELO SEAN ÓPTIMAS.

TIPO B: CORONACIÓN DEL MURO A LA ALTURA RASANTE

TIPO A: RELLENO

VER DETALLE A

NOTA: LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EXPRESADAS EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

Figura 5.2.6: Sección típica de terraplén en terreno plano

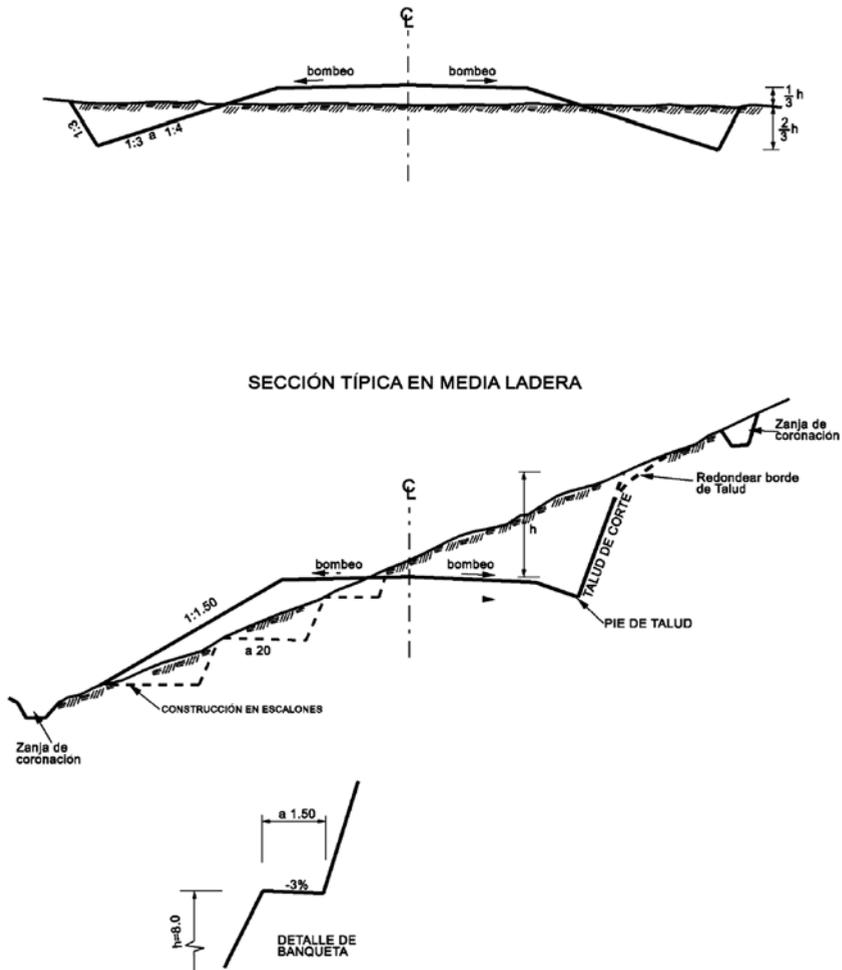


Figura 5.2.7: Muros de sostenimiento de concreto ciclópeo

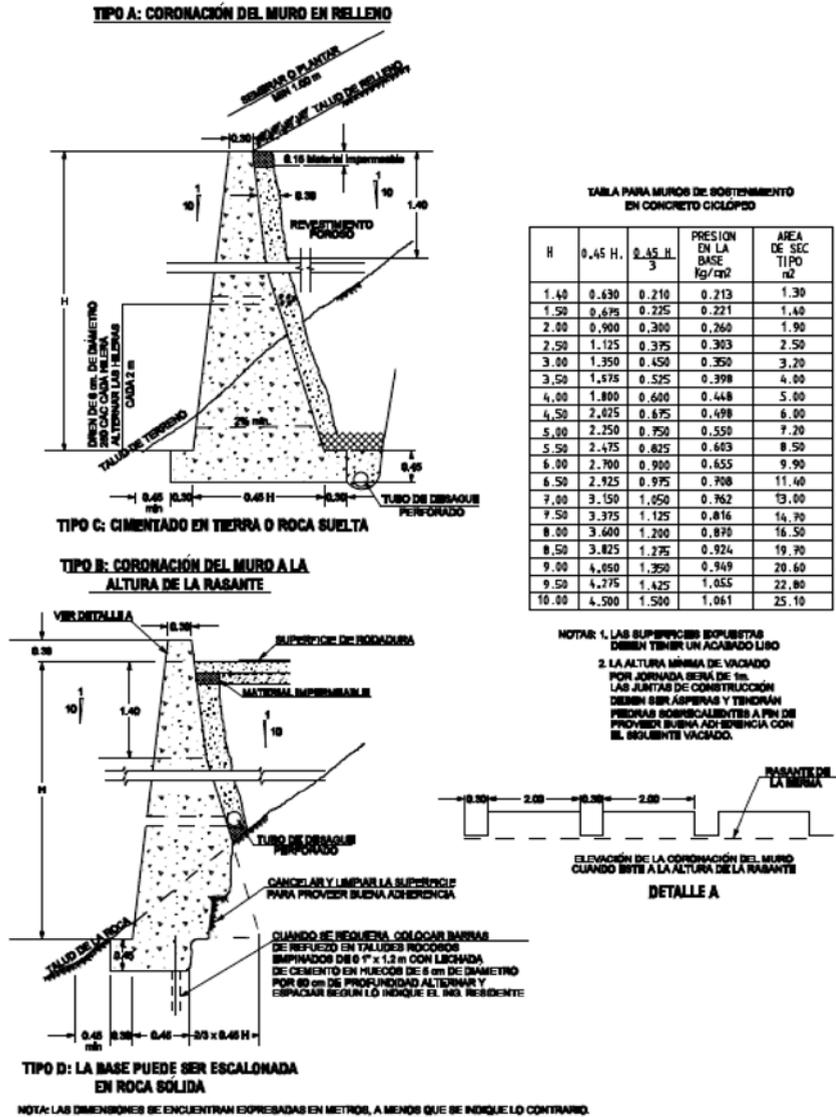
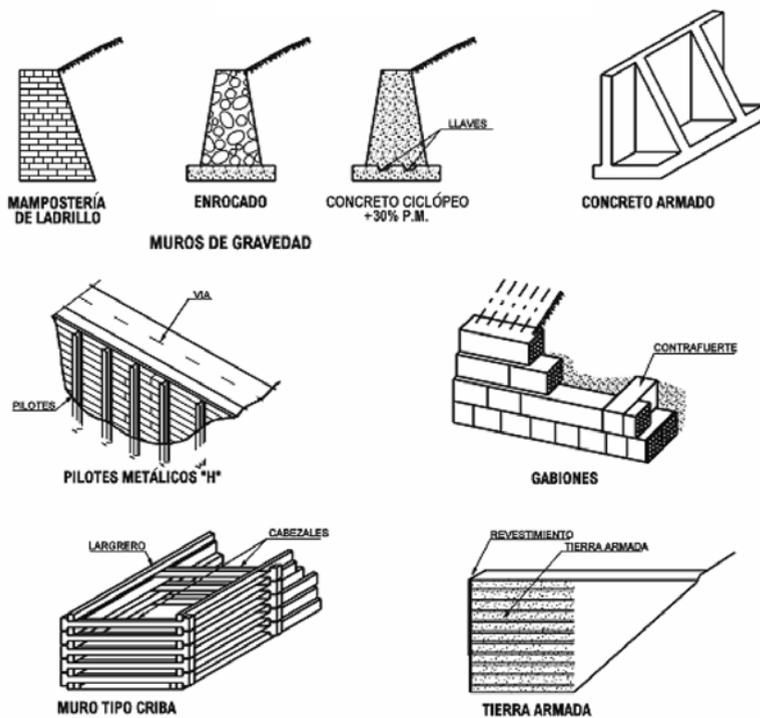
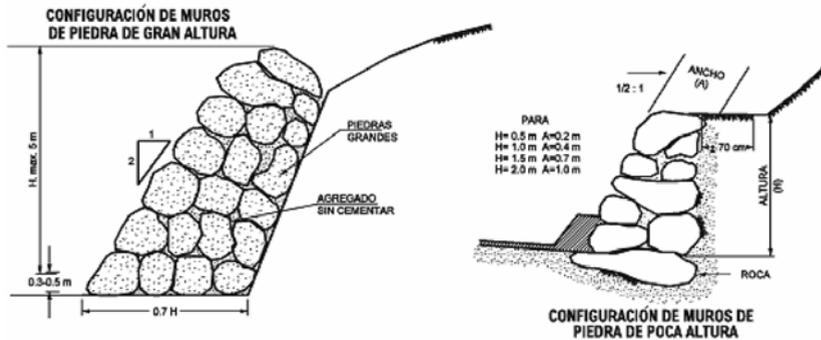


Figura 5.2.8: Tipos de muros de sostenimiento usuales

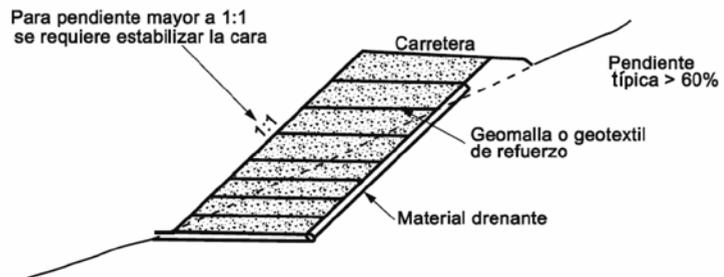


a. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO



b. CONSTRUCCIÓN TÍPICA DE MUROS DE PIEDRA

Figura 5.2.9: Explanación de tierra armada



NOTA:
Se utiliza como una alternativa a los muros de sostenimiento



5.3 Tipos de pavimentos

Por sus capas superiores y superficie de rodadura las carreteras pueden ser clasificados como sigue:

- i) Con superficie de rodadura no pavimentada (No aplicable a este Manual, forma parte del Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito)
- ii) Con superficie de rodadura pavimentada
 - a) Pavimentos flexibles:
 - a.1 Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una superficie bituminosa de espesor variable menor a 25 mm, como son los tratamientos superficiales bicapa y tricapa.
 - a.2 Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una capa bituminosa de espesor variable mayor a 25 mm, como son las carpetas asfálticas en frío y en caliente.
 - b) Pavimentos semi rígidos: conformados con solo capas asfálticas (full depth) o por adoquines de concreto sobre una capa granular, cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberán recurrir a los manuales de diseño correspondiente.
 - c) Pavimentos rígidos: conformado por losa de concreto hidráulico o cemento Pórtland sobre una capa granular; cuando la necesidad lo justifique el uso de estos pavimentos el proyectista deberán recurrir a los manuales AASHTO o similares.

El manual considera principalmente soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante. Para la estabilización química de los suelos se utilizará la norma MTC E 1109-2004 norma técnica de estabilizadores químicos.

5.4 Suelo de fundación

En la medida en que el trazo del proyecto avanza, se irán realizando los estudios de la calidad de la subrasante sobre la que se asentará la pavimentación.

Se denomina suelo de fundación a la capa del suelo bajo la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el para el pavimento. Se trata del terreno natural o la última capa del relleno de la plataforma sobre la que se asienta el pavimento.

La caracterización de los suelos para esta capa de fundación se basará en los siguientes aspectos:

5.4.1 Metodología

La metodología a seguir para la caracterización del suelo de fundación comprenderá básicamente una investigación de campo a lo largo de la vía, mediante la ejecución de pozos exploratorios (calicatas), con obtención de muestras representativas en número y cantidades suficientes para su posterior análisis en ensayos en laboratorio y, finalmente, con los datos obtenidos en ambas fases se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos

A continuación se procede a describir el plan de trabajo a desarrollar en cada etapa:

5.4.1.1 Trabajo de campo

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m de profundidad mínima (respecto del nivel de subrasante del proyecto; con un mínimo de 3 calicatas por kilómetro, ubicadas longitudinalmente a distancias aproximadamente iguales y en forma alternada (izquierda-derecha) dentro de una faja de hasta 5m a ambos lados del eje del trazo, preferentemente al borde de la futura calzada.

Sí a lo largo del avance del estacado las condiciones topográficas o de trazo muestran, por ejemplo, cambios en el perfil de corte a terraplén o la naturaleza de los suelos del terreno evidencia un cambio significativo de sus características o se presentan suelos erráticos, se deben ejecutar más calicatas por kilómetro en puntos singulares

También se determinará la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, napa freática, rellenos sanitarios de basura, etc., en cuyo caso las calicatas deben ser más profundas, delimitando el sector de subrasante inadecuada que requerirá reemplazo del material, mejoramiento o estabilización de subrasante a fin de homogenizar su calidad a lo largo del alineamiento de la carretera. En este caso, los valores representativos resultado de los ensayos será sólo válida para el respectivo sector.

De los estratos encontrados en cada una de las calicatas se obtendrán muestras representativas, las que deben ser descritas e identificadas mediante una tarjeta con la ubicación, número de muestra y profundidad, luego serán colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Asimismo, durante la ejecución de las investigaciones de campo se llevará un registro en el que se anotará el espesor de cada una de las capas del sub-suelo, sus características de gradación y el estado de compacidad de cada uno de los materiales.

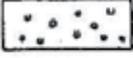
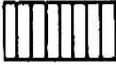
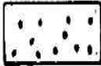
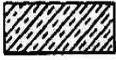
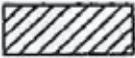
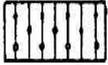
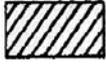
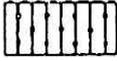
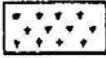
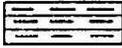
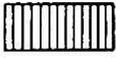
5.4.1.2 Descripción de los suelos

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, las mismas que deben corresponder al siguiente cuadro:



Cuadro: signos convencionales para perfil de calicatas

SUELOS

	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGÁNICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESIN- TEGRADA
	A-4		

5.4.1.3 Trabajo de laboratorio

Todas las muestras representativas obtenidas de los estratos de las calicatas del suelo de fundación deberán contar con los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado.
- Límites de consistencia:
- Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.
- Clasificación SUCS.

- Clasificación AASHTO.
- Humedad Natural.
- Proctor Modificado.*
- C.B.R.*

*Por cada tipo de suelo representativo y como control uno cada 2 km de máximo espaciamiento.

5.4.1.4 Labores de gabinete

En base a la información obtenida durante los trabajos de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio, se efectuara la clasificación de suelos utilizando los sistemas SUCS y AASHTO.

5.4.2 CBR de la subrasante

Serán estudiados para la determinación de la CBR de la subrasante, las capas superficiales de terreno natural o capa de la plataforma en relleno, constituida por los últimos 1.50 m de espesor debajo del nivel de la subrasante proyectada, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente;

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima.

La subrasante correspondiente al fondo de las excavaciones en terreno natural o de la última capa del terraplén, será clasificada en función al CBR representativo para diseño, en una de las cinco categorías siguientes:

Clasificación	CBR_{diseño}
S ₀ : Subrasante muy pobre	< 3%
S ₁ : Subrasante pobre	3% - 5%
S ₂ : Subrasante regular	6 - 10%
S ₃ : Subrasante buena	11 - 19%
S ₄ : Subrasante muy buena	> 20%

5.4.3 Sectores de características homogéneas

Para efectos del diseño de la estructura del pavimento se definirán sectores homogéneos donde, a lo largo de cada uno de ellos, las características del material del suelo de fundación o de la capa de subrasante se identifican como uniforme. Dicha uniformidad se establecerá sobre la base de las características físico-mecánicas de los suelos (Clasificación, plasticidad). El proceso de sectorización requiere de análisis y criterio del proyectista.

Para la identificación de los sectores de características homogéneas, se realizará un programa de prospecciones y ensayos, estableciendo una estrategia para efectuar el programa exploratorio y, a partir de ello, se ordenará la toma de las muestras necesarias de cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación.

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

- a) **Granulometría.**- A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

Tipo de material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm – 2 mm
Arena	Arena gruesa: 2 mm – 0.2 mm
	Arena fina: 0.2 mm – 0.05 mm
Limo	0.05 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

- b) **La plasticidad de un suelo.**- Depende no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg.

A través de este método, se definen los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, llamados límites de Atterberg, son: el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC).

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el índice de plasticidad IP que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso. Por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. Sobre todo esto se puede dar la clasificación siguiente:

Índice de plasticidad	Característica
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos poco arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcilla

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, es el elemento más peligroso de una carretera, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

Equivalente de arena.- Es un ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg, aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar.

El valor de EA es un indicativo de la plasticidad del suelo:

Equivalente de arena	Característica
sí EA > 40	El suelo no es plástico, es de arena
Sí 40 > EA > 20	El suelo es poco plástico y no heladizo
sí EA < 20	El suelo es plástico y arcilloso

- d) **Índice de grupo.**- Es un índice adoptado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la formula:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

- a** = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- b** = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- c** = LL – 40 (LL = Límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.
- d** = IP-10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice igual o mayor a 20, un suelo no utilizable para carreteras .

Índice de grupo	Suelo de subrasante
IG > 9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	pobre
IG está entre 2 a 4	regular
IG está entre 1 – 2	bueno
IG está entre 0 – 1	Muy bueno

- e) **Humedad natural:** Otra característica importante de los suelos es su humedad natural puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten.

La determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo. Sí la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Sí la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado.

- f) **Clasificación de los suelos.-** Determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo y luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado en el cuadro 5.3.1. Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundido, AASHTO y ASTM (SUCS):

Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos ASTM (SUCS)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

- g) **Ensayos CBR.-** Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO para carreteras contempladas en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos y/o correlaciones para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Para calcular el Valor Soporte Relativo del suelo de fundación, se efectuarán ensayos de California Bearing Ratio (CBR) para cada tipo de suelo y de control cada 2 km de espaciamiento como máximo.

Para la obtención del valor CBR diseño, se debe considerar lo siguiente:

- 1) Cuando existan 6 o más valores de CBR por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, determinar el valor de CBR de diseño en base al percentil 75%, valor que es el menor al 75% del total de los valores analizados.
- 2) Cuando existan menos de 6 valores de CBR por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, considerar lo siguiente:
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (más bajo).
- 3) Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a qué categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo.

5.4.4 Otras consideraciones

- 1) En caso la subrasante sea clasificada como pobre ($CBR < 6\%$), se procederá a eliminar el material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor a 10%, en los espesores definidos en el acápite 5.7 Mejoramiento de subrasante.
- 2) En caso de encontrarse suelos saturados o blandos, o napa freática alta (cercana al nivel de subrasante), el proyectista definirá las medidas de estabilización (cambio de material, adición de roca, pedraplen, etc.), especificando material relativamente permeable y diseñando los elementos de drenaje y/o subdrenaje que permitan drenar el agua.
- 3) Para el diseño y los trabajos propiamente de pavimentación deberán tomarse en cuenta las recomendaciones y condiciones del diseño del drenaje, según los criterios establecidos en el capítulo 4 Hidrología y drenaje.
- 4) En zonas sobre los 3,000 msnm se evaluará la acción de las heladas en los suelos, en general la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la napa freática es mayor a 1.50 m, la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60

m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante, con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario.

- 5) Con excepción de los suelos de fundación permeables, debe proyectarse el subdrenaje de la estructura del pavimento, considerando como capa drenante la base granular, o la subbase granular, o ambas, bien mediante subdrenes o prolongando la capa drenante hasta los taludes de los terraplenes o cunetas.

Asimismo, deben darse pendientes transversales mínimas a la subrasante, subbase y base granular.

Los subdrenes que deben proyectarse para interceptar filtraciones o rebajar un nivel freático elevado, pueden también utilizarse para drenar la estructura del pavimento.

Cuando el suelo de fundación o de la capa de subrasante sea arcilloso o limoso y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material filtrante de 10 cm. de espesor, como mínimo.



Cuadro 5.4.1
Clasificación de los suelos – método AASHTO

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08 mm						Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0,08 mm					
	A1		A3	A2			A4	A5	A6	A7		
Grupo	A1-a	A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de:												
2 mm	máx. 50	máx. 50	min. 50	máx. 35	Máx.35	máx. 35	máx. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35
0,5 mm	máx. 30	máx. 25	máx. 10									
0,08 mm	máx. 15											
Límites Atterberg												
límite de liquidez				máx. 40	min. 40	máx. 40	min.40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	min. 40	min. 40
índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	min. 10	min. 10	máx. 10	máx. 10	min. 10	min. 10	min. 10
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos			Suelos arcillosos	
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

5.5 Tránsito (demanda)

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

El tránsito para diseño de pavimentos ha sido clasificado en rangos de número de repeticiones de ejes equivalentes, tal como se indica en el acápite 5.6.1.

El volumen existente en el tramo, IMDA considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Este volumen de demanda tiene una composición de distintos tipos de vehículos, según los diversos tramos viales.

El carril de diseño del pavimento de una carretera de dos carriles, considerará solo el 50% del IMDA.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

- a) Identificación de "sub tramos homogéneos" de la demanda, en la ruta del estudio.
- b) Conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+sábado+domingo), como mínimo, en una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Asimismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuará un censo de carga vehicular durante 2 días consecutivos.
- c) El estudio podrá ser complementado con información, de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo permanente del MTC, cercanas al tramo en estudio, que permita el cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA).
- d) Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

- e) Para el cálculo de los EE, se puede tomar el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones para vehículos pesados, buses y camiones:

Tipo de eje	Eje equivalente (EE _{8,2tn})
Eje simple de ruedas simples	$EE_{S1} = [P / 6.6]^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{S2} = [P / 8.2]^4$
Eje tandem de ruedas dobles	$EE_{TA} = [P / 15.1]^4$
Ejes tridem de ruedas dobles	$EE_{TR} = [P / 22.9]^4$
P = Peso real por eje en toneladas	

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, para computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro del pavimento.

La determinación del EE por tipo de vehículo pesado, camiones y buses, resulta de la suma de EE por tipo de eje, para cada vehículo específico por ejemplo:

FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA LEGAL POR EJE Y VEHICULO								
SIMBOLO	DIAGRAMA	DESCRIPCIÓN	EJE DELANTERO	EJE POSTERIOR				TOTAL
				1er EJE	2º EJE	3er EJE	4º EJE	
C2		Carga (tn)	7	11				18
		F.EE.	1.265	3.238				4.504
C3		Carga (tn)	7	18				25
		F.EE.	1.265	2.019				3.285
2S1		Carga (tn)	7	11	11			29
		F.EE.	1.265	3.238	3.238			7.742
B2		Carga (tn)	7	11				18
		F.EE.	1.265	3.238				4.504
B3		Carga (tn)	7	18				25
		F.EE.	1.265	2.019				3.285

- f) En caso de no contar con información censal de pesos por eje o que la muestra no contemple los vehículos pesados proyectados, se recomienda la siguiente relación de EE por tipo de vehículo pesado, los mismos que corresponden a promedios estadísticos de registros en la Carretera Pana-

mericana Norte, y que a manera referencial pueden utilizarse para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE):

Clase de vehículo	Eje equivalente (EE _{8.2 tn})
Bus (de 2 o 3 ejes)	1.850
Camión ligero (2 ejes)	1.150
Camión mediano (2 ejes)	2.750
Camión pesado (3 ejes)	2.000
Camión articulado (> 3 ejes)	4.350
Auto o vehículo ligero	0.0001

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo. El resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos considerados:

$$\text{Nrep de EE}_{8.2 \text{ tn}} = \sum [\text{EE}_{\text{día-carril}} \times 365 \times ((1+t)^n - 1)] / t$$

EE_{día-carril} = EE x factor direccional x factor carril

EE = N° de vehículos según tipo x factor vehículo x factor de presión de llantas

Donde:

Nrep de EE 8.2t = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn

EE_{día-carril} = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño

365 = Número de días del año

t = Tasa de proyección del tráfico, en centésimas

EE = Ejes equivalentes

Factor direccional = 0.5, corresponde a carreteras de dos direcciones por calzada (recomendable).

Factor carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

Factor de presión

de llantas = En función al censo.

5.6 Catálogo estructural del pavimento

5.6.1 Pavimentos flexibles:

Los pavimentos flexibles están constituidos por una serie de capas denominadas de arriba abajo, superficie de rodadura o capa asfáltica, base granular y sub base granular asentada sobre una subrasante nivelada y compactada mínimo al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

Para el diseño estructural y dimensionamiento del pavimento se aplicarán metodologías de diseño con reconocimiento internacional, una de las cuales será la "AAS-HTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" básicamente en lo referente al CHAPTER 4 LOW-VOLUME ROAD DESIGN (año 1 993).

Para el presente manual el diseño se fundamenta en los siguientes parámetros básicos:

- Demanda del tránsito medida en número de ejes equivalentes para el período de diseño de pavimentos.
- Tipo de subrasante sobre el cual se asienta el pavimento.

Estos parámetros permiten definir la capacidad estructural requerida, en términos del número estructural, del paquete del pavimento.

Finalmente se dan las características de los componentes de la estructura del pavimento, los mismos que corresponden a capas de materiales seleccionados.

Cada una de las capas proporciona una capacidad en base a su aporte estructural que está en función de la calidad del material utilizado.

En este manual la capa superior del pavimento se denomina superficie de rodadura y está referida a capas asfálticas.

En las siguientes páginas se aplica la metodología de cálculo según la guía AAS-HTO hasta obtener el número estructural requerido para cada tipo de demanda del tránsito y tipo de subrasante del suelo.

La ecuación básica de equilibrio en el diseño para estructuras de pavimentos flexibles es la siguiente:

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_R \times S_O + 9.36 \times \text{log}_{10} (SN+1) - 0.20 + \text{log}_{10} [\Delta PSI / (4.2-1.5)] / [0.40 +$$

$$1094 / (SN+1)^{5.19}] + 2.32 \times \log_{10} M_R - 8.07$$

Fuente: AASHTO

Donde:

- W₁₈** : Número total de ejes equivalentes, para el período de diseño
- Z_R** : Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad respecto a la predicción del tráfico. AASHTO recomienda para vías rurales de bajo volumen tránsito un nivel de confiabilidad en el rango de 50% - 80%
- En el presente manual considera:
- Para Tráfico T1: confiabilidad 60% (-0.253)
- Para Tráfico T2: confiabilidad 70% (-0.524)
- Para Tráfico T3: confiabilidad 75% (-0.674)
- Para Tráfico T4: confiabilidad 80% (-0.841)
- S_o** : Desviación estándar combinada en la estimación de los parámetros y del comportamiento del modelo (0.45)
- SN** : Número estructural
- Δ PSI** : Diferencial de Serviciabilidad (Serviciabilidad inicial pi, depende del tipo de superficie de rodadura – Serviciabilidad final pf 1.5)
- M_R** : Módulo de resiliencia de la subrasante

El número estructural de resistencia del pavimento flexible viene dado por la fórmula:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

Donde:

a₁ : Coeficiente estructural de la capa de rodadura

D₁ : Espesor de la capa de rodadura (cm)

a_2 : Coeficiente estructural de la capa de base granular

D_2 : Espesor de la capa de base granular (cm)

m_2 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 2.

a_3 : Coeficiente estructural de la capa de sub base granular

D_3 : Espesor de la capa de sub base granular (cm)

m_3 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 3

El número estructural es un valor abstracto que representa la resistencia total de la estructura de un pavimento para una determinada categoría de subrasante, condición de tráfico e índice de servicio al final de la vida útil.

Sin ser una limitación, a manera de ejemplo en los cuadros 5.6.1 y 5.6.2 se proporcionan diferentes números estructurales (SN), para rangos, de demanda de tránsito en términos de EE y de subrasante, los mismos que han sido calculados en función a la ecuación AASHTO y a los parámetros de diseño fijados.



Cuadro 5.6.1: Números estructurales (SN) requeridos por tipo de tráfico y de subrasante

CLASE DE TRÁFICO	T1	T1	T1	T1	T1
Número de repeticiones de EE	5.0X10 ⁴ -1.5X10 ⁵				
Período de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiability	60%	60%	60%	60%	60%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	2,890	2,510	1,950	1,830	1,680
CLASE DE TRÁFICO	T2	T2	T2	T2	T2
Número de repeticiones de EE	1.5X10 ⁵ -3.0X10 ⁵				
Período de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiability	70%	70%	70%	70%	70%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,330	2,900	2,280	2,140	1,980

CLASE DE TRÁFICO	T3	T3	T3	T3	T3	T3
Número de repeticiones de EE	3.0X10 ⁵ - 6X10 ⁵					
Período de diseño	10 años					
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena	
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%	
Confiabilidad	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad Inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad Final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,750	3,280	2,590	2,450	2,260	
CLASE DE TRÁFICO	T4	T4	T4	T4	T4	T4
Número de repeticiones de EE	6.0X10 ⁵ -1.5X10 ⁶					
Período de diseño	10 años					
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena	
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%	
Confiabilidad	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad Inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	4,120	3,620	2,870	2,720	2,520	

Este cuadro, presenta a manera de ejemplo práctico una clasificación típica muy generalizada en el Perú para carreteras de bajo volumen de tránsito, que se caracteriza por tener un alto porcentaje de vehículos pesados (60%) aproximadamente, para las cuatro clases de demanda volumétrica de tránsito: T1, T2, T3 y T4.

Para este manual se determinaron los siguientes rangos en números de repeticiones de ejes equivalentes:

- T1: 50,000 a 150,000 EE
- T2: 150,000 a 300,000 EE
- T3: 300,000 a 600,000 EE
- T4: 600,000 a 1'000,000 EE

La autoridad competente, a través de sus proyectistas, deberá calcular para cada tramo de diseño de un proyecto, la demanda de EE que tendrá durante el periodo de diseño para definir su estructura de pavimento.



Cuadro 5.6.2: Catálogo de números estructurales (SN) requeridos por tipo de tráfico y de subrasante

TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CLASE DE TRÁFICO					
	T1	2.890	2.510	1.950	1.830
50,000 < Rep.EE \leq 150,000					
T2	3.330	2.900	2.280	2.140	1.980
150,000 < Rep.EE \leq 300,000					
T3	3.750	3.280	2.590	2.450	2.260
30,000 < Rep.EE \leq 600,000					
T4	4.120	3.620	2.870	2.720	2.520
600,000 < Rep.EE \leq 1'000,000					

* Rep. EE= Repeticiones de ejes equivalentes

Para convertir el SN a espesores de capas, se utilizan los coeficientes estructurales que representan los aportes de las distintas capas de la estructura del pavimento.

Según AASHTO, la ecuación SN no tiene una solución única. Modificando las combinaciones de espesores de cada capa, respetando los tipos de superficie de rodadura y espesores mínimos de las capas granulares, puede obtenerse un mismo número estructural al de diseño.

En el caso de las capas granulares, es deseable que la capa superior tenga siempre mayor capacidad estructural que la inferior. Esto es, la base granular tendrá mayor aporte que la sub base y ésta que la subrasante.

En el cuadro 5.6.3 se indican los coeficientes de aporte estructural recomendados, cuando se construyen capas de buena calidad.



Cuadro 5.6.3: Aporte estructural de las capas componentes del pavimento

Capa del pavimento	Aporte estructural
Capa 1 – Superficie de rodadura	
Carpeta concreto asfáltico tipo superior – Alta estabilidad	0.170/cm
Mezcla asfáltica en frío, con asfalto emulsionado	0.100/cm
Tratamientos superficiales	----
Capa 2 – Bases	
Base granular, CBR 80% compactada al 100% de los MDS	0.052/cm
Base granular, CBR 100% compactada al 100% de la MDS	0.056/cm
Base granular tratada con asfalto	0.135/cm
Base granular tratada con cemento	0.120/cm
Base granular tratada con cal	0.060 – 0.120/cm
Capa 3 – Sub bases	
Sub Base granular, CBR 25% compactada al 100% de la MDS	0.039/cm
Sub Base granular, CBR 30% compactada al 100% de la MDS	0.043/cm
Sub Base granular, CBR 40% compactada al 100% de la MDS	0.047/cm
Sub Base granular, CBR 60% compactada al 100% de la MDS	0.050/cm

El diseñador del pavimento puede plantear diferentes alternativas de pavimentación, incluyendo la ejecución por etapas, para lo cual utilizará diferentes aportes estructurales y espesores de cada capa del pavimento, hasta obtener el número estructural requerido. La estructura de pavimento que adopte el diseñador debe ser la alternativa evaluada como la más económica durante el periodo de diseño.

Las condiciones de drenaje de las capas granulares son consideradas a través de los coeficientes m_i . En base a las condiciones de drenaje señaladas en el cuadro 5.6.4:

Cuadro 5.6.4 : Condiciones de drenaje

Drenaje	Agua eliminada naturalmente en:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	(el agua no drena)

Teniendo en cuenta el porcentaje de tiempo que el pavimento se encuentra en las condiciones anteriormente indicadas, se presenta el cuadro 5.6.5 con los correspondientes valores de m_i recomendados para cada caso:

Cuadro 5.6.5: Coeficientes de drenaje de las capas granulares

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos de 1 %	1 – 5 %	5- 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Según rangos de demanda de tránsito expresados en número de repeticiones de EE de 8.2 t, se han establecido las condiciones mínimas deseables en cuanto a tipo de superficie de rodadura, en cambio para las capas de base granular y sub base granular, el espesor mínimo constructivo de cada capa será de 15 cm. En el cuadro 5.6.6 se indican los tipos de superficie de rodadura mínimos deseables.

Cuadro 5.6.6: Tipos de superficie de rodadura y espesores mínimos deseables

Número de repeticiones de EE de 8.2 t	Superficie de rodadura deseable
50,000 < Rep. EE ≤ 150,000	Tratamiento Superficial Bicapa (TSB)
150,000 < Rep. EE ≤ 300,000	Carpeta asfáltica en frío, con asfalto emulsionado. Espesor mín. 5 cm. (o 2 capas de 2.5 cm)
300,000 < Rep. EE ≤ 600,000	Carpeta asfáltica en caliente Espesor mín. 6 cm.
600,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000	Carpeta asfáltica en caliente Espesor mín. 7.5 cm.

En los tramos con Tratamiento Superficial Bicapa (TSB), que presenten sectores con pendientes mayores a 7% o que presenten sectores muy sinuosos, en vez del TSB se colocará una carpeta asfáltica en frío con asfalto emulsionado, de espesor mínimo 3.0cm, u otra solución adecuada.

En zonas lluviosas o de climas fríos y húmedos, se recomienda pavimentar las bermas, con el mismo material de la capa de rodadura o en todo caso con un tratamiento superficial bicapa, recomendándose las gradaciones A y C de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras – EG-2000.

En los cuadros 5.6.7 (a), (b), (c) y (d), se presenta a manera de ejemplo los criterios expuestos en este manual de diseño, recomendando (sin ser limitativo) los espesores de cada capa de una estructura de pavimento flexible que responde a la clase de tráfico y de subrasante.



Cuadro 5.6.7 (a): Catálogo de espesores estructura de pavimento flexible con tráfico T1

CLASE DE TRÁFICO	T1	T1	T1	T1	T1
Número de repeticiones de EE	5.0X10 ⁴ -1.5X10 ⁵	5.0X10 ⁴ -1.5X10 ⁵	5.0X10 ⁴ -1.5X10 ⁵	5.0X10 ⁴ -1.5X10 ⁵	5.0X10 ⁴ -1.5X10 ⁵
Período de diseño	10 años	10 años	10 años	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiability	60%	60%	60%	60%	60%
Desviación Standard Combinada	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Índice de serviciabilidad inicial	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Índice de serviciabilidad final	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Número Estructural (SN)	2,890	2,510	1,950	1,830	1,680
Sub rasante sin mejoramiento					
Superficie de rodadura	Tratamiento superficial bicapa	Tratamiento superficial bicapa	Tratamiento superficial bicapa	Tratamiento superficial bicapa	Tratamiento superficial bicapa
Base Granular (cm)			20.0	20.0	15.0
Sub base granular (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	15.0	15.0	15.0
Total (cm)			35.0	35.0	30.0

(*) Una vez mejorada la subrasante y compactada al 95% de la máxima densidad seca, se colocará la capa de sub base granular de espesor 15cm y luego la capa de base granular de espesor 20 cm.

Cuadro 5.6.7 (b): Catálogo de espesores estructura de pavimento flexible con tráfico T2

CLASE DE TRÁFICO	T2	T2	T2	T2	T2
Número de repeticiones de EE	1.5X10 ⁵ -3.0X10 ⁵	1.5X10 ⁵ -3.0X10 ⁵	1.5X10 ⁵ -3.0X10 ⁵	1.5X10 ⁵ -3.0X10 ⁵	1.5X10 ⁵ -3.0X10 ⁵
Periodo de diseño	10 años	10 años	10 años	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiability	70%	70%	70%	70%	70%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,330	2,900	2,280	2,140	1,980
Sub rasante sin mejoramiento					
Superficie de rodadura: Carpeta en frío de conglomerado asfáltico con asfalto emulsionado	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Base Granular (cm)					
Sub base granular (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	20,0	20,0	15,0
Total (cm)			45,0	40,0	35,0

(*) Una vez mejorada la subrasante y compactada al 95% de la máxima densidad seca, se colocará la capa de sub base granular de espesor 20cm y luego la capa de base granular de espesor 20 cm.

Cuadro 5.6.7 (c): Catálogo de espesores estructura de pavimento flexible con tráfico T3

CLASE DE TRÁFICO	T3	T3	T3	T3	T3
Número de repeticiones de EE	3.0X10 ⁵ - 6X10 ⁵				
Período de diseño	10 años				
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
CBR	< 3%	3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%	> = 20%
Confiability	75%	75%	75%	75%	75%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	3,750	3,280	2,590	2,450	2,260
Sub rasante sin mejoramiento					
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente. (cm)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Base Granular (cm)					
Sub base granular (cm)					
Total (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)
	41,0	36,0	36,0	36,0	36,0

(*) Una vez mejorada la subrasante y compactada al 95% de la máxima densidad seca, se colocará la capa de sub base granular de espesor 20cm y luego la capa de base granular de espesor 15 cm.

Cuadro 5.6.7 (d): Catálogo de espesores estructura de pavimento flexible con tráfico T4

CLASE DE TRÁFICO	T4	T4	T4	T4	T4
Número de repeticiones de EE	6.0X10 ⁵ -1.5X10 ⁶	6.0X10 ⁵ -1.5X10 ⁶	6.0X10 ⁵ -1.5X10 ⁶	6.0X10 ⁵ -1.5X10 ⁶	6.0X10 ⁵ -1.5X10 ⁶
Periodo de diseño	10 años	Muy Pobre	10 años	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy Pobre	< 3%	Pobre	Regular	Buena
CBR			3% - 5%	6% - 10%	11% - 19%
Confiability	80%	80%	80%	80%	80%
Desviación Standard Combinada	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Índice de serviciabilidad inicial	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Índice de serviciabilidad final	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Número Estructural (SN)	4,120	3,620	2,870	2,720	2,520
Sub rasante sin mejoramiento					
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente (cm):	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Base Granular (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)		20,0	15,0	15,0
Sub base granular (cm)	Ver acápite referido a mejoramiento de subrasante (*)		15,0	15,0	15,0
Total (cm)			42,5	37,5	37,5

(*) Una vez mejorada la subrasante y compactada al 95% de la máxima densidad seca, se colocará la capa de sub base granular de espesor 15cm y luego la capa de base granular de espesor 20 cm.

Toda estructura de pavimento requiere necesariamente un mantenimiento rutinario anual, que incluye entre otras actividades tratamiento de fisuras, parchados, limpieza y reparación de las obras de drenaje y obras de arte en general; y, un tratamiento periódico de sello asfáltico cada 3 a 5 años. Asimismo, como resultado de la realización de evaluaciones periódicas de condición superficial (inventario de fallas, rugosidad, textura) y estructural (deflexiones) del pavimento, según sea necesario, se aplicará una capa nivelante o adicionalmente un refuerzo asfáltico, dependiendo de su capacidad soporte remanente y del crecimiento del tránsito.



5.7 Mejoramiento de subrasante

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado o estabilización con cemento, cal o aditivos químicos) o podrá ser una nueva capa construida sobre la subrasante existente. La alternativa a elegir será determinada de acuerdo al análisis técnico-económico comparativo.

En general, se recomienda que cuando se presenten subrasantes clasificadas como muy pobre y pobre (CBR < 6%), se proceda a eliminar el material inadecuado y a colocar un material granular de reemplazo con CBR mayor a 10% e IP menor a 10; con lo cual se permite el uso de una amplia gama de materiales naturales locales de bajo costo, que cumplan la condición. La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento.

El espesor de una capa de subrasante mejorada no debe ser menor del espesor determinado mediante el método que a continuación se describe:

- i) Tal como se indicó el Número Estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

$$SN_o = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

- ii) Se añade a la ecuación SN la capa de subrasante mejorada, expresada en términos de $a_4 \times D_4 \times m_4$, donde:

a_4 : Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

- $a_4 = 0.024$, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR 6 – 10%.
- $a_4 = 0.030$, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR 11 – 19%.
- $a_4 = 0.037$, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR $\geq 20\%$.
- $a_4 = 0.035$, para mejorar la subrasante muy pobre y pobre a una subrasante regular, con la adición mínima de 3% de cal en peso de los suelos.

D_4 : Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

m_4 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4, según el cuadro 5.7.1 se determina el valor de m_4 .

Cuadro 5.7.1

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos de 1 %	1 – 5 %	5- 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nueva ecuación:

$$SN_r = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + a_4 \times D_4 \times m_4$$

o

$$SN_r = SN_o + a_4 \times D_4 \times m_4$$

- iii) Con los valores determinados a_4 y m_4 , se puede calcular el espesor efectivo D_4 de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

$$D_4 = (SN_r - SN_o) / (a_4 \times m_4)$$

SN_r = Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

SN_o = Número estructural del pavimento con subrasante muy pobre o pobre

- iv) En los cuadros 5.7.2 (a), (b), (c) y (d), se presentan como ejemplo la aplicación de la metodología citada, considerando un coeficiente estructural $a_4 = 0.024$ y coeficiente de drenaje $m_4 = 1.00$.

Cuadro 5.7.2 (a)

CLASE DE TRÁFICO	T1	T1
Número de repeticiones de EE	5.0 x 10 ⁴ - 1.5 x 10 ⁵	5.0 x 10 ⁴ - 1.5 x 10 ⁵
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	1,715	1,715
SN SUBRASANTE INADECUADA	2,889	2,510
Diferencial SN requerido	1,174	0,795
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	49,0	33,0
Espesor adoptado	50,0	35,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura	Tratamiento superficial bicapa	Tratamiento superficial bicapa
Base granular (cm)	20,0	20,0
Sub base granular (cm)	15,0	15,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	50,0	35,0
Total (cm)	85,0	70,0

Cuadro 5.7.2 (b)

CLASE DE TRÁFICO	T2	T2
Número de repeticiones de EE	1.5 x 10 ⁵ - 3.0 x 10 ⁵	1.5 x 10 ⁵ - 3.0 x 10 ⁵
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	2,015	2,015
SN SUBRASANTE INADECUADA	3,326	2,903
Diferencial SN requerido	1,311	0,888
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	55,0	37,0
Espesor adoptado	55,0	40,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en frío de conglomerado asfáltico con asfalto emulsionado (cm)	5,0	5,0
Base granular (cm)	20,0	20,0
Sub base granular (cm)	20,0	20,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	55,0	40,0
Total (cm)	95,0	80,0

Cuadro 5.7.2 (c)

CLASE DE TRÁFICO	T3	T3
Número de repeticiones de EE	3.0 x 10 ⁵ - 6.0 x 10 ⁵	3.0 x 10 ⁵ - 6.0 x 10 ⁵
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	2,305	2,305
SN SUBRASANTE INADECUADA	3,748	3,282
Diferencial SN requerido	1,443	0,978
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	60,0	41,0
Espesor adoptado	60,0	45,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente (cm)	6,0	6,0
Base granular (cm)	15,0	15,0
Sub base granular (cm)	20,0	20,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	60,0	45,0
Total (cm)	95,0	80,0

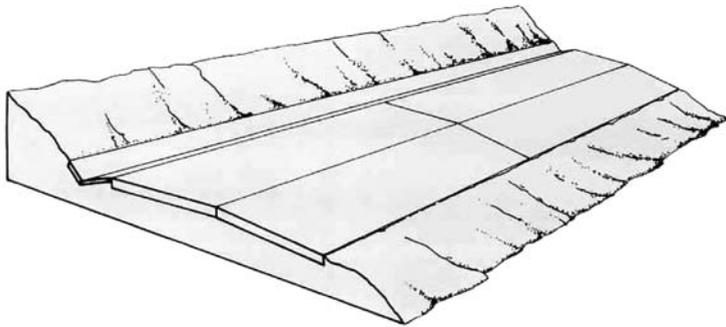
Cuadro 5.7.2 (d)

CLASE DE TRÁFICO	T4	T4
Número de repeticiones de EE	6.0 x 10 ⁵ - 1.0 x 10 ⁶	6.0 x 10 ⁵ - 1.0 x 10 ⁶
Período de diseño	10 años	10 años
TIPO DE SUBRASANTE	Muy pobre	Pobre
CBR	< 3%	3% - 5%
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE		
SN SUBRASANTE REGULAR	2,562	2,562
SN SUBRASANTE INADECUADA	4,122	3,620
Diferencial SN requerido	1,560	1,058
Coefficiente estructural granular	0,024	0,024
Mejoramiento granular	65,0	44,0
Espesor adoptado	65,0	45,0
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA		
Superficie de rodadura: Carpeta asfáltica en caliente (cm)	7,5	7,5
Base granular (cm)	20,0	20,0
Sub base granular (cm)	15,0	15,0
Reemplazo de material CBR > 10% (cm)	65,0	45,0
Total (cm)	100,0	80,0

5.8 Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos son aquellos cuya superficie de rodadura es de concreto hidráulico de cemento Pórtland, y generalmente están asentadas sobre una capa de material de subbase (CBR > 40%) y está a su vez sobre la subrasante nivelada y compactada al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

Para el diseño de pavimentos rígidos en carreteras el proyectista recurrirá al manual de la American Association of State Highway and Transportation Officials- AASHTO (Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte) o similares.



5.9 Materiales y partidas específicas del pavimento

Las siguientes partidas específicas:

- 1) Mejoramiento de suelos de la capa de subrasante.
- 2) Subrasante granular.
- 3) Base granular.
- 4) Imprimación asfáltica.
- 5) Tratamientos superficiales.
- 6) Pavimentos de concreto asfálticos con mezclas densas y abiertas en frío y en caliente.

Se ejecutarán de acuerdo a lo estipulado en el capítulo 3 Subbases y bases y capítulo 4 Pavimento asfáltico, de las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000) y sus actualizaciones.

5.10 Canteras y fuentes de agua

Se deberá efectuar un estudio de canteras - fuentes de materiales para rellenos, sub-base, base, pavimentos asfálticos, obras de concreto hidráulico etc. Para el caso de canteras que cuenten con estudios previos, se efectuarán solamente ensayos que confirmen la calidad y potencia de las mismas.

Las canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

El número mínimo de calicatas será de 5 por cantera ubicadas de tal forma que cubra toda el área de explotación y cuya profundidad no será menor de la profundidad mínima de explotación. Las muestras representativas de los materiales de cada calicata serán sometidas a la totalidad de los ensayos de calidad, a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, sub-base, base, pavimentos asfálticos, obras de concreto hidráulico, etc.), de acuerdo al uso propuesto y especificaciones técnicas recomendadas en el presente manual.

La exploración de las canteras o fuentes de materiales debe cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto.

Estos trabajos se efectuarán a criterio, experiencia y responsabilidad del proyectista, los resultados y conclusiones que presente deben ser los representativos y con una confiabilidad aceptada, de tal manera que los materiales procedentes de las canteras seleccionadas por el proyectista cumplan estrictamente las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000).

El informe geotécnico de canteras – fuentes de materiales deben incluir, al menos, la siguiente información:

- Ubicación y potencia de la cantera.
- Condiciones de explotación, tales como nivel freático, accesos, pendientes, taludes.

- Características principales de los materiales que puedan obtenerse.
- Características y propiedades de los materiales para definir su aptitud como agregados para rellenos, sub-base, base, pavimentos asfálticos, obras de concreto hidráulico, etc.
- Rendimientos por tipo de uso, limitaciones o condicionantes constructivas que puedan restringir su uso (por ejemplo, condiciones de humedad, sobre tamaño, etc.)
- Propiedad y disponibilidad de uso de la cantera o fuente de materiales.
- Ubicación de las fuentes de agua y su calidad para ser usada en la obra.



Capítulo 6

TOPOGRAFÍA



TOPOGRAFÍA

6.1 Consideraciones generales del trazo

La localización de una ruta entre dos puntos, uno inicial y otro terminal, establecidos como condición previa, implica encontrar una franja de terreno cuyas características topográficas y factibilidad de uso, permita asentar en ella una carretera de condiciones operativas previamente determinadas.

El procedimiento de localización empieza tradicionalmente, con la determinación de un trazado tentativo mediante la señalización de una línea de banderas a través del territorio, cuando éste es de topografía plana u ondulada, siguiendo en lo posible la ruta más directa entre los extremos fijados para la carretera, con la condición de ir salvando los accidentes naturales y las edificaciones o instalaciones que revistan un carácter relativamente intangible por su importancia. En los puntos de inflexión de la poligonal que se va formando, se señala el trazado con algún elemento, tal como una bandera que permite identificar el recorrido seguido.

Cuando el territorio es accidentado, el trazo resulta controlado por las inclinaciones del terreno. En estos casos, además de la necesidad de salvar los accidentes importantes, el trazo se enfrenta a la necesidad de salvar la diferencia de alturas en los tramos en que se requiere ascender o descender para pasar por puntos obligados de la ruta.

Para estos casos, se traza en el terreno una “línea de gradiente”. Se trata de un alineamiento de dirección variable que tiene la particularidad de ascender o descender el terreno, con una pendiente constante para el tramo, elegida o calculada previamente en razón a dos parámetros principales: la altura por salvar y la pendiente máxima promedio, aceptable para la carretera. La pendiente seleccionada deberá estar algunos puntos por debajo de esa pendiente máxima, como criterio previsor dado que hay que asegurar que en el trazo definitivo se requiere no sobrepasar las pendientes máximas permitidas.

La materialización de este trazado tentativo o preliminar, tradicionalmente se hace con la ayuda de un eclímetro. Este es un instrumento manual que permite señalar la horizontabilidad mediante un nivel y la pendiente deseada mediante un visor graduado respecto a la horizontal. De esta manera, el operador señala a quien porta la mira, su ubicación en el terreno en una poligonal que asciende o desciende con la pendiente establecida. En cada punto, se estaca el terreno para no perder la referencia y se mide la distancia entre estacas y con una brújula el azimut de cada

alineamiento. Este procedimiento es similar tanto para el trazado de la línea de banderas, como de la línea de gradiente.

En la actualidad, además de los métodos tradicionales, para la localización de una ruta, se emplean la fotografía aérea y la modelación digital del terreno, así como los modelos de elevaciones. En estos casos siempre es necesario un reconocimiento detallado previo, de lo contrario se requerirán grandes franjas con recubrimiento aerofotográfico y extensos modelos.

6.2 Topografía y trazado

El plano topográfico es la representación gráfica del terreno, de sus accidentes, del sistema hidrográfico, y de las instalaciones y edificaciones existentes, puestas por el hombre. El levantamiento topográfico muestra las distancias horizontales y las diferentes cotas o elevaciones de los elementos representados en el plano mediante curvas de nivel, a escalas convenientes para la interpretación del plano por el ingeniero y para la adecuada representación de la carretera y de las diversas estructuras que lo componen.

En los reconocimientos se recomienda usar de preferencia planos a escala en el rango entre 1:2000 y 1:10000 con curvas de nivel, a intervalos de altura de 5 m. En terrenos muy empinados no es posible el dibujo de curvas a este intervalo y será necesario elegir un intervalo mayor, en que la distancia horizontal en el dibujo, entre dos curvas de nivel sea mayor a 1 mm.

En los diseños definitivos se recomienda utilizar planos en planta horizontales normalmente en el rango de 1:500 y 1:1000 para áreas urbanas; y de 1:1000 y 1:2000 para áreas rurales; y curvas a nivel a intervalos de 0.5 m. a 1.0 m. de altura en áreas rurales y a intervalos de 0.5 m. en áreas urbanas.

Los planos topográficos para proyectos definitivos de gran magnitud deben estar referidos a los controles terrestres de la cartografía oficial, tanto en ubicación geográfica como en elevación, para lo cual deberá señalarse en el plano el hito Datum o BM tomado como referencia.

El trazado deberá ser referido a las coordenadas señaladas en el plano, mostrando en las tangentes, el azimut geográfico y las coordenadas referenciales de PIs, PCs y PTs, etc.

El levantamiento topográfico puede hacerse usualmente en dos formas alternativas. La más común resulta ser el levantamiento ejecutado en una estrecha franja del territorio, a lo largo de la localización proyectada para la carretera y su Derecho de

Vía. La alternativa es hacer levantamientos topográficos sobre un área más amplia que permitirá el estudio en gabinete de variantes en el trazo para optimizar el diseño y minimizar los costos.

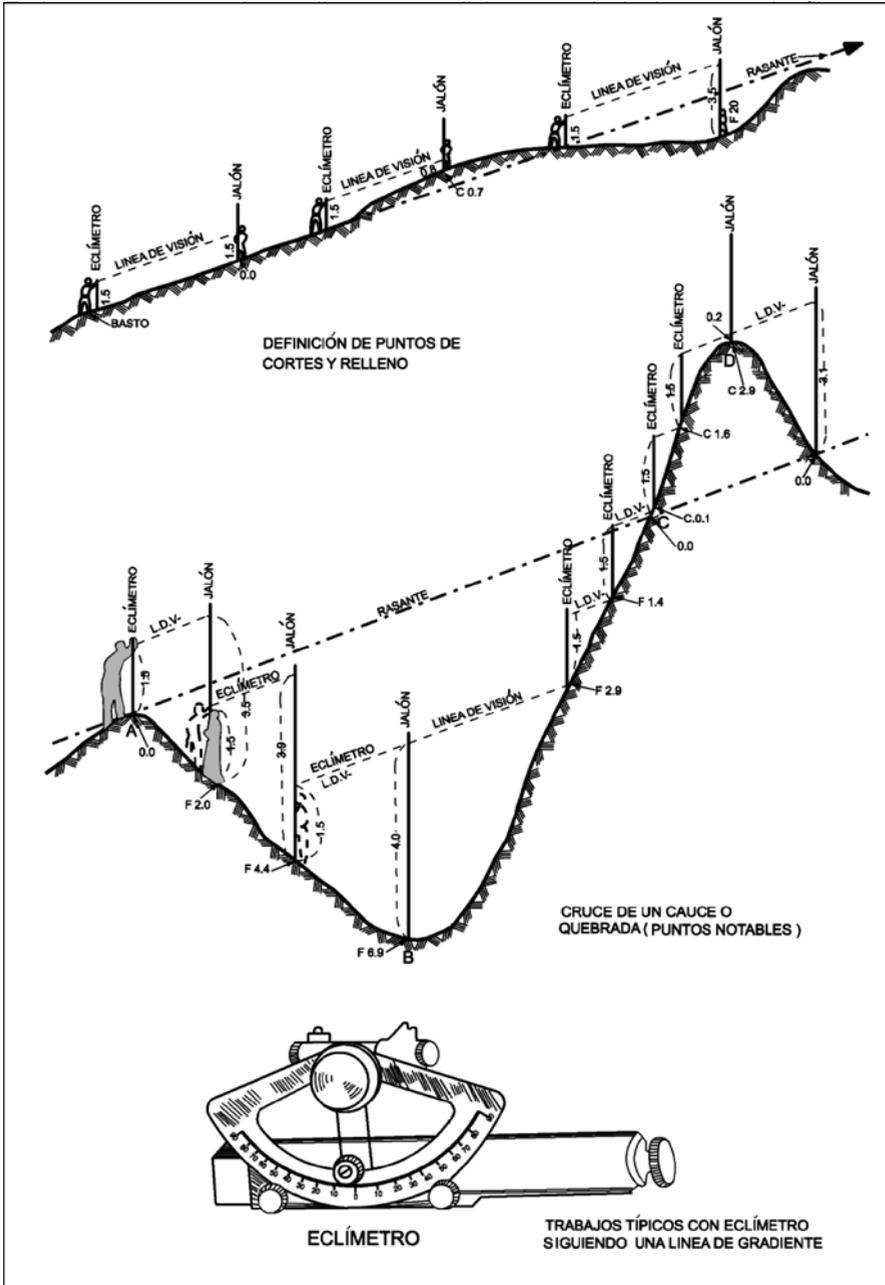
En el caso del levantamiento restringido a prácticamente el Derecho de Vía de la carretera, el trabajo se realizara simultáneamente con el estacado preliminar en el terreno y seguramente definitivo. Este trazado constituye lo que se denomina el “trazado directo”. El sistema alternativo se denomina “trazado indirecto”.

6.3 El trazo directo

Definida la ruta y fijado el punto de partida y los puntos obligados de paso que definen tramos de la ruta, se ejecuta un estacado preliminar señalando la ruta y se calcula el nivel del terreno en cada estaca.

Mediante el seccionamiento transversal del terreno, en cada estaca, midiendo longitudes con cinta métrica y elevaciones con el eclímetro (figura 6.1.3.1), el nivel o el teodolito, se realiza el levantamiento topográfico de la sección transversal que deberá cubrir un área suficientemente amplia para diseñar la carretera, sus diversas estructuras y obras de arte y para acondicionar el derecho de vía. Los datos de cada sección transversal deberán ser suficientes para permitir la representación de las curvas de nivel en la franja que ocupara la carretera. En la actualidad, el levantamiento de la sección transversal también se realiza con la estación total.





En cada estaca se levanta la sección transversal en un ancho que depende de la naturaleza del proyecto y del terreno.

En el gabinete se reconstruye la planta de la franja de la carretera, el perfil longitudinal del eje y las secciones transversales.

El topógrafo debe levantar adicionalmente la referencia de toda edificación, (instalación, propiedad, caminos de acceso y accidente natural o artificial, ubicado en la franja levantada) que se juzgue necesario tomar en cuenta para el diseño del proyecto o ampliará el área de levantamiento si el ingeniero lo juzga necesario. Deberá incluirse también el levantamiento detallado de todos los cursos de agua transversales al camino sean estos permanentes, estacionales y eventuales.

El estacado seguido a lo largo del eje, corresponde así normalmente a la poligonal del levantamiento y salvo eventuales correcciones como consecuencia de posibles cambios, el trazado materializado (estacado) corresponde también al replanteo del proyecto.

Se fijan entonces en el terreno las referencias topográficas permanentes que permitirán replantear el alineamiento del eje de la carretera y el estacado del proyecto en los casos en que el estacado desaparezca por cualquier causa. Estas referencias o monumentos se construyen en lugares estables no sujetos a cambios.

6.4 El trazado indirecto

En el Perú, se ha denominado “trazado indirecto” al procedimiento de realizar levantamientos topográficos precisos en una franja amplia del terreno y el trazo del eje se realiza en el gabinete sobre los planos de topografía, o los modelos digitales producto del levantamiento.

Definida la ruta y sus puntos obligados de paso, se hacen levantamientos topográficos de precisión en una franja de la carretera que cubra las mejores posibilidades de colocar el trazo y analizar sus variantes.

La topografía puede levantarse por métodos terrestres con equipos de topografía convencional que puede resultar en un trabajo lento o con equipos electrónicos de mayor precisión y rapidez. También se utiliza y cada vez mas frecuentemente levantamientos por restitución aerofotogramétrica o imágenes satelitales.

En todos estos casos, se puede automatizar la medición, los registros, la elaboración de planos y el computo del movimiento de tierras mediante la organización de bases de datos y la digitalización de los planos del diseño. El proyecto se realiza en el gabinete, pudiéndose estudiar con facilidad las alternativas de trazo y variantes.

El replanteo del trazo y su monumentación puede realizarse en cualquier oportunidad posterior, e incluso solo al iniciarse las obras, para lo cual, durante la etapa del levantamiento topográfico monumentan convenientemente las referencias terrestres.

6.5 Sistema de unidades

En todos los trabajos topográficos se aplicará el sistema métrico decimal.

Las medidas angulares se expresarán en grados, minutos y segundos sexagesimales.

Las medidas de longitud se expresarán en kilómetros (Km.); metros (m); centímetros (cm.) ó milímetros (mm), según corresponda.

6.6 Sistemas de referencia

El sistema de referencia será único para cada proyecto y todos los trabajos topográficos necesarios para ese proyecto estarán referidos a ese sistema. El sistema de referencia será plano, triortogonal, dos de sus ejes representan un plano horizontal (un eje en la dirección SUR – NORTE y el otro en la dirección OESTE – ESTE, (según la cuadrícula UTM de IGN para el sitio del levantamiento) sobre el cual se proyectan ortogonalmente todos los detalles del terreno, ya sea naturales o artificiales, y el tercer eje corresponde a la elevación, cuya representación del terreno se hará tanto por curvas de nivel, como por perfiles y secciones transversales. Por lo tanto, el sistema de coordenadas del levantamiento no es el U.T.M., sino un sistema de coordenadas planas ligado, en vértices de coordenadas U.T.M., lo que permitirá efectuar la transformación para una adecuada georeferenciación. Las cotas o elevaciones se referirán al nivel medio del mar.

El método utilizado para orientar el sistema de referencia y para ligarlo al sistema UTM del IGN se describirán en la memoria descriptiva.

Para efectos de la georeferenciación, debe tenerse en cuenta que el Perú está ubicado en las zonas 17, 18, 19 y en las Bandas M, L, K según la designación UTM.

El elipsoide utilizado es el World Geodetic System 1984 (WGS-84) el cual es prácticamente idéntico al sistema geodético de 1980 (GRS80), y que es definido por los siguientes parámetros:

Semieje mayor	a	6 378 137 m
Velocidad angular de la tierra	w	$7\,292\,115 \times 10^{-11}$ rad/seg.
Constante gravitacional terrestre	GM	$3\,986\,005 \times 10^8$ m ³ /seg ²
Coefficiente armónico zonal de 2º grado de geopotencial	J ₂	C _{2,0} = 484.16685×10^{-6}

Para enlazarse a la Red Geodésica Horizontal del IGN bastará enlazarse a una estación si la estación del IGN es de al orden B ó superior y a dos estaciones en el caso que las estaciones del IGN pertenezcan Orden C. Para el enlace vertical a la Red Vertical del IGN se requiere enlazarse a dos estaciones del IGN como mínimo.

Para carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito se considera deseable contar con puntos de Georeferenciación con coordenadas UTM, enlazados al Sistema Nacional del IGN, distanciados entre sí no más de 10 Km. y próximos al eje de la carretera a una distancia no mayor de 500 m.

6.7 Tolerancias en la ubicación de puntos

La tolerancia para errores relativos o posicionales se presenta en el cuadro 6.1.7.

Cuadro 6.1.7: Tolerancias para trabajos de levantamientos topográficos, replanteos y estacado

Fase de trabajo	Tolerancias		Distancias entre hitos
	Horizontal	Vertical	
Georeferenciación	1:100 000	$e = 5\sqrt{K}$ *	40 Km.
Puntos de control (Polígonos o triángulos)	1:10 000	$e = 12\sqrt{K}$ *	0,5 Km.
Puntos del eje, (PC), (PT), puntos en curva y referencias	1:5 000	± 10 mm.	--
Otros puntos del eje	± 50 mm.	± 10 mm.	--
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm.	± 20 mm.	--
Muros de contención	± 20 mm.	± 10 mm.	--
Límites para roce y limpieza	± 500 mm.	--	--
Estacas de subrasante	± 50 mm.	± 10 mm.	--
Estacas de rasante	± 50 mm.	± 10 mm.	--
Estacas de talud	± 50 mm.	± 100 mm.	--

* e = Error relativo en milímetros

K = Distancia en kilómetros

6.8 Trabajos topográficos

Los trabajos de topografía y georeferenciación comprenden los siguientes aspectos:

(a) Georeferenciación:

La georeferenciación se hará estableciendo puntos de control geográfico mediante coordenadas UTM con una equidistancia aproximada de 10 Km. ubicados a lo largo de la carretera. Los puntos seleccionados estarán en lugares cercanos y accesibles que no sean afectados por las obras o por el tráfico vehicular y peatonal. Los puntos serán monumentados en concreto con una placa de bronce en su parte superior en el que se definirá el punto por la intersección de dos líneas. Las placas de bronce tendrán una leyenda que permita reconocer el punto.

Estos puntos servirán de base para todo el trabajo topográfico y a ellos estarán referidos los puntos de control y los del replanteo de la vía.

(b) Puntos de control:

Los puntos de control horizontal y vertical que puedan ser afectados por las obras deben ser reubicados en áreas en que no sean disturbadas por las operaciones constructivas. Se deberán establecer las coordenadas y elevaciones para los puntos reubicados antes que los puntos iniciales sean disturbados.

El ajuste de los trabajos topográficos será efectuado con relación a dos puntos de control geográfico contiguos, ubicados a no más de 10 km.

(c) Sección transversal

Las secciones transversales del terreno natural deberán ser referidas al eje de la carretera. El espaciamiento entre secciones no deberá ser mayor de 20 m en tramos en tangente y de 10 m en tramos de curvas con radios inferiores a 100 m. En caso de quiebres en la topografía, se tomarán secciones adicionales en los puntos de quiebre.

Se tomarán puntos de la sección transversal con la suficiente extensión para que puedan detallarse los taludes de corte y relleno y las obras de drenaje hasta los límites que se requieran. Las secciones además deben extenderse lo suficiente para evidenciar la presencia de edificaciones, cultivos, línea férrea, canales, etc. que por estar cercanas al trazo de la vía podría ser afectada por las obras de carretera, así como por el desagüe de las alcantarillas.

(d) Estacas de talud y referencias

Se deberán establecer estacas de talud de corte y relleno en los bordes de cada sección transversal. Las estacas de talud establecen en el campo el punto de intersección de los taludes de la sección transversal del diseño de la carretera con la traza del terreno natural. Las estacas de talud deben ser ubicadas fuera de los límites de la limpieza del terreno y en dichas estacas se inscribirán las referencias de cada punto e información del talud a construir conjuntamente con los datos de medición.

(e) Límites de limpieza y roce

Los límites para los trabajos de limpieza y roce deben ser establecidos en ambos lados de la línea del eje en cada sección de la carretera, durante el replanteo previo a la construcción de la carretera.

(f) Restablecimiento de la línea del eje

Para la construcción de la carretera, la línea del eje será restablecida a partir de los puntos de control. El espaciamiento entre puntos del eje no debe exceder de 20 m en tangente y de 10 m en curvas de radio menor a 100 m.

El estacado debe ser restablecido cuantas veces sea necesario para la ejecución de cada etapa de la obra, para lo cual se deben resguardar los puntos de referencia.

(g) Elementos de drenaje

Los elementos de drenaje deberán ser estacados para fijarlos a las condiciones del terreno.

Se deberá considerar lo siguiente:

- (1) Levantamiento del perfil del terreno a lo largo del eje de la estructura de drenaje que permita apreciar el terreno natural, la línea de flujo, la sección de la carretera y el elemento de drenaje.
- (2) Ubicación de los puntos de ubicación de los elementos de ingreso y salida de la estructura.
- (3) Determinar y definir los puntos que sean necesarios para determinar la longitud de los elementos de drenaje y del tratamiento de sus ingresos y salidas.

(h) Muros de contención

Para la construcción de la carretera se deberá relevar el perfil longitudinal del terreno a lo largo de la cara del muro propuesto. Cada 5 m y en donde existan quiebres

del terreno se deben tomar secciones transversales hasta los límites que indique el supervisor. Ubicar referencias adecuadas y puntos de control horizontal y vertical.

(i) Canteras

Se debe establecer los trabajos topográficos esenciales referenciados en coordenadas UTM de las canteras de préstamo. Se debe colocar una línea de base referenciada, límites de la cantera y los límites de limpieza. También se deberán efectuar secciones transversales de toda el área de la cantera referida a la línea de base. Estas secciones deberán ser tomadas antes del inicio de la limpieza y explotación y después de concluida la obra y cuando hayan sido cumplidas las disposiciones de conservación de medio ambiente sobre el tratamiento de canteras.

(j) Monumentación

Todos los hitos y monumentación permanente que se coloquen durante la ejecución de la vía deberán ser materia de levantamiento topográfico y referenciación.

(k) Levantamientos misceláneos

Se deberán efectuar levantamientos, estacado y obtención de datos esenciales para el replanteo, ubicación, control y medición, entre otros de los siguientes elementos:

- (1) Zonas de depósitos de desperdicios.
- (2) Vías que se aproximan a la carretera.
- (3) Zanjas de coronación.
- (4) Zanjas de drenaje.
- (5) Canales disipadores de energía, etc.

Y cualquier elemento que esté relacionado a la construcción y funcionamiento de la carretera.

(l) Trabajos topográficos intermedios

Todos los trabajos de replanteo, reposición de puntos de control y estacas referenciadas, registro de datos y cálculos necesarios que se ejecuten durante el paso de una fase a otra de los trabajos constructivos deben ser ejecutados en forma constante que permitan el replanteo del proyecto, para la ejecución de las obras, la medición y verificación de cantidades de obra, en cualquier momento.

6.9 Geometría de la carretera

Se incorpora las siguientes descripciones para su uso por quienes se enfrenten a la necesidad de elaborar diseños de carreteras vecinales en territorios alejados de las tecnologías electrónicas de trazado vial.

Elementos y cómputo de curvas horizontales circulares

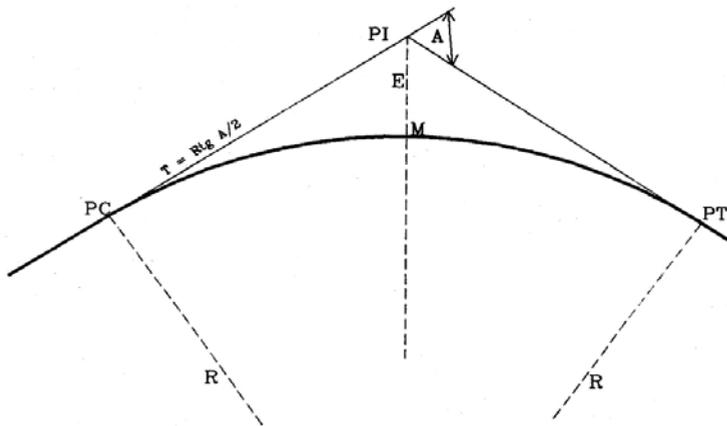
En el diseño de la curva se conoce la ubicación del punto de intersección del alineamiento o del PI, en relación al estacado progresivo del alineamiento de llegada.

También se conoce el azimut de ambas tangentes y, por tanto, el ángulo del alineamiento.

Se selecciona el radio de la curva correspondiente a la velocidad de diseño como mínimo; pero de ser posible debe ser mayor a los correspondientes a esa velocidad.

En la figura 6.1.9.1 se aprecian los siguientes elementos de la curva.

Ejemplo numérico de cómputo de una curva para:



- PI** = Punto de intersección de dos alineamientos
- A** = Angulo de deflexión
- R** = Radio de curva
- T** = Tangente (Distancia del PI al PC y PT)
- L** = Longitud de la curva
- E** = Externa (distancia del PI al punto medio de la curva), PC; PT

El estacado de la curva resulta como sigue:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$E = R (\sec \frac{\Delta}{2} - 1)$$

$$L = R \frac{\pi \Delta}{180}$$

$$PI: Km. 5 + 183.27$$

$$A = 24^{\circ} 18'$$

$$R = 350 m.$$

$$T = 350 \operatorname{tg} \left(\frac{24^{\circ} 18'}{2} \right) = 75.35 m.$$

$$L = 350 \left(\frac{\pi \times 24^{\circ} 18'}{180} \right) = 148.44 m.$$

$$E = 350 \left(\sec \frac{24^{\circ} 18'}{2} - 1 \right) = 7.84 m.$$

Uso de coordenadas de referencia al diseño

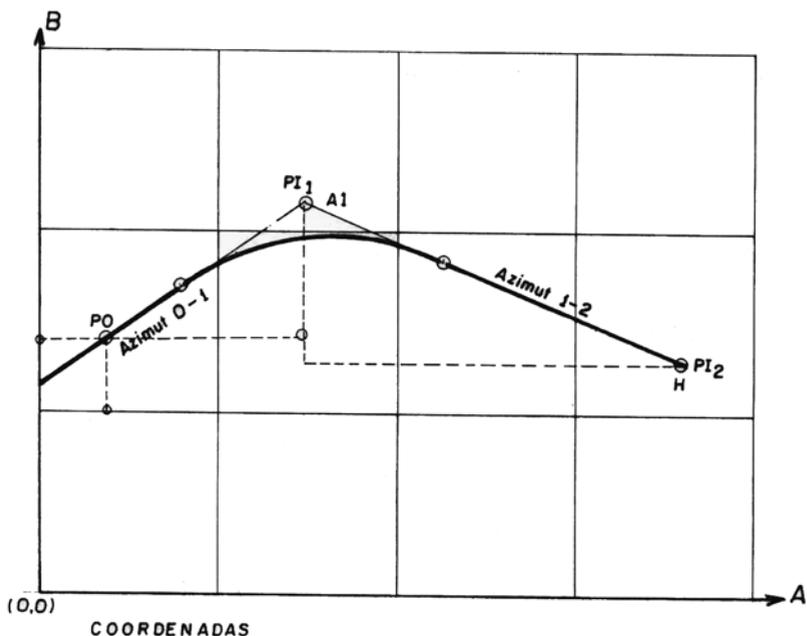
El uso de coordenadas de referencia en el levantamiento topográfico del terreno resulta obligatorio para obtener un cómputo preciso de un alineamiento del eje de una carretera. Las coordenadas pueden ser geográficas si se tienen una referencia cercana, para enlazar el proyecto al sistema geográfico.

Pero cuando el proyecto es pequeño y no se tiene referencias cercanas se puede establecer un sistema arbitrario de coordenadas ortogonales Norte-Sur. (Ver figura 6.1.9.2)

La referencia a un sistema de coordenadas debidamente monumentadas, según la importancia y/o características del proyecto, es necesario, cualquiera sea el tipo de coordenadas a utilizarse. Las referencias coordenadas de los PI, PC y PT, así como el azimut de la tangente, permiten alcanzar precisión en el diseño y en los replanteos del proyecto, sobre el terreno y evita acumulación de errores por mínimos que sean.

- Curva en el Km. 5
- Progresiva del PI: K5 + 183.27
K5 + E18 + 3.27
- Progresiva del PI : 5,183.27
Long. de la tangente -T : 75.35
- Progresiva del PC : 5,107.92 (Est.K5+10+7.92)
Long. de la curva circular +L : 148.44
Progresiva del PT : 5,256.36 (Est.K5+24+16.36)

Distancia de visibilidad en curvas horizontales



DATOS PO (A0 , B0)
 PI₁ (A1 , B1)
 PI₂ (A2 , B2)

La visibilidad es afectada por obstáculos laterales tales como, casas, paredes, árboles, muros o laderas.

Banquetas de visibilidad

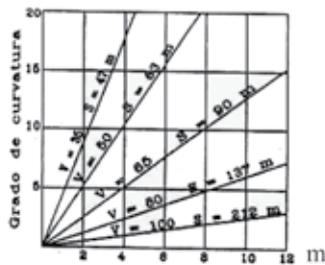
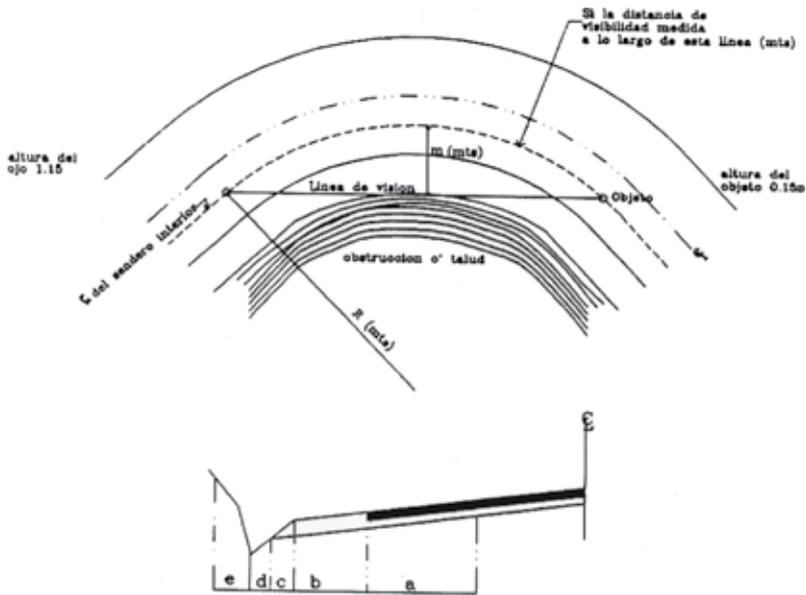
Cuando en una curva horizontal, sea esta circular o provista de espiral de transición, no se cumple con el requisito mínimo de visibilidad, es decir que en determinada sección no se puede establecer la existencia de distancia de visibilidad de parada en el eje de la vía interior de circulación, que es el caso más desfavorable, el procedimiento para hacer que ésta exigencia se cumpla, consiste en la construcción de una banqueta de visibilidad, que es simplemente un mayor corte del talud interior de la curva, que permitirá ampliar la visibilidad en la curva.

Entonces la curva que define la banqueta de visibilidad será la envolvente de las rectas que unen los puntos del eje de la vía interior, que distan entre sí la distancia de visibilidad de parada.

En las N.P. se controla éste requisito y se determina la banqueta de visibilidad valiéndose del procedimiento ilustrado.

Figura 6.1.9.3





en donde:

$$m = R \left[1 - \cos \left(\frac{28.65 S}{R} \right) \right]$$

$$S = \frac{R}{28.65} \cos^{-1} \left(\frac{R-m}{R} \right)$$

El gráfico mue:

$$\sqrt{R^2 - (R-m)^2} > 0.5 Dp$$

, radio.

Velocidad (Kph)	35	50	65	80	100
Dist. de parada deseable (m)	47	63	90	137	212
Dist. de parada mínima (m)	47	63	83	106	152

6.10 Geometría del alineamiento vertical

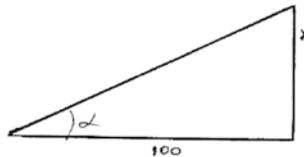
El perfil longitudinal

El perfil longitudinal de una carretera debe ser una línea continua y los componentes geométricos del eje en este plano vertical son dos:

- La línea recta inclinada, llamada gradiente o pendiente
- La curva vertical
 - Convexa o cresta
 - Cóncava o columpio

La pendiente

La pendiente de una carretera es numéricamente el valor del ascenso vertical por cada 100 metros de avance horizontal, se expresa en porcentaje.



Del gráfico podemos decir que la pendiente es igual al de la tangente trigonométrica del ángulo de inclinación medida en porcentaje. Casi nunca una carretera es horizontal, por lo menos y para facilitar el drenaje, el límite mínimo de la pendiente es 0.5% y el límite máximo está dado por consideraciones funcionales, pues los vehículos de carga no pueden vencer pendientes elevadas sin una reducción apreciable de su velocidad, lo que interfiere con un normal funcionamiento de la vía.

La pendiente a simple vista es impuesta por las características del terreno, por la diferencia de altura, y por la distancia que hay entre los puntos que se quiere unir. Pero es habilidad del proyectista conseguir, con un criterio fundamental de economía, controlar el desarrollo de la pendiente dentro de ciertos límites que impone la seguridad de tránsito y las características propias de potencia y carga de vehículos,

frente a las características topográficas del territorio.

6.11 Alineamiento Vertical

Curvas verticales

Cada P.I. vertical es identificado al más cercano décimo de centena de metros. La longitud L de la curva es usualmente definida a la más cercana centena de metros.

La relación $\frac{L}{A} = K$, cuando "A" es la diferencia de gradiente en porcentaje,

es el factor "k" que significa la distancia horizontal en metros requeridos para cambiar un (1) grado en pendiente. Es por ello una medida de curvatura.

Curvas verticales cóncavas o columpios

En las curvas verticales cóncavas, no existe problema de visibilidad diurna, pues los conductores no tienen impedimento para divisarse, entonces la finalidad de éstas curvas es de dar uniformidad al movimiento de vehículo, desapareciendo ese feo efecto de columpio que se produce en un cambio de pendiente.

En las noches, la condición obligatoria será tal, que en todo momento dentro de la curva, los faros alumbren una distancia mínima igual a la distancia de visibilidad de parada.

6.12 Diseño y cómputo de curvas verticales

Cómputo de las elevaciones

Normalmente las elevaciones serán computadas al centímetro (0.01 m). Las gradientes serán computadas como un porcentaje con dos decimales.

Los puntos del perfil de la rasante serán indicados en cada sección como sigue:

Para una sección de calzada única, a lo largo del eje C.

Para una sección de doble calzada, con separador central, en la intersección entre el separador y el límite de la superficie de rodadura.

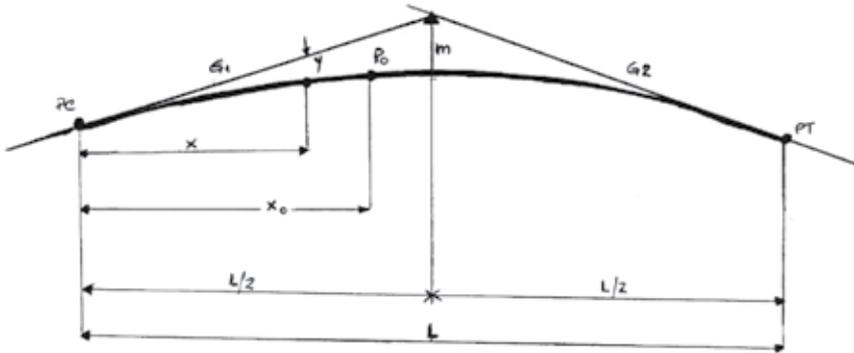
Las elevaciones de la gradiente serán mostradas en el perfil, como sigue:

Para las secciones normales, cada 20 m.

Curvas verticales

Las curvas verticales son arcos parabólicos. La deflexión desde la parábola a la tangente varía con el cuadrado de la distancia desde del punto de tangencia. Para determinar el perfil de la rasante, las deflexiones desde la tangente se computan, adicionándolas o restándolas de la cota de tangente (Figura 6.1.11.1)

Figura 6.1.11.1



En donde:

L = Longitud horizontal (m)

$G_1 + G_2$ = Gradientes expresadas algebraicamente en %

M = Ordenada media, en metros

P = Un punto cualquiera de la curva

$$\text{Cota del P.I.} = \text{Cota del P.C.} + G_1 \frac{L}{2}$$

$$\text{Cota del P.I.} = \text{Cota del P.C.} + (G_1 + G_2) \frac{L}{2}$$

$$M = \left(\frac{G_2 - G_1}{8} \right) L$$

$$Y = \frac{4MX^2}{L^2} = X^2 \frac{(G_2 - G_1)}{2L}$$

$$S = G_1 - \left[X_o \frac{(G_1 - G_2)}{L} \right]$$

$$X_o = \frac{L G_1}{G_1 - G_2}$$

$$\text{Cota de } P_o = \text{Cota P. C.} - \frac{L G_1^2}{2 (G_2 - G_1)}$$

Y

X = Distancia horizontal de P, desde PC o PT, en estacas

S = Pendiente de la tang. en P en %

Po = Es el más alto o más bajo punto de la curva

Xo = Distancia horizontal entre Po y el P.C.

Disminución de la pendiente en las curvas

En la planta de una carretera, el elemento que controla la velocidad es el radio de la curva, y también en perfil, la pendiente en todo momento está controlando la velocidad. En las curvas con pendientes se superponen estos dos parámetros de control, dificultando la maniobrabilidad y fluidez del tránsito de los vehículos, especialmente en las curvas de vuelta cerradas.

La forma de compensar esta superposición de obstáculos es disminuyendo la pendiente en las curvas y en el tramo recto contiguo, con el objeto de que los vehículos tengan la oportunidad de retornar a sus condiciones iniciales que prevalecían antes de tomar la curva.

Las reglas que se dan al respecto se pueden reducir a dos enunciados que son los siguientes:

- 1ra. Cuando los radios de curva son inferiores a 150 m, se suele disminuir la pendiente de la curva en 0.5% por cada 15 m. que el radio baje de 150 m.
- 2da. Para radios menores de 100 m, la pendiente en la curva no debe exceder del

5%.

Además la fórmula que regula la disminución de la pendiente en curvas es la siguiente:

$$C = \frac{38i}{R}$$

- C**= Reducción de la pendiente (en tanto por ciento)
i = Pendiente (en tanto por ciento)
R= Radio de la curva (en metros)

6.13 Coordinación entre el trazo en planta y el trazo en elevación

El trazo geométrico de una carretera, resulta de la combinación armoniosa de las características de su planta y de su perfil, si se analiza independientemente cada características es posible que se cumpla con los requisitos obligados por las normas, pero si se combinan, por ejemplo, los análisis de visibilidad es posible que se tenga que hacer algunas modificaciones para que ésta se cumpla en la planta y en el perfil conjuntamente.

Para obtener esta combinación armoniosa y eficaz de acuerdo a las normas establecidas, y con el objeto de tener soluciones que se adecuen al terreno y a consideraciones de menos costo y mayor seguridad se debe observar las siguientes reglas:

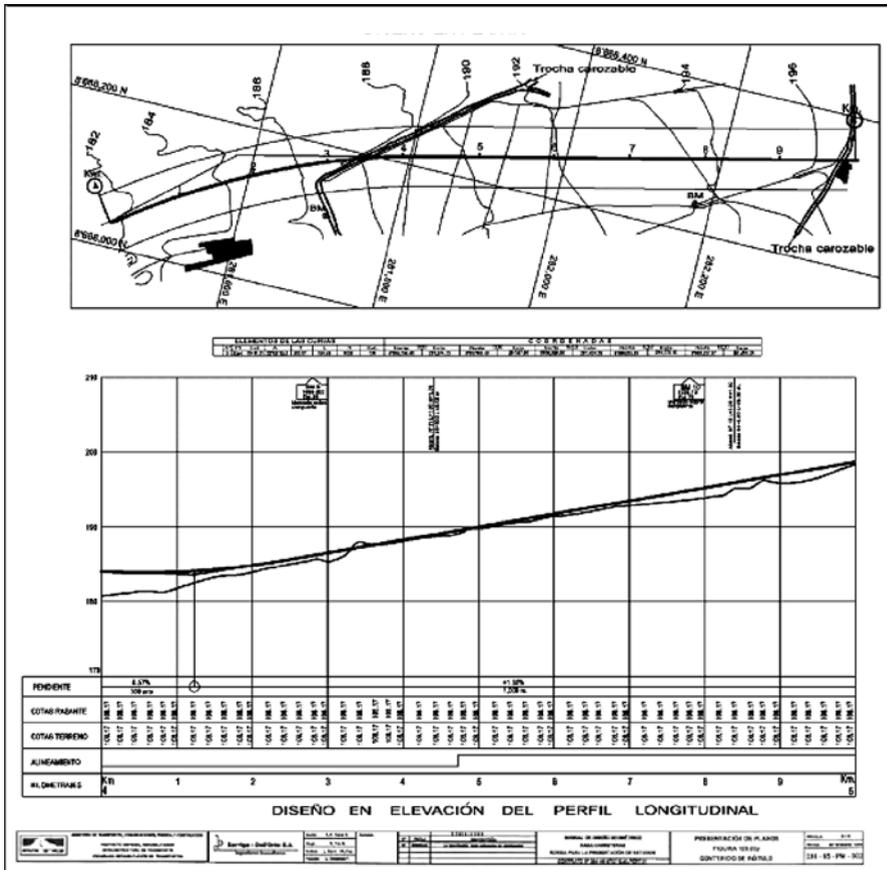
- Las características geométricas deben ser uniformes evitándose variaciones bruscas, tanto de radios como de pendientes, lo que favorece la fluidez del tránsito y evita cambios bruscos en la velocidad directriz.
- Debe evitarse colocar curvas horizontales en los puntos altos o bajos del perfil longitudinal.
- Deben evitarse hasta donde sea posible las tangentes largas con puntos altos y bajos (tobogán).
- El trazado en conjunto deberá armonizar con el paisaje o en todo caso deberá perturbar lo menos posible.
- Evitar cruces de carreteras en curvas horizontales o verticales y en todo caso estudiar muy bien la visibilidad para las maniobras de salida y entrada de la carretera.

6.14 Planos básicos del proyecto

Los planos básicos de diseño del proyecto son de diseño en planta - diseño en elevación del perfil longitudinal (figura 6.13.1) y el plano de secciones transversales (figura 6.13.2).

El plano de planta contiene la topografía del terreno donde se ubica el proyecto, mostrando todos los elementos existentes y las curvas de nivel y cotas de elevación posibles incluyendo las referencias de instalaciones existentes.

Esta planta llevará también cuando menos el diseño del eje proyectado de la carretera, así como los límites del derecho de vía definido por la autoridad competente.



6.15 Replanteo de una curva circular con PI accesible

Fórmulas:

- Longitud de la curva : $L = \pi \cdot \delta \cdot R / 180$
 δ : en grados
- Tangente : $T = R \cdot \tan (\delta / 2)$
- Externa : $E = R \cdot (\sec (\delta / 2) - 1)$
- Angulo ϕ : Es el ángulo central medido desde PC (ó PT) hasta la posición de la estaca.
- Angulo ϕ : $\phi = 180 \cdot \text{distancia} / (\pi \cdot R)$.
- Distancia : Es la segunda columna del cuadro, esto es, la longitud acumulada de la cuerda.
- Cuerda : Es medida entre dos estacas consecutivas.
- Abscisa : $X = R \cdot \sin (\phi)$
- Ordenada : $Y = R \cdot (1 - \cos (\phi))$
- Angulo α : $\alpha = \phi / 2$

Ejemplo:

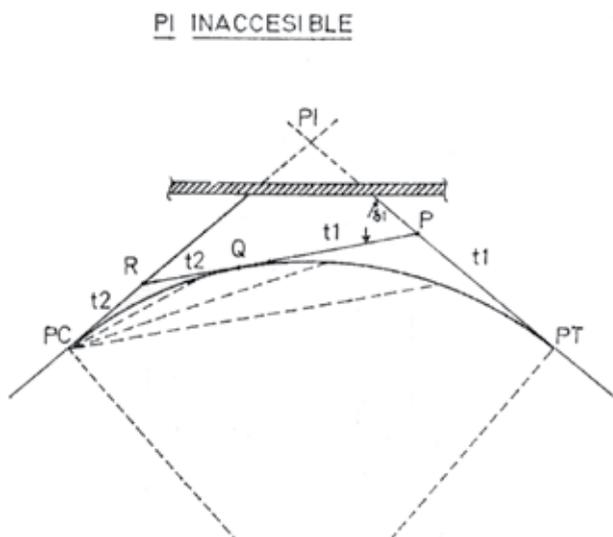
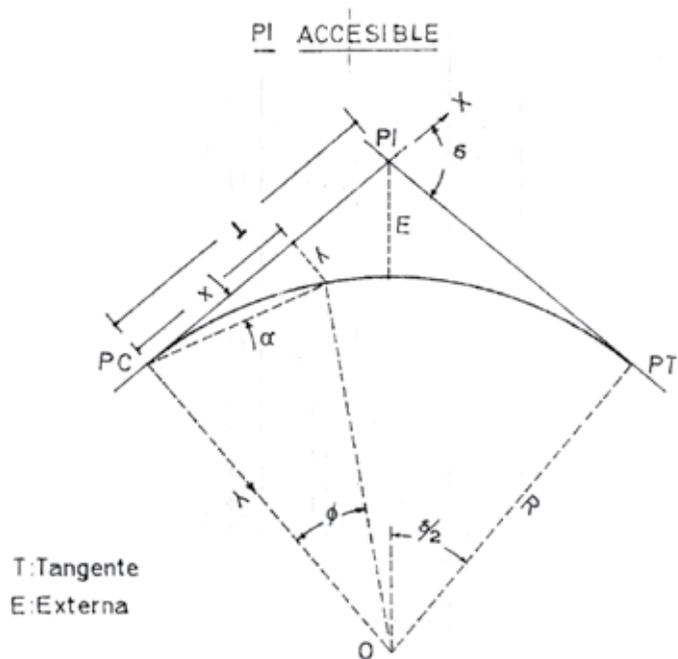
Teniendo como datos:

$$R = 147 \text{ m}$$

$$\delta = 60^\circ$$

Cálculos

Longitud de la curva	L	153.94
Tangente	T	84.87
Externa	E	22.74
Angulo central	ϕ	0.39.dis



Capítulo 7

IMPACTO AMBIENTAL



IMPACTO AMBIENTAL

7.1 Preservación del ambiente y mitigación del impacto causado por los trabajos de obras viales en carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito

7.1.1 Introducción

Este capítulo comprende los trabajos que deben efectuarse y las previsiones tenerse en cuenta durante el proceso de elaboración del diseño definitivo de los proyectos viales para carreteras de bajo volumen de tránsito, según correspondan en razón de la magnitud y naturaleza de los trabajos a realizarse.

7.1.2 Objetivos

El objetivo del presente capítulo es recomendar medidas de protección, prevención, atenuación, restauración y compensación de los efectos perjudiciales o dañinos que pudieran resultar del proyecto y que deban ser considerados necesariamente durante la elaboración del diseño definitivo y medidas que maximicen los impactos socio ambientales positivos de este.

Estas medidas se plasmarán posteriormente en el Plan de Manejo Ambiental, que es el documento técnico encargado de hacer cumplir las medidas propuestas durante las etapas del proyecto (preliminar, constructiva, operación y cierre). Los constructores y supervisores de obra, serán los encargados directos del cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental.

7.2 Las siguientes actividades preliminares deben estar consideradas en el programa del estudio de las obras por ejecutar según corresponda al tamaño y naturaleza de cada proyecto específico.

7.2.1 Identificación de las condiciones de base

Es importante identificar los factores socio ambientales relevantes del área de influencia directa de las obras en la franja del proyecto, considerando el ambiente no solo como fuente de insumos, sino como receptor de los posibles impactos negativos de este.

Se debe identificar:

- Cursos de agua superficial y subterránea.
- Sistema actual de drenaje de las aguas de escorrentía y de zonas y cursos dinámicos que podrían afectar el proyecto para proponer el diseño de las obras de mitigación y/o, de ser posible, el mejoramiento del sistema.
- Afectación que podría sufrir el sistema de riego y las áreas agrícolas, boscosas o naturales, para plantear las obras de mitigación o de mejoramiento, si fuera necesario.
- Zonas afectadas por erosión por agua, viento o por problemas de inestabilidad diversas.
- Historial de procesos geodinámicos como deslizamientos, huacos, caídas de rocas, etc.
- Terrenos húmedos con problemas de drenaje que requieren de soluciones inmediatas.
- Áreas sensibles, zonas naturales por preservar, tales como: ríos, quebradas, humedales, nevados, lagunas, bosques, santuarios para animales y otros.
- Áreas naturales protegidas, establecidas por ley.
- Zonas arqueológicas, culturales o históricas, declaradas como patrimonio cultural de la nación.
- Recursos eco-turísticos conformados por los cursos de ríos, riqueza de flora y fauna silvestre, paisajes y otros.
- Sistemas ecológicos, flora y fauna, necesidades de medidas para mitigar efectos barrera y borde.
- Ambientes rurales y urbanos.
- Áreas agrícolas y de pastoreo.
- Comunidades campesinas o nativas.
- Características socio culturales y socio económicas de las poblaciones, etc.
- Marco legal e institucional.

7.2.2 Programación de acciones sociales con la comunidad

Es importante mantener relaciones sociales armónicas con las poblaciones susceptibles de verse afectadas por las obras de proyecto vial, de manera que se eviten los conflictos sociales y se aproveche en cambio el conocimiento que estas poblaciones poseen de su medio.

Se debe considerar lo siguiente:

- Cumplir con los procesos de consulta previa y participación ciudadana desde el inicio del diseño definitivo del proyecto.
- Identificar plenamente a los actores sociales involucrados en el proyecto.
- Diseñar medidas que minimicen el impacto social negativo y maximicen el positivo.
- Mantener canales de comunicación que mantengan informada a la población y retroalimenten a los proyectistas con información útil para el diseño.
- Diseñar un plan de relaciones sociales entre la constructora y la comunidad local.

7.2.3 Utilización de recursos de la zona del proyecto

- Evaluación de la existencia de canteras de materiales de préstamo, su volumen, calidad y disponibilidad en la zona del proyecto.
- Evaluación de fuentes de agua, su volumen, calidad y disponibilidad en la zona del proyecto.
- Evaluación de la disponibilidad de la mano de obra local, calificada y no calificada.
- Evaluación de la existencia de especies nativas para revegetar las áreas afectadas por el proyecto.
- Evaluación de la disponibilidad de áreas para instalación de campamentos, patios de máquinas, plantas de áridos, asfalto u hormigón, talleres, oficinas y otros en la zona del proyecto.
- Evaluación de la posibilidad de retiro selectivo de la capa superficial de suelo para su uso en las revegetaciones previstas en la restauración ambiental.

7.2.4 Señalización del derecho de vía

- Identificación del Derecho de Vía.
- Marcado del Derecho de Vía requerido para el proyecto.

7.2.5 Identificación de infraestructura y predios a ser afectados por el proyecto.

- Identificación de viviendas, almacenes, depósitos u otras edificaciones a ser afectadas total o parcialmente por las obras del proyecto para las que se aplicará el Programa de Adquisición de Áreas por Trato Directo (Ley 27628); Expropiaciones (Ley 27117) o de Reasentamiento Poblacional, según corresponda.
- Identificación de predios agrícolas, ganaderos, mineros y otros que serán afectados parcial o totalmente por las obras del proyecto, para los que se aplicará el Programa de Compensación Económica.

7.3 Actividades del proyecto que deben ser consideradas en el programa del estudio de las obras por ejecutar, según corresponda al tamaño y naturaleza de cada proyecto específico

7.3.1 Canteras de materiales

Deberá considerarse lo siguiente:

- Ubicación y distancia a la obra, evitar ubicarla en Áreas Naturales Protegidas, zonas arqueológicas o de importancia histórica, sitios que alberguen fauna o flora con categorización de especies amenazadas, áreas social o ambientalmente sensibles o cercana a centros poblados.
- Tipo de cantera: banco de materiales, zonas de préstamo lateral, área en colina, lecho de río, roca fija y otros.
- Características de los materiales en la cantera: calidad y potencia y su clasificación para aplicación a partidas de obra.
- Condiciones de propiedad y disponibilidad de la cantera.
- Condiciones de explotación:

- Nivel freático.
- Aguas de escorrentía.
- Accesos.
- Pendientes.
- Procedimientos de explotación:
 - Solo a mano.
 - Procedimientos mecánicos.
 - Tipo de transporte a utilizar.
 - Rendimiento probable de la explotación.
- Determinación de los puntos donde se ubicarán los carteles de señalización informativa y de protección ambiental.
- Plan de Manejo Ambiental para su explotación.
- Plan de Restauración Ambiental después de su uso.

7.3.2 Fuentes de agua

Deberá considerarse lo siguiente:

- Ubicación de fuentes de agua y distancias a la obra.
- Tipo de fuente.
- Calidad de agua.
- Cantidad estimada.
- Disponibilidad.
- Variación estacional.
- Plan de Manejo Ambiental para su utilización.
- Plan de Restauración Ambiental después de su uso.

7.3.3 Estabilización y tratamiento de taludes

Uno de los mayores impactos que generan las obras viales es el deterioro de los suelos y el ambiente por la desestabilización de taludes de corte y de relleno.

Para prevenir o mitigar este impacto, los proyectos deben incluir los siguientes aspectos:

- Identificación de taludes que serán afectados.
- Estudio geotécnico y de drenaje de los taludes susceptibles de desestabilización.
- Diseño del proyecto de ingeniería destinado a prevenir el riesgo y mejorar en lo posible las características paisajistas de los taludes de corte y de relleno.
- Evitar en lo posible el uso de explosivos.
- Plan de Manejo Ambiental para su estabilización y tratamiento.
- Plan de Restauración Ambiental después de la obra.

7.3.4 Depósitos para materiales excedentes originados por la obra

Los aspectos concernientes a la disposición de depósitos para materiales excedentes de obra, originado por los movimientos de tierra y residuos, reviste gran importancia y deben ser previamente planificado.

- Debe considerarse como mínimo, los siguientes aspectos:
- Evaluación previa del volumen de material que va generar la obra en sus diferentes etapas (preliminar, constructiva, y operación).
- Identificación de las probables áreas para depósitos de material excedente que cuenten con la autorización de la autoridad competente.
- Evitar ubicarlos en: Áreas naturales protegidas, zonas arqueológicas o de importancia histórica, sitios que alberguen fauna o flora con categorización de especies amenazadas, áreas social o ambientalmente sensibles o cercanos a centros poblados, sitios con niveles freáticos cercanos a la superficie, en cursos de agua, bofedales, pantanos o sitios en los que por procesos naturales de arrastre los materiales puedan ser llevados a los cursos de agua cercanos.

- Ubicarlos en zonas que no alteren significativamente la fisonomía del lugar, que no interrumpan los cursos de agua, sobre suelos de bajo valor edafológico (Por ejemplos zonas, abandonadas de extracción de materiales).
- Previsión y programación de las etapas de generación de material excedente.
- Diseño de rutas de transporte que traslade el material excedente.
- Topografía del área prevista.
- Plan de Manejo Ambiental para el tratamiento de depósitos de material.
- Plan de Restauración Ambiental después de la obra.

7.3.5 Tratamiento de residuos líquidos originados por la obra

El objetivo de efectuar un tratamiento planificado de residuos líquidos que origine la obra, es evitar la contaminación de las corrientes de agua, superficiales ó subterráneas, mediante una disposición adecuada.

En tal sentido, debe considerarse los siguientes aspectos:

- Definición de las actividades que pueden producir contaminación de aguas.
- Determinación de las instalaciones que se dotarán para minimizar o eliminar la contaminación de aguas.
- Identificación de los lugares donde se instalarán estas instalaciones.
- Plan de Manejo Ambiental para el tratamiento de residuos líquidos.
- Plan de Restauración Ambiental después de la obra.

7.3.6 Tratamiento de residuos sólidos originados por la obra

El tratamiento planificado de residuos sólidos que genere la obra minimizará la contaminación del ambiente, evitará afectaciones a la salud y el deterioró del entorno paisajista.

En tal sentido, debe considerarse los siguientes aspectos:

- Determinación del tipo y volumen de residuos sólidos que va originar la obra.

- Identificación de los lugares de disposición inicial y final.
- Coordinación con la autoridad local para evaluar la implementación de un programa de reciclaje.
- Plan de Manejo Ambiental para el tratamiento de residuos sólidos.
- Plan de Restauración Ambiental después de la obra.

7.3.7 Campamentos y patios de maquinarias

Por lo general, las obras viales necesitan campamentos y patios de maquinarias, motivo por el cual hay que considerar medidas para prevenir o reducir los impactos ambientales que puedan producirse durante el funcionamiento de éstas instalaciones.

Por lo expuesto, debe considerarse los siguientes aspectos:

- Evaluación de las zonas donde se ubicarán los campamentos y patios de maquinarias, preferentemente en áreas libres, de escasa cobertura vegetal y de topografía plana para evitar excesivos movimientos de tierra.
- Estas instalaciones no deben interferir el uso del agua de poblaciones cercanas, sobre todo de fuentes de captación susceptibles de agotarse o contaminarse.
- Deberá preverse la instalación de servicios básicos de saneamiento, en un lugar seleccionado que no afecte a los cuerpos de agua.
- El campamento no deberá localizarse en zonas cercanas a corrientes de agua para evitar escurrimientos de residuos líquidos que puedan afectar la calidad de agua.
- Para la instalación de patios de maquinarias debe preverse sistemas de manejo y disposición de grasa y aceites.
- Plan de Manejo Ambiental para la instalación de campamentos y patios de maquinarias.
- Plan de Restauración Ambiental después de la obra.

7.3.8 Plantas de áridos, asfaltos y hormigones

Se debe tener especial cuidado en la ubicación de estas instalaciones. Éstos nunca deben estar en los siguientes lugares:

- Áreas naturales protegidas, áreas especialmente sensibles o en las que existan especies de flora o fauna protegidas por ley.
- Zonas arqueológicas o de importancia histórica.
- En las cercanías a centros poblados, con el objetivo de evitar conflictos sociales e impactos a la salud de la población.
- En los lugares de captación de agua para consumo humano, con existencia de cauces de agua cercanos o con nivel freático elevado.
- Zonas inundables, susceptibles a procesos erosivos o con peligros de derrumbes

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Ubicar plantas en sitios planos y sin cobertura vegetal, con barreras naturales o en su defecto formar una barrera visual y acústica alrededor de la planta.
- Colocar equipos de control ambiental en las plantas de producción de materiales, que eviten la emisión de material particulado y gases tóxicos.
- Diseñar sistema de captación y tratamiento de los efluentes líquidos, para evitar la contaminación de aguas superficiales o subterráneas.
- Debe preverse sistemas de manejo y disposición de grasa y aceites.
- Debe evitarse abrir nuevos caminos de acceso, es preferible utilizar los existentes.
- Plan de Manejo Ambiental para la instalación, funcionamiento y desmovilización de estas plantas.
- Plan de Restauración Ambiental después de la obra.

7.3.9 Monitoreo ambiental

Con la finalidad de lograr la conservación y uso sostenible de los recursos naturales y el ambiente durante las diferentes etapas del proyecto, deberá implementarse un programa de monitoreo ambiental para controlar en el medio físico la calidad de agua, aire y suelos, en el medio biótico, las zonas naturales y ecológicas y en el medio de interés humano, las zonas arqueológicas y culturales.

En este contexto, en la fase preliminar del estudio debe evaluarse los siguientes aspectos:

- Ubicación de los puntos para el monitoreo de calidad de agua, generalmente donde se ubica la fuente principal de agua, el cruce de un río principal y el cruce de una quebrada tributaria importante.
- Ubicación de los puntos para el monitoreo de calidad de aire, generalmente donde se va ejecutar el mayor movimiento de tierras y donde se va concentrar el mayor número de maquinarias que originará emanación de gases y ruidos sonoros.
- Ubicación de los puntos para el monitoreo de calidad de suelo, por lo general las zonas de mayor erosión y desestabilización.
- Ubicación de los puntos para el monitoreo biótico en las zonas de mayor cobertura vegetal y presencia ecológica.
- Ubicación de los puntos para el monitoreo de interés humano, en las zonas arqueológicas o culturales.

7.3.10 Costos de mitigación

Todos los trabajos de prevención, corrección, mitigación, restauración y monitoreo ambiental que resulten necesarias para conservar el medio ambiente, deberán formar parte del proyecto y consecuentemente su presupuesto de ejecución, estará incluido en el presupuesto de obra a ejecutarse.

Estos costos ambientales se detallarán en el Plan de Manejo Ambiental, en el programa de inversiones específicamente y serán sustentados con sus respectivos metrados y análisis de precios unitarios.

SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EN LOS TALLERES GRÁFICOS DE

TAREA ASOCIACIÓN GRÁFICA EDUCATIVA

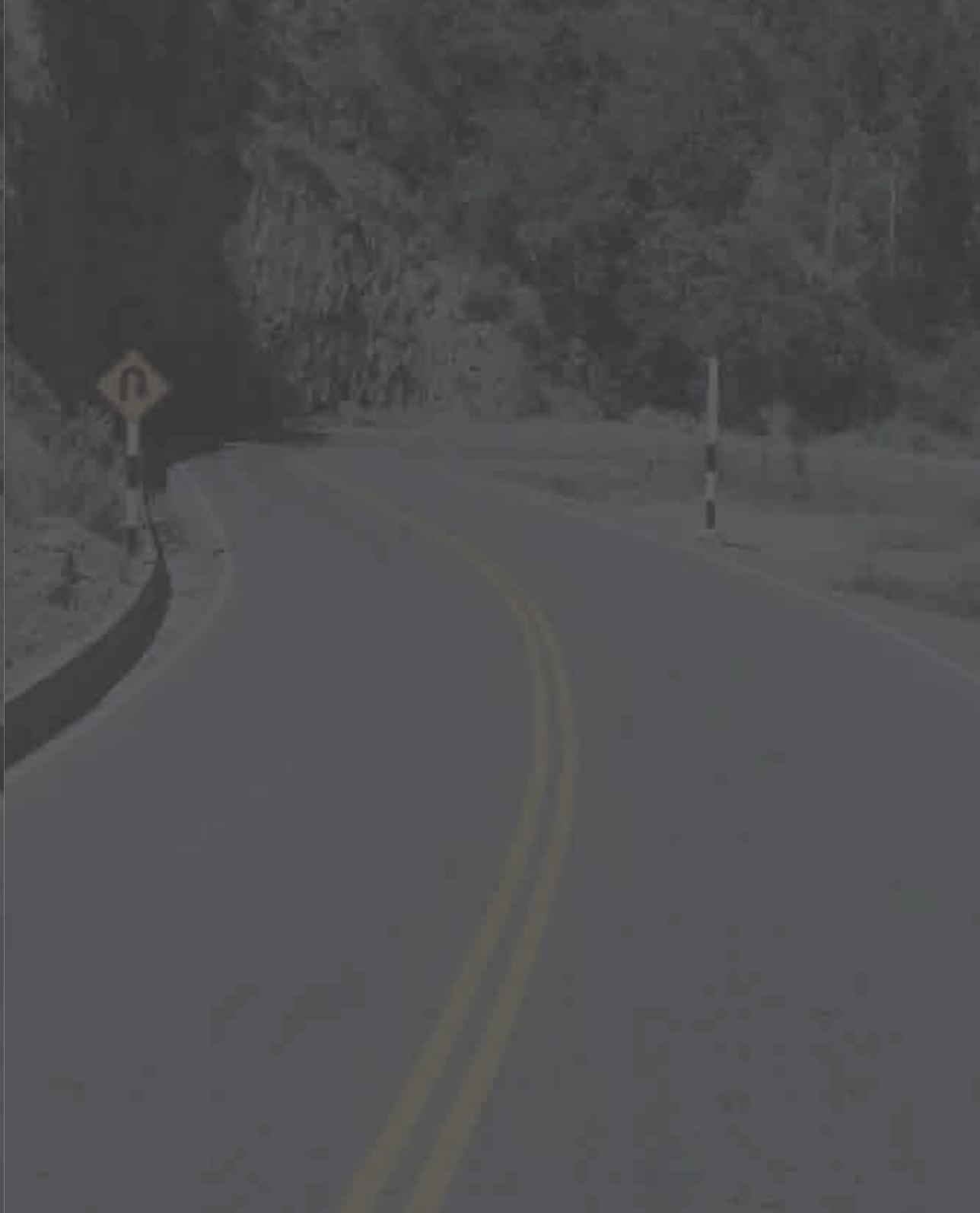
PASAJE MARÍA AUXILIADORA 156 - BREÑA

CORREO E.: TAREAGRAFICA@TERRA.COM.PE

TELÉF. 332-3229 FAX: 424-1582

MARZO 2008

LIMA - PERÚ



Plan Binacional de Desarrollo
de la Región Fronteriza Perú-Ecuador
CAPÍTULO PERÚ

