



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS DE MAESTRÍA

“MANUAL DE PRÁCTICAS RECOMENDABLES
EN LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS
PARA CAMINOS RURALES”

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. CONRADO OCHOA VÁZQUEZ

ASESOR:
DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

MORELIA MICHOACÁN, MAYO DEL 2008.



ÍNDICE

Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Lista de figuras	7
Lista de tablas	10
Lista de fotos	11
Glosario de términos	13
INTRODUCCIÓN	34
OBJETIVOS	37
Capítulo 1	
CAMINOS RURALES	
1.1.- Definición de camino rural	38
1.2.- Importancia de los caminos rurales	39
1.3.- Clasificación de caminos	41
Capítulo 2	
ETAPAS DEL PROYECTO DE CAMINOS	
2.1.- Planeación	45
2.2.- Proyecto	47
2.3.- Análisis hidrológico	48
2.4.- Diseño de obras de drenaje	50
2.5.- Estudio geotécnico y de bancos de materiales	51
2.6.- Diseño de pavimentos	53
2.7.- Análisis de costos	54

Capítulo 3**HERRAMIENTAS APLICABLES AL PROYECTO DE CAMINOS**

3.1.- Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	55
3.2.- Google Earth	60
3.3.- Auto CAD y herramientas mejoradas	63
3.4.- Programa DISPAV-5 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.	67
3.5.- Neodata.	69

Capítulo 4**MANUAL DE PRÁCTICAS RECOMENDABLES PARA CAMINOS**

4.1.- Planeación	71
Prácticas recomendables	71
4.2.- Proyecto geométrico	74
4.2.1 Elementos básicos del proyecto geométrico	74
4.2.2 Elección de ruta	78
4.2.3 Alineamiento horizontal	79
4.2.4 Alineamiento vertical	82
4.2.5 Secciones transversales	85
4.2.6 Proyecto de la subrasante y movimiento de tierras	86
4.2.7 Prácticas recomendables	98
4.3.- Hidrología	100
Prácticas recomendables	103
4.4.- Drenaje	111
4.4.1 Prácticas recomendables para drenaje superficial	114
4.4.2 Prácticas recomendables para el control de entradas y salidas	120
4.4.3 Prácticas recomendables para el cruce de arroyos naturales	124
4.4.4 Prácticas recomendables para cruce de zonas inundadas	130
4.4.5 Prácticas recomendables para aliviar cunetas	135
4.4.6 Prácticas recomendables para alcantarillas transversales	136
4.4.7 Prácticas recomendables para puentes	142
4.4.8 Prácticas recomendables para evitar la socavación	148

	Índice
4.5.- Estabilidad de taludes	150
Prácticas recomendables	154
4.6.- Bancos de materiales	157
Prácticas recomendables	158
4.7.- Diseño de pavimento	160
Prácticas recomendables	167
4.8.- Análisis de costos	169
Prácticas recomendables	169
Capítulo 5	
EJEMPLO DE APLICACIÓN	
5.1.- Planeación	172
5.2.- Proyecto geométrico	175
5.3.- Análisis hidrológico	179
5.4.- Diseño de obras de drenaje	182
5.5.- Estudio geotécnico	183
5.6.- Bancos de materiales	188
5.7.- Diseño de pavimento	189
5.8.- Análisis de costos	197
CONCLUSIONES	200
BIBLIOGRAFÍA	203

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su amor y apoyo incondicional en todo momento para concluir todas mis metas.

A Laura y Ronaldo, por motivarme a superar todos los obstáculos que se presenten en el transcurrir de los años.

A mis hermanos, por todo el tiempo que hemos convivido juntos compartiendo nuestra fraternidad y por su gran respaldo sin condiciones.

A mis maestros, por todos sus consejos y valiosas aportaciones académicas recibidas dentro y fuera del salón de clases durante estos últimos años.

RESUMEN

Nuestro país está entrando a una etapa de cambio muy importante, en donde la competencia está presente en todas las áreas de desarrollo. No es difícil apreciar como todos los países desarrollados utilizan sistemas o tecnologías que brindan beneficios en muchos sentidos, ya sean económicos, sociales o en reducción de tiempos de ejecución.

Dadas las características del sistema de gobierno en nuestra entidad federativa, hacen que el otorgamiento de recursos económicos a los H. Ayuntamientos Municipales estén regidos por sus necesidades sociales y capacidades técnicas para poder planear y ejecutar obras de infraestructura.

Esta tesis trata de abordar todos los aspectos relacionados con la elaboración de proyectos para caminos rurales de una forma sencilla y práctica, utilizando herramientas eficientes, que ayudan a mejorar el sistema actual empleado por los gobiernos municipales en lo relacionado a obtención de recursos económicos por parte del estado o la federación, contribuyendo a una mejor planeación y por consiguiente a una mejor aplicación de recursos en los caminos rurales.

Los temas fundamentales que se tratan en este trabajo son: la planeación, el proyecto geométrico, la hidrología, el drenaje, la estabilidad de taludes, los bancos de materiales, el diseño de pavimentos y el análisis de costos. En cada uno de los temas anteriores se presenta una serie de recomendaciones que tiene la finalidad de facilitar la elaboración de proyectos para caminos rurales.

ABSTRACT

Our Country is entering to a stage of very important change, where the competition is present in all the development areas. It is not difficult to appreciate how the developed countries use systems or technologies that offer benefits in many ways. (economic, social or in reduction of run-times).

Given the properties of control systems in our federative entity, grant of economic resources to the city councils are ruled by their social requirements and technical capabilities to be able to plan and to run infrastructure works.

This thesis tries to approach all the aspects related with the elaboration of projects for rural roads in a plain and practical way, using efficient tools, improving the current system used by the municipal governments related to obtain economic resources from the state or the federation, contributing to a better planning and consequently to a better application of resources in the rural roads.

The fundamental topics in this thesis are: the planning, the geometric project, the hydrology, the drainage, the slope stability, the materials banks, the pavement design and the cost analysis. In each one of the previous topics, recommendations are suggested whit the purpose of facilitating the elaboration of projects for rural roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura I. Términos usados para definir caminos rurales.	13
Figura II. Componentes de una alcantarilla.	14
Figura III. Cruce natural de drenaje con una alcantarilla.	15
Figura IV. Esquemización de los componentes de un camino.	17
Figura V. Medidas biotécnicas de control de erosión – muros con estacas vivas.	19
Figura VI. Canalizadores de escurrimientos superficiales.	21
Figura VII. Vado acorazado por encima de un relleno de baja altura para evitar el desvío del arroyo.	24
Figura VIII. Empleo de vegetación, materiales forestales y roca para el control de la erosión.	29
Figura IX. Vado con alcantarilla mejorado.	32
Figura 1.3.1 Clasificación de los caminos de acuerdo a su tipo.	43
Figura 1.3.2 Clasificación de los caminos de acuerdo a su jurisdicción.	44
Figura 2.1.1 Diagrama de flujo de la planeación de caminos.	46
Figura 2.2.1 Ciclo de un proyecto.	47
Figura 4.2.3.1 Elementos de una curva circular simple.	80
Figura 4.2.4.1 Elementos de una curva vertical en “cresta”.	83
Figura 4.2.5.1 Tipos de secciones transversales en un camino.	85
Figura 4.2.6.1 Método gráfico para determinar áreas.	86
Figura 4.2.6.2 Secciones transversales mixtas.	89
Figura 4.2.6.3 Secciones transversales mixtas irregulares.	89
Figura 4.2.6.4 Diagrama de masas.	92
Figura 4.2.6.5 Curva masa con formas irregulares.	94
Figura 4.3.1 Curvas típicas de frecuencia de intensidad – duración.	106

Figura 4.3.2	Tamaño de los fragmentos de piedra, para resistir el desplazamiento bajo diversas velocidades del flujo de agua y de la pendiente de los taludes.	110
Figura 4.4.1	Opciones típicas para drenaje de la superficie del camino.	111
Figura 4.4.1.1	Drenajes transversales con alcantarillas.	117
Figura 4.4.1.2	Construcción de un caballete.	117
Figura 4.4.1.3	Tipos de estructura de bocas de caída con drenes transversales de alcantarilla.	119
Figura 4.4.1.4	Detalle de la protección de salida de una alcantarilla.	119
Figura 4.4.2.1	Comparativa de cruces de arroyo.	122
Figura 4.4.2.2	Protección de un vado de desbordamiento en un cruce en terraplén de un arroyo.	123
Figura 4.4.2.3	Vado acorazado por encima de un relleno de baja altura para evitar el desvío del arroyo.	123
Figura 4.4.2.4	Opciones estructurales para el cruce de arroyos naturales.	124
Figura 4.4.3.1	Opciones de cruce de una pradera inundada para avenidas altas periódicas.	128
Figura 4.4.3.2	Opciones de cruce de una pradera inundada para un flujo mínimo superficial.	128
Figura 4.4.3.3	Subdren típico para caminos usado para eliminar el agua subterránea.	129
Figura 4.4.4.1	Subdren típico para caminos usado para eliminar el agua subterránea.	134
Figura 4.4.4.2	Subdren típico para caminos usado para eliminar el agua subterránea.	134
Figura 4.4.4.3	Instalación de alcantarillas a nivel del gradiente natural.	134
Figura 4.4.4.4	Relleno y compactación de una alcantarilla.	135
Figura 4.4.4.5	Opciones de rejilla en alcantarillas para evitar el taponamiento con escombros.	135
Figura 4.4.7.1	Aplicaciones típicas de geotextiles para caminos rurales.	147
Figura 4.5.1	Opciones de diseño para taludes de corte.	151

Figura 4.6.1	Buenas practicas para la explotación de pedreras a los lados del camino.	159
Figura 4.6.2	Ubicación ideal y secuencia de excavación.	159
Figura 4.7.1	Tipos de revestimientos usados comúnmente para superficies de caminos rurales.	160
Figura 5.2.1	Puntos tomados por el GPS y descargados al programa CivilCAD.	177
Figura 5.7.1	Pantalla de resultados obtenida directamente del programa Dispav-5.	191
Figura 5.7.2	Componentes de una pavimentadora.	193
Figura 5.7.3	Como afecta la velocidad de la pavimentadora al espesor de la mezcla.	193
Figura 5.7.4	Efectos de la alimentación de material en el espesor del pavimento.	194
Figura 5.7.5	Fases de la compactación en concreto asfáltico.	196

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.3.1	Clasificación de carreteras.	41
Tabla 1.3.2	Camino tipo "C o D".	42
Tabla 1.3.3	Camino tipo "E".	42
Tabla 3.2.1	Comparativa de las versiones de Google Earth.	61
Tabla 4.2.6.1	Factores aproximados de abundamiento para los cortes.	96
Tabla 4.2.6.2	Factores aproximados de reducción para los terraplenes.	97
Tabla 4.3.1	Métodos de análisis para diferentes tamaños de cuencas de captación.	104
Tabla 4.3.2	Método Racional valores de "C".	105
Tabla 4.4.1	Distancias máximas recomendadas entre drenes transversales empedrados o de alcantarilla.	113
Tabla 4.4.2	Separación recomendada ente caballetes desviadores.	113
Tabla 4.4.4.1	Dimensionamiento de la estructura de drenaje.	133
Tabla 4.5.1	Relaciones comunes de taludes estables, para diferentes condiciones de suelo/roca.	153
Tabla 5.7.1	Espesores de capa y valores relativos de soporte.	191
Tabla 5.8.1	Resumen aproximado de costos directos.	199

LISTA DE FOTOS

Foto 3.1.1	Navegador GPS ProMark™3 de Thales Navigation.	58
Foto 3.1.2	GPS de precisión Z-Max™ de Thales Navigation.	58
Foto 4.4.1.1	Estructuras de toma hechas de mampostería, concreto o metal para controlar el agua.	118
Foto 4.4.3.1	Cruce de praderas inundadas.	127
Foto 4.4.3.2	Enrocamiento de protección contra la socavación.	129
Foto 4.4.6.1	Enrocamiento de protección en estructura de concreto.	141
Foto 4.4.6.2	Desplante de cimentación del puente sobre roca sana.	142
Foto 4.4.7.1	Uso de geotextiles colocados encima de suelos finos para proporcionar una filtración adecuada a un subdren.	145
Foto 4.4.7.2	Geotextil en un talud, hecho con roca suelta que se usa para proporcionar filtración, permitir la infiltración y evitar el desplazamiento del suelo fino hacia la roca.	146
Foto 4.4.8.1	Enrocamiento de protección con respaldo de un filtro geotextil.	149
Foto 4.5.1	Talud de corte perfectamente estable, pendiente aproximada de 1:1 y protegido por vegetación.	150
Foto 4.5.2	Gaviones como estructuras de contención de baja altura tipo “de gravedad”.	154
Foto 5.1.1	Superficie de cultivo aledaña al camino.	173
Foto 5.2.1	Fotografía aérea donde se muestra el inicio del camino al Guayabo.	176
Foto 5.2.2	Fotografía aérea donde se muestra la localización de un banco de material sobre la playa de un río.	176
Foto 5.2.3	Fotografía aérea en la que se muestran los puntos registrados por el GPS en color amarillo.	177
Foto 5.2.4	Trazo del camino sobrepuesto en una fotografía aérea.	178
Foto 5.3.1	Cuenca de 101 ha., con escurrimiento localizado en el km. 4+820.	181
Foto 5.4.1	Cruce hidráulico en donde se aprecia la cantidad de escombros arrastrados hacia el camino.	182

Foto 5.5.1	Parte baja del camino con zonas de riego frecuentes a ambos lados.	183
Foto 5.5.2	Sondeo realizado en la zona con mayor espesor de revestimiento del camino.	184
Foto 5.5.3	Granulometría del material extraído del camino.	184
Foto 5.5.4	Debido a la naturaleza del material se procede a separar el material retenido en la malla de 3/8" con el uso de un mazo.	185
Foto 5.5.5	Material retenido en la malla # 4, posteriormente separado por lavado.	185
Foto 5.5.6	Procedimiento para conocer el límite líquido, en la copa de Casagrande.	186
Foto 5.5.6	Moldes rellenos de material tamizado por la malla # 40, después de ser sometidos al horno para conocer la contracción lineal y volumétrica.	186
Foto 5.5.7	Muestras de suelo en proceso de saturación.	187
Foto 5.5.8	Muestra de suelo sometida a penetración.	187
Foto 5.6.1	Banco de material localizado en la playa de un río.	188

GLOSARIO DE TÉRMINOS

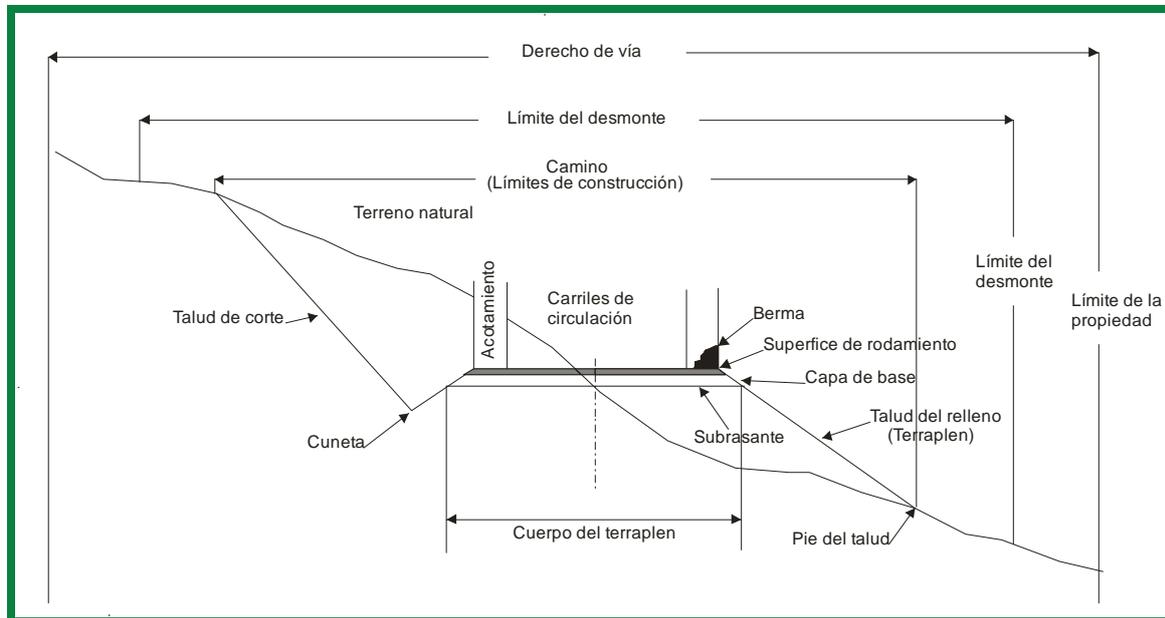


Figura I. Términos usados para definir caminos rurales (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Acotamiento.- Es una franja pavimentada o no pavimentada a lo largo del borde de los carriles de circulación del camino. Un acotamiento interior está junto al corte en talud. Un acotamiento exterior está junto al talud de un terraplén.

Alcantarilla. - Tubería de drenaje hecha generalmente de metal, concreto o plástico, e instalada por debajo de la superficie del camino, para desalojar el agua desde el interior del camino hasta el exterior del mismo, o por debajo del camino. Las alcantarillas se usan para drenar las cunetas, los manantiales y los arroyos que cruzan el camino. La cubeta es el piso o el fondo de la estructura en su punto de entrada.

Ancho del cuerpo del terraplén.- Es el ancho de la calzada recorrida por los vehículos incluidos los acotamientos, medido en la parte superior de la subrasante.

Ancho total del camino (Límites de construcción o Ancho de formación).- Ancho horizontal total del terreno afectado por la construcción del camino, desde la parte superior del corte en talud hasta el pie del relleno o de la zona con pendientes uniformes.

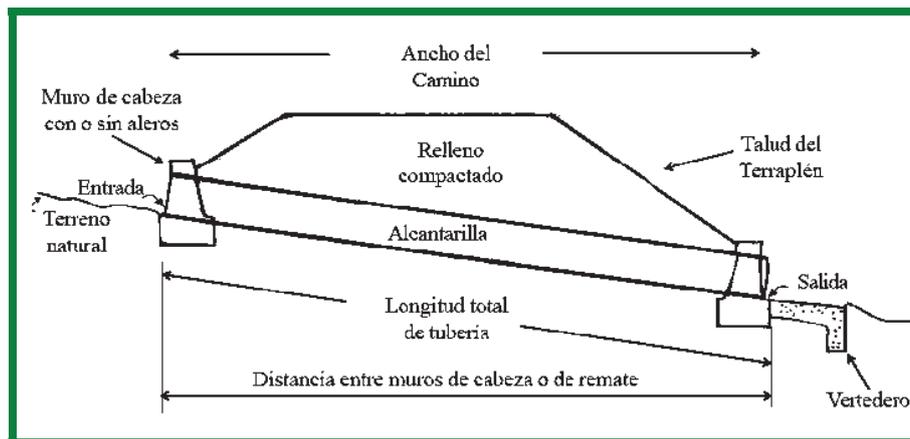


Figura II. Componentes de una alcantarilla (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Ángulo de reposo.- El talud o ángulo máximo que puede adoptar un material granular, tal como roca suelta o suelo, y permanecer estable.

Área amortiguadora.- Zona designada a lo largo de un arroyo o alrededor de un cuerpo de agua o de una zona con ancho suficiente como para minimizar la entrada de sustancias químicas forestales, sedimentos u otro tipo de contaminantes en el cuerpo de agua o para proteger la zona.

Arrastre de fondo.- Sedimentos u otro tipo de materiales que deslizan, giran o rebotan a lo largo del fondo del cauce o del canal debido al movimiento del agua.

Arroyo perenne.- Arroyo que normalmente tiene agua corriente durante todo el año.

Banco de préstamo (Sitio de préstamo).- Zona en la que se ejecutan excavaciones para producir materiales para obras térreas, tales como material de relleno para terraplenes. Generalmente es una zona pequeña que se usa para explotar arena, grava, roca o suelo sin ningún procesamiento posterior.

Barrera contra azolves.- Barrera temporal usada para interceptar los escurrimientos cargados de azolve que bajan por los taludes. Está hecha generalmente de materiales geotextiles porosos.

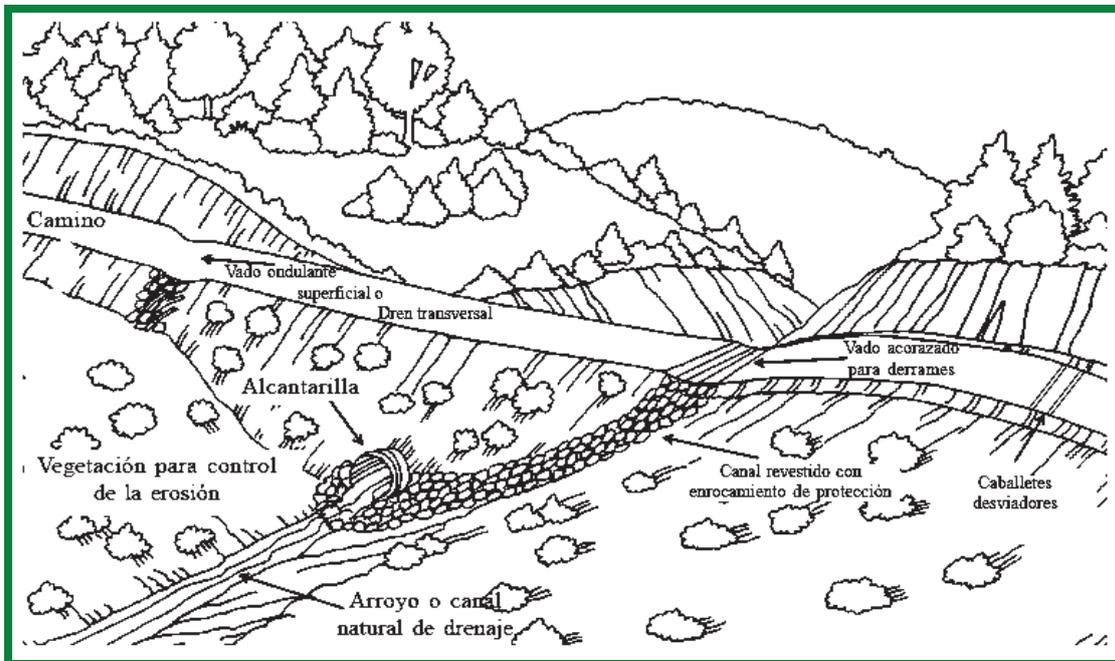


Figura III. Cruce natural de drenaje con una alcantarilla (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Barrera de maleza.- Estructura para el control de sedimentos formada por vegetación del tipo maleza o por desperdicio vegetal apilado al pie de un talud de relleno, siguiendo el contorno de un talud, a lo largo de un camino, o a la salida de alcantarillas, de cunetas de desalajo, de drenes empedrados o de caballetes desviadores para atrapar los sedimentos.

Base.- Son materiales granulares, que se colocan normalmente sobre la subbase o la subrasante, para formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica o para una carpeta de concreto hidráulico. Ésta es la capa principal de transmisión de cargas en los carriles de circulación. El material de la capa de base está constituido normalmente por piedra triturada, o grava, o suelos con grava, roca intemperizada, arenas y arcillas arenosas estabilizadas con cemento, cal o asfalto. Sus principales

características están detalladas en la norma N-CMT-4-02-002/04 y CMT-4-02-003/04 del Instituto Mexicano del Transporte.

Berma.- Camellón de roca, suelo o asfalto generalmente a lo largo del borde exterior del acotamiento del camino, usado para controlar el agua superficial. Encauza el escurrimiento superficial a lugares específicos donde el agua se puede eliminar de la superficie de rodamiento sin producir erosión.

Boca de caída.- Cuenca de mampostería o de concreto, o pozo vertical a la entrada de una alcantarilla metálica, usualmente del mismo diámetro que el de la alcantarilla, y con frecuencia ranurado, para permitir que el agua fluya hacia la alcantarilla a medida que el nivel del agua asciende alrededor de la parte exterior. Con frecuencia se colocan las bocas de caída en alcantarillas de alivio de cunetas en donde los sedimentos o escombros podrían obturar la tubería. Una boca de caída también ayuda a controlar la elevación de la cuneta.

Bordo libre.- La altura adicional de una estructura por arriba del nivel de aguas máximo de diseño para evitar derrames y desbordamientos. Además, el bordo libre, en cualquier momento, es la distancia vertical entre el nivel del agua y la parte inferior de la cubierta, las vigas o la estructura de un puente.

Caballote desviador.- Dispositivo artificial de drenaje frecuentemente colocado a ciertas distancias entre sí, que se construye dejando montículos de suelo sobre la superficie del camino que interrumpen el flujo de agua y que desvían el agua fuera de la superficie de la calzada. Se puede circular sobre ellos con vehículos de rodada alta o podrán constituir un paso infranqueable.

Camino a través de corte.- Camino cortado a través del talud de una ladera o, más frecuentemente, de una loma, en la cual existe un corte en talud a ambos lados del camino.

Camino sobre terraplén.- A diferencia de un corte pasado, un relleno pasado es un segmento de camino formado por material de relleno, con taludes de terraplén a ambos lados de la calzada.

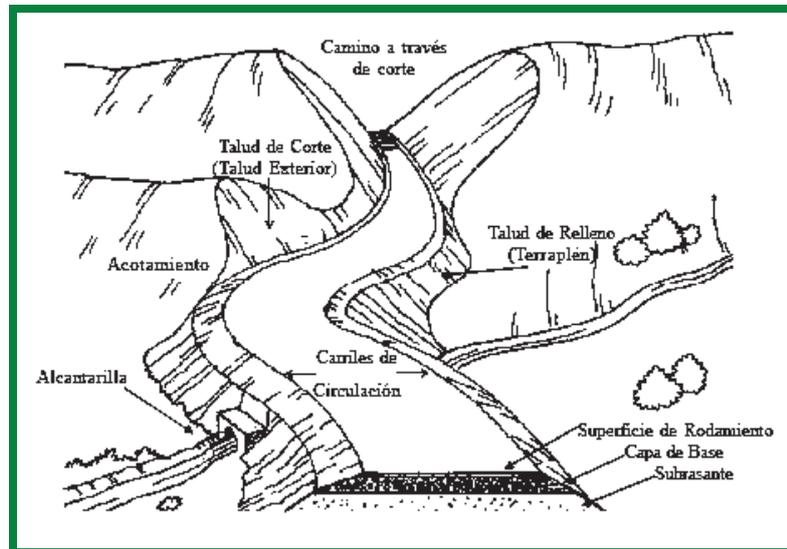


Figura IV. Esquemización de los componentes de un camino (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Cancelación del camino.- Una forma de cerrar el camino en la que se rellenan de nuevo las zonas excavadas, se retiran los rellenos y las estructuras de drenaje, se restauran los contornos a su condición natural, se reforesta el área, y a final de cuentas se intenta restaurar la configuración y la condición natural del terreno. De esta manera se eliminan los impactos ambientales más desfavorables producidos por el camino.

Capa de rodamiento (Superficie de rodamiento).- Es la capa superior de la superficie del camino sobre la cual circulan los vehículos. Deberá ser durable, podrá tener una alta resistencia al derrapamiento y, en general, deberá ser impermeable al agua superficial. Las superficies de rodamiento podrán ser construidas con el material local, agregados, capas selladoras o mezclas asfálticas.

Capa superficial (Revestimiento superficial).- Es la capa superior de la superficie del camino, llamada también superficie de rodamiento. Entre los materiales de

revestimiento usados para mejorar el confort del conductor, para proporcionar apoyo estructural y para impermeabilizar la superficie del camino a fin de usarse en la temporada de lluvias, está la roca, cantos rodados, agregados triturados y pavimentos, tales como tratamientos superficiales bituminosos y concretos asfálticos.

Capas de maleza.- La práctica biotécnica de excavar terrazas de poca altura en la superficie de un talud, colocar en capas cortes de la vegetación que volverán a crecer, y tapar (enterrar) los cortes con suelo. Los recortes se colocan en dirección perpendicular al contorno del talud.

Carriles de circulación (Calzada).- Parte del camino construida para la circulación de vehículos en movimiento, incluidos los carriles de tránsito y los apartaderos de paso (se excluyen los acotamientos).

Cierre del camino (Temporal).- Cierre del acceso vehicular a un camino mediante el uso de barricadas tales como puertas, barreras de troncos, montones de tierra, u otro tipo de estructuras provisionales. El resultado final es la restricción en el uso del camino durante un cierto tiempo.

Control biotécnico de erosión.- Combinación de medidas de vegetación y estructurales empleadas para prevenir la erosión o para estabilizar taludes y márgenes de arroyos. Dentro del término “biotécnico” se describen varios métodos para colocar una cubierta vegetal al sembrar una combinación de plantas vivas, latentes y/o en descomposición en las márgenes y en las orillas de manera que actúen estructuralmente, o en combinación con enrocamiento de protección o con estructuras físicas tales como encofrados o gaviones.

Control de erosión.- Es la acción de disminuir o eliminar la erosión en progreso producida por el impacto de las gotas de lluvia, la formación de surcos, la formación de barrancas, el desmoronamiento de los bordos, y otros procesos superficiales.

Contrafuerte o machón.- Estructura diseñada para resistir empujes laterales. Generalmente se construye a base de enrocamiento de protección, gaviones o suelo drenado, para soportar el pie de un talud en una zona.

Coraza.- Rocas u otro tipo de material que se colocan en muros cabeceros, en suelos, o en cunetas para evitar que el agua erosione y socave o arrastre el suelo.

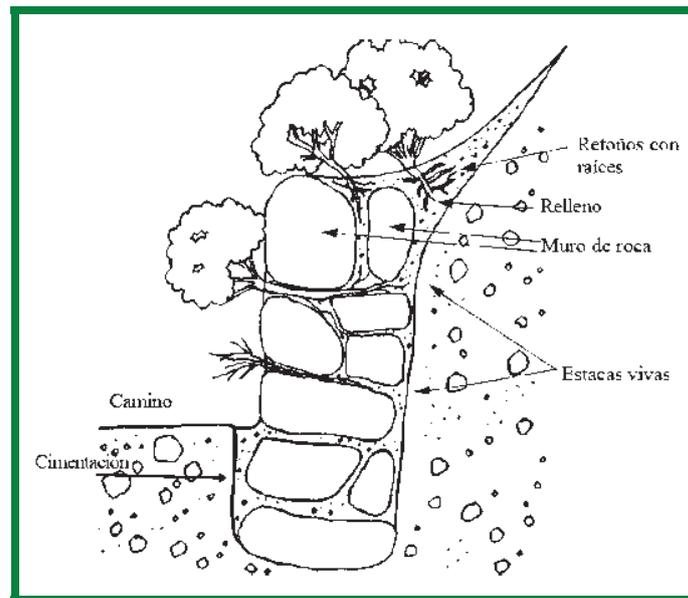


Figura V. Medidas biotécnicas de control de erosión – muros con estacas vivas (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Corona.- La corona o cresta de una superficie tiene la mayor elevación al centro de línea (convexa) y tiene taludes descendentes en ambos lados. La corona se usa para facilitar el drenaje del agua fuera de una amplia superficie del camino.

Corte en balcón y transporte al sitio final.- Método de construcción de caminos en el cual se construye el camino recortando todo el talud y acarreando todo el material sobrante (transporte longitudinal) hasta un tiradero fuera del sitio de la obra.

Corte y relleno.- Método para construir caminos en el cual la vialidad se construye al cortar en una ladera y extender los materiales excavados en lugares adyacentes bajos y como material compactado o a volteo para rellenos en talud a lo largo de la ruta. En

un “corte y relleno balanceado” se utiliza todo el material “cortado” para construir el “relleno”. En un diseño de corte y relleno balanceado no se tiene material sobrante en exceso y no hay necesidad de acarrear material de relleno adicional. Con esto se minimiza el costo.

Cubierta vegetal.- Material colocado o extendido sobre la superficie del terreno para protegerlo contra gotas de lluvia, formación de surcos o erosión en barrancas, y para retener la humedad a fin de promover el crecimiento de vegetación. Entre las cubiertas vegetales se incluye ramas de poda de árboles, pastos, troceados de madera, rocas, paja, fibra de madera y una gran variedad de otros materiales y esteras naturales y sintéticas.

Cubrimiento vegetal.- Colocación de una cubierta suelta sobre áreas expuestas del suelo, usando materiales tales como pasto, paja, corteza o fibras de madera, para ayudar a controlar la erosión y proteger el suelo expuesto.

Cuenca de captación.- Cuenca excavada o construida a la entrada del tubo de drenaje transversal de la alcantarilla, la cual se usa para almacenar agua y para dirigirla hacia el tubo de la alcantarilla.

Cuenca de captación de sedimentos.- Cuenca artificial diseñada para disminuir la velocidad del agua y para atrapar sedimentos a medida que se van depositando en el agua.

Cuneta (Dren lateral).- Canal o zanja poco profunda a lo largo del camino para coleccionar el agua del camino y del terreno vecino y transportarla hasta un punto adecuado para eliminarla. Generalmente se ubica a lo largo del borde interior del camino. Puede localizarse a lo largo del borde exterior o a lo largo de ambos lados del camino.

Dren de intercepción (Contracuneta).- Excavación o zanja de fondo plano ubicado por arriba de un talud del corte y que está diseñada para interceptar, captar y eliminar

el agua que escurre superficialmente antes de que pase sobre el talud del corte, cuyo objetivo es proteger el talud del corte y la calzada contra la erosión.

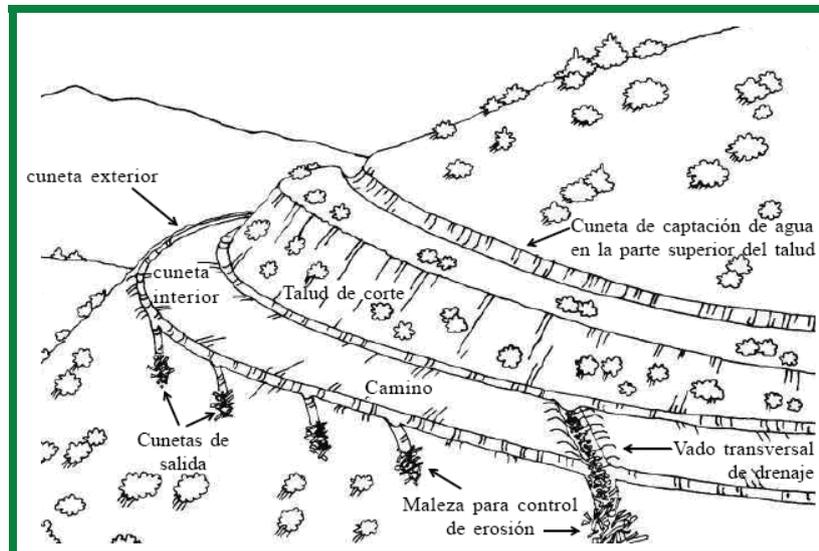


Figura VI. Canalizadores de escurrimientos superficiales (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Cunetas de salida (Desvíos, Cuneta exterior o Drenes de inglete).- Excavaciones diseñadas para desviar el agua fuera de la cuneta y de la calzada (en un punto donde esto no ocurra naturalmente) con el fin de disminuir el volumen y la velocidad del agua que escurre por las cunetas a lo largo del camino.

Curva de nivel.- Líneas dibujadas en un plano que conecta puntos con la misma elevación. Las curvas de nivel representan números pares y el intervalo de elevaciones debe seleccionarse de manera que sea congruente con el terreno, la escala y el uso previsto para el plano.

Derecho de vía.- Franja de terreno sobre la cual se construyen obras tales como caminos, vías de ferrocarril o líneas de energía eléctrica. Legalmente constituye una servidumbre que otorga el derecho de paso sobre el terreno de otra persona.

Eje del camino.- Línea imaginaria que corre longitudinalmente a lo largo del centro del camino.

Dren transversal.- Estructuras instaladas o construidas como pueden ser las alcantarillas y los drenes transversales empedrados, que conducen el agua de un lado del camino al lado contrario.

Desagüe de piedra en zanja (subdren).- Trinchera enterrada llena con agregado grueso y colocada generalmente en la línea de zanjas a lo largo del camino, que tiene la función de drenar el agua subterránea de una zona húmeda y de descargarla en un lugar seguro y estable. Para la construcción de estos desagües se podrá usar roca de diversos tamaños pero no cuentan con una tubería de drenaje en el fondo de la zanja.

Desmoronamiento.- Proceso en el cual el material grueso de la superficie del camino se suelta y se separa de la base del camino debido a falta de ligante o a una granulometría pobre del material. El término también se aplica a un talud en el cual la roca o el material grueso se aflojan y rueda por el talud del corte o del relleno.

Desperdicio maderero.- Todas las copas de árboles, ramas, corteza y productos forestales de desecho, ramas tiradas por el viento, u otros tipos de escombros dejados en el terreno como resultado del corte de madera o de otros productos forestales.

Enrocamiento de protección.- Fragmentos grandes y durables de roca bien graduada idealmente con superficies fracturadas, con tamaños adecuados para resistir la socavación o el movimiento por el agua, los cuales se colocan para evitar la erosión del suelo nativo en el sitio.

Entrada.- La abertura en una estructura de drenaje o en una tubería donde el agua ingresa por primera vez a la estructura.

Erosión.- Proceso mediante el cual la superficie del terreno es arrastrada y las partículas de suelo son desplazadas por la acción del viento o del agua en forma de gotas de lluvia, escurrimientos superficiales y oleaje.

Escarificación.- Acción de desgarramiento o de desmonte de la superficie del bosque o de un camino y de mezclado de esos materiales con un suelo mineral, generalmente mediante equipo mecánico, para aflojar el suelo, disminuir la compactación y preparar la zona para sembrar pastos o árboles.

Escombro.- Materia orgánica, rocas y sedimentos (hojas, maleza, madera, rocas, cascajo, etc.) con frecuencia entremezclados, que se considera indeseable (en un canal o en una estructura de drenaje).

Especies nativas.- Se encuentran o viven naturalmente en una cierta zona (nativas), como pueden ser las plantas nativas cultivadas localmente.

Espolón de arroyo (espigón).- En términos generales, dentellones de roca de baja altura que sobresalen de las márgenes de un arroyo extendiéndose hasta el canal del arroyo para reencauzar el flujo y alejarlo de una margen propensa a la erosión.

Estacas vivas.- Secciones de plantas leñosas que se cortan en tramos (estacas) y se colocan o se hincan en el talud. La materia vegetal se coloca durante el otoño o en la primavera cuando la planta original (y en consecuencia los cortes que se hagan de ella) está latente. La material vegetal usada para estacas es generalmente de las especies resistentes que enraizarán fácilmente a partir de las estacas y con el tiempo crecerán hasta convertirse en matorrales leñosos que refuerzan la estructura del suelo que recubre al talud.

Estructura de drenaje.- Estructura instalada para controlar, desviar o conducir el agua hacia fuera o a través de un camino, incluyendo pero no limitándose a alcantarillas, puentes, zanjas de drenaje, vados y drenes transversales empedrados.

Estructura de retención o de contención.- Estructura diseñada para resistir desplazamientos laterales del suelo, agua, u otro tipo de material. Se emplea comúnmente como apoyo de la calzada o para ganar anchura del camino en terrenos

escarpados. Con frecuencia se construyen usando gaviones, concreto reforzado, encofrados de madera o tierra estabilizada mecánicamente.

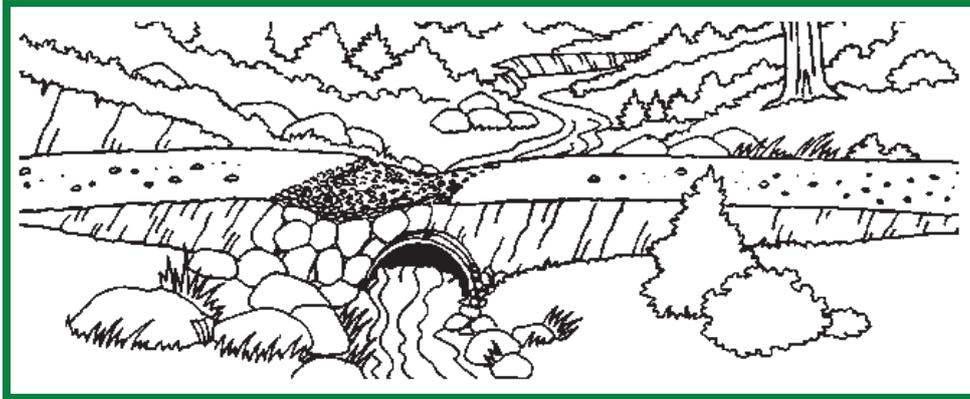


Figura VII. Vado acorazado por encima de un relleno de baja altura para evitar el desvío del arroyo (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Gaviones.- Jaulas (generalmente de alambre) empacadas con fragmentos de roca de entre 10 y 20 cm (o de fragmentos de concreto triturado) que se usan para la construcción de estructuras de control de la erosión, cimacios, protección de márgenes o estructuras de contención.

Geotextil (Tela de filtro).- Textil fabricado con fibras sintéticas de “plástico”, que generalmente no son biodegradables, para formar un producto semejante a un delantal. Los geotextiles pueden ser tejidos o no tejidos y pueden tener diferentes grados de porosidad, área abierta y propiedades de resistencia. Se usan como barreras contra la humedad, para separación o refuerzo de suelos, para filtración y para drenaje.

Hábitat.- El medio ambiente natural que forma el hogar de plantas y animales nativos. Por ejemplo, los márgenes de los ríos constituyen el hábitat para insectos que son la principal fuente de alimentación de muchos peces.

Impacto ambiental.- Acción o serie de acciones que tienen un efecto sobre el medio ambiente. Con una Evaluación de Impacto Ambiental se pueden predecir y evaluar

estos efectos, tanto positivos como negativos, y las conclusiones se usan como una herramienta para la planeación y para la toma de decisiones.

Juncos (Haz vivo).- Haces largos de maleza o de ramas cortadas amarrados entre sí en forma de estructuras alargadas, las cuales se entierran o se colocan como estacas siguiendo el contorno de un talud, de preferencia para que retoñen y formen una trampa para sedimentos o para desviar el flujo laminar que baja por el talud.

Llanura de inundación.- Zona a nivel o con ligera pendiente a cada lado del canal activo (principal) que se encuentra sumergido a veces durante niveles altos de agua o durante periodos de inundación. El limo y la arena se depositan y se acumulan en esta zona a lo largo del canal principal.

Medidas de control de erosión con vegetación.- Uso de cortes o estacas vivas, semillas, césped y trasplantes para generar vegetación (pasto, maleza, árboles) para el control de la erosión y para trabajos de protección de taludes.

Medidas físicas de control de la erosión.- Medidas que no son de origen vegetal usadas para controlar la erosión, tales como el blindaje del suelo con enrocamiento de protección, barreras contra azolves, esteras tejidas, gaviones, extendido o colocación de hileras de desperdicio vegetal de explotaciones forestales o de materiales leñosos, etc., así como para controlar el agua mediante estanques de sedimentación, cunetas de drenaje revestidas, etcétera.

Mejoramiento.- El proceso mediante el cual se mejora el estándar de un camino existente o se altera para permitir una mayor capacidad y un recorrido más seguro por parte de un mayor volumen de tránsito.

Mitigación.- La acción o elemento específico usado para disminuir o eliminar un impacto ambiental adverso.

Muro de cabeza o de remate.- Muro construido de concreto, gaviones, mampostería o troncos alrededor de la entrada o de la salida de una tubería o estructura de drenaje para aumentar la capacidad de flujo de entrada, reducir el riesgo de daños por escombros, retener el material de relleno y minimizar la socavación alrededor de la estructura.

Muros alero.- Estructuras de mampostería o de concreto construidas a los lados de los muros de cabeza a la entrada y a la salida una alcantarilla y que han sido diseñadas para retener el relleno de la calzada y para conducir el agua hacia la estructura de drenaje y fuera de ésta mientras que al mismo tiempo se protege el camino y el relleno contra la erosión.

Nivel de aguas máximas.- La línea sobre una margen o en la orilla establecida por el nivel máximo de agua. Generalmente se identifica por evidencias físicas tal como una impresión natural (berma pequeña) sobre la margen, por cambios en el tipo de suelo, por destrucción de la mayor parte de la vegetación, o por la presencia de basura y de escombros.

Ondulaciones (Corrugaciones).- Una serie de lomos y depresiones a través del camino causados en caminos con superficies de suelo y de agregados como resultado de la falta de cohesión superficial. Éste es generalmente el resultado de la pérdida de finos en la superficie del camino debido a condiciones secas o a materiales pobremente graduados. Estas condiciones empeoran con las velocidades excesivas de los vehículos y con los altos volúmenes de tránsito.

Pasto Vetiver.- Una de las muchas variedades de pasto no agresivo de grandes atados que se usa ampliamente para control de erosión y conservación de humedad. Cuando se siembra en hileras hace más lento el escurrimiento y sirve de filtro para los sedimentos. Su sistema de raíces en forma de cortina ayuda a anclar al suelo y compite de forma mínima con raíces de cultivos vecinos.

Pedreira (Banco de material).- Sitio donde se explota piedra, enrocamiento de protección, agregados, y otros materiales de construcción. Con frecuencia el material debe ser excavado mediante escarificado o con explosivos, y el material es generalmente procesado mediante trituración o cribado para producir la granulometría especificada para el agregado.

Pendiente (Gradiente).- Inclinación de la rasante del camino a lo largo de su alineamiento. Este talud se expresa en porcentaje la relación entre el cambio en elevación y la distancia recorrida. Por ejemplo, una pendiente de +4% indica una ganancia de 4 unidades de medición en elevación por cada 100 unidades de distancia recorrida medida.

Peralte hacia adentro.- El talud transversal interior de la subrasante o superficie de un camino que generalmente se expresa como un porcentaje. La pendiente transversal hacia adentro se usa para facilitar el drenaje del agua de la superficie hacia una cuneta interior. Un camino con taludes interiores tiene su punto más alto en el borde exterior de la calzada y su pendiente es descendente hacia la cuneta al pie del talud del corte, a lo largo del borde interior del camino.

Peralte hacia fuera.- El talud transversal exterior de la subrasante o superficie de un camino, generalmente expresado en porcentaje. La pendiente transversal hacia fuera se usa para facilitar el drenaje del agua del camino directamente fuera del borde exterior del camino. Un camino con taludes exteriores tiene su punto más alto en el lado del cerro o en el lado interior del camino y desciende hacia el borde exterior del camino y hacia el talud del terraplén.

Poner fuera de servicio un camino.- Cierre permanente de un camino mediante técnicas que incluyen el bloqueo de la entrada, la colocación de ramas y de matorrales sobre la carpeta de rodamiento, dejar crecer nuevamente a la vegetación, colocar caballones desviadores, eliminar los rellenos y las alcantarillas, o restablecer los patrones naturales de drenaje. Sin embargo, la configuración básica del camino, o

la plantilla sigue estando en el lugar. El resultado final es dar por terminada la función del camino y mitigar los impactos adversos ambientales producidos por el camino.

Presa de detención (Control de socavación o Dique).- Presa pequeña construida en una garganta o zanja para disminuir la velocidad del flujo, para minimizar la socavación en el canal y para atrapar sedimentos.

Prevención de la erosión.- Se trata de evitar la erosión antes de que ésta ocurra. La prevención de la erosión es generalmente menos costosa y más efectiva que el control de la erosión. El objetivo de la prevención de la erosión es la protección de un camino, incluidas sus estructuras de drenaje, los taludes de corte y terraplén y las zonas afectadas, así como la protección de la calidad del agua.

Protección de salida.- Dispositivos o materiales, tales como un muro de cabeza o el enrocamiento de protección, colocado a la salida de las tuberías o de las estructuras de drenaje para disipar la energía del agua que fluye, reducir su velocidad de flujo, y prevenir la socavación del canal o de las márgenes.

Reciclado (Rehabilitación).- Actividades en las que se recicla, repara o mejora una parte o todo un camino existente, banco de préstamo o zona alterada y se restaura a su condición original o a alguna condición final preestablecida.

Relación de talud (Talud).- Una forma de expresar los taludes construidos en función de la relación entre la distancia horizontal y el ascenso vertical, como por ejemplo 3:1 (3 m horizontales por cada 1 m de ascenso o descenso vertical).

Relleno lateral a volteo.- Material excavado vaciado sobre un talud preparado o natural junto a la excavación para construir el cuerpo del terraplén. El material generalmente no se compacta.

Relleno reforzado.- Relleno en el que se ha colocado refuerzo trabajando a tensión mediante el contacto por fricción con el suelo circundante con la finalidad de mejorar

la estabilidad y la capacidad de carga. Los rellenos reforzados están formados por suelo o por materiales rocosos colocados en capas con elementos de refuerzo para formar taludes, muros de contención, terraplenes, presas y otro tipo de estructuras. Los elementos de refuerzo varían desde una simple vegetación hasta productos especializados tales como tiras metálicas, emparrillados de acero, geomallas de polímeros y geotextiles.

Salida.- La abertura en una estructura o tubería de drenaje donde el agua abandona la estructura. La salida es generalmente más baja que la entrada para garantizar que el agua fluya a través de la estructura.

Sección terminal metálica.- Muro artificial de cabeza o de alero, fabricado generalmente con el mismo tipo de metal que el de la alcantarilla, para mejorar la capacidad de entrada del caudal.

Sección transversal.- Dibujo en el que se muestra una sección del camino cortada a todo lo ancho de la vialidad. También se puede aplicar a un arroyo, a un talud, a un deslizamiento, etcétera.

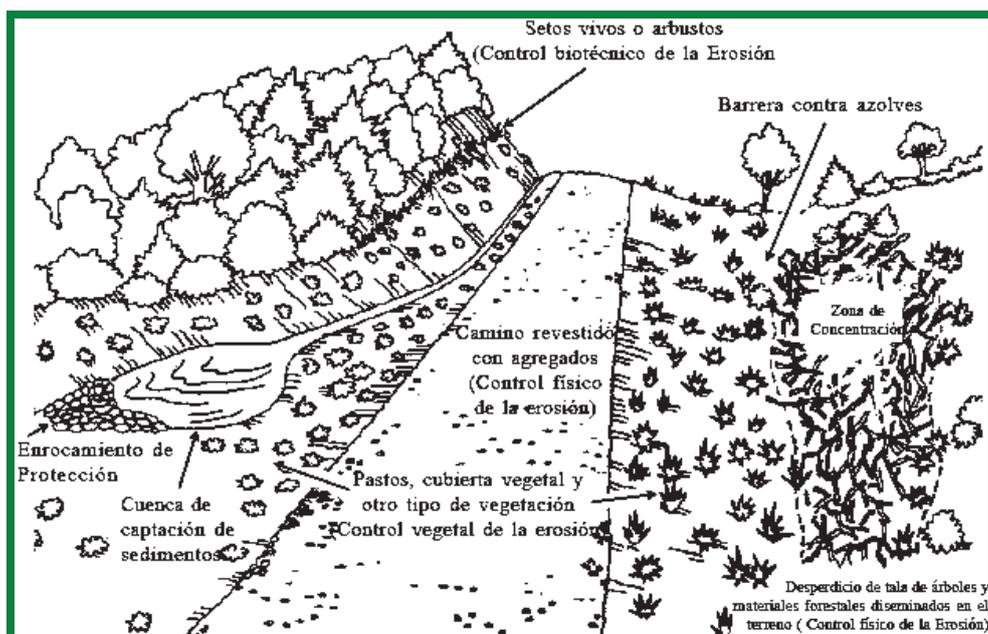


Figura VIII. Empleo de vegetación, materiales forestales y roca para el control de la erosión (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Sedimentación (Sedimento).- Suelo, generalmente arcilla, limo y arena, que es erosionado del terreno o de caminos pobremente contruidos y llega a un arroyo o a una corriente de agua, disminuyendo por lo general la calidad del agua en los ríos, arroyos y lagos.

Setos vivos de árboles.- Hileras de árboles y de arbustos que generalmente se plantan en los contornos a través de los taludes que constituyen una frontera y que pueden proporcionar control de protección contra la erosión inducida por flujo laminar, y al mismo tiempo producir alimento y refugio para la vida silvestre.

Socavación.- Erosión o arrastre de suelo en el fondo de un arroyo, en las márgenes de un río, en un canal o por detrás de una estructura, causado en general por un aumento en la velocidad del agua o debido a la falta de protección.

Subbase.- Esta es la capa secundaria de distribución de la carga y que subyace a la capa de base. Normalmente está constituida por un material que tiene una menor resistencia y durabilidad que la del material usado en la base, por ejemplo, grava natural sin procesar, grava y arena o una mezcla de grava, arena y arcilla. Sus principales características están detalladas en la norma N-CMT-4-02-001/04 del Instituto Mexicano del Transporte.

Subdrenaje (Dren subterráneo).- Zanja enterrada rellena con agregado grueso, arena gruesa o grava, que generalmente se coloca en la línea de cunetas a lo largo del camino y cuya función es la de drenar el agua subterránea de una zona húmeda y descargarla en un lugar seguro y estable. Los subdrenes se pueden construir con un tamaño uniforme de roca, pueden envolverse en un geotextil y pueden tener un tubo perforado de drenaje en el fondo de la zanja.

Subrasante.- Los materiales para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima de la cama de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo de un terraplén cuando ésta última no se construya,

para servir de desplante a un pavimento. Es la superficie del cuerpo del terraplén sobre la cual se colocan las capas de subbase, base o superficie de rodamiento. En el caso de caminos sin una capa de base o sin capa superficial, esta parte del cuerpo de terraplén se convierte en la superficie final de rodamiento. La subrasante está generalmente al nivel del material *in situ*. Sus principales características están detalladas en la norma N·CMT·1·03/02 del Instituto Mexicano del Transporte.

Suelo nativo.- Suelo natural, en el lugar o *in situ* que se ha formado en el sitio y que no ha sido importado artificialmente al sitio.

Suelos erosionables.- Suelos que son relativamente susceptibles a la erosión y al movimiento ocasionado por el impacto de las gotas de lluvia al caer y por los escurrimientos superficiales. Es de todos conocido que los suelos finos granulares sin cohesión tales como arenas finas producidas por la descomposición de granito, limos o arenas finas, son muy propensos a la erosión.

Talud de corte (talud exterior o corte marginal).- La cara artificial o el talud cortado en suelo o en roca a lo largo del borde interior del camino.

Talud del relleno (Talud del terraplén).- Talud inclinado que abarca desde el borde exterior del acotamiento del camino hasta el pie (parte inferior) del relleno. Esta es la superficie que se forma donde se deposita el material para la construcción del camino.

Terraplén (Relleno).- Material excavado que se coloca sobre la superficie de un terreno preparado para construir la subrasante del camino y la plantilla de base del camino. Sus principales características están detalladas en la norma N·CMT·1·01/02 del Instituto Mexicano del Transporte.

Terreno natural (Nivel del terreno natural).- La superficie del terreno natural que existía antes de la afectación y/o de la construcción del camino.

Tocón.- La bola de raíces de árbol y de tierra que se extrae del suelo al desenraizar un árbol.

Transporte al sitio final.- La remoción y acarreo del material excavado fuera del sitio de la obra hasta una zona estable de desecho (en vez de colocar el material de relleno cerca del lugar de excavación).

Tubificación.- El arrastre de suelo fino por debajo de una tubería, terraplén o estructura, causado por fuerzas de filtración y por el agua en movimiento, que puede hacer que una estructura sea socavada y llegue a fallar.

Vado con alcantarillas.- Estructura diseñada para dejar pasar el flujo de agua normal o bajo en el canal de un arroyo o de una corriente de manera segura a través de la estructura (por ejemplo, alcantarillas) que subyace a una superficie de rodamiento endurecida o reforzada. Durante periodos de altos niveles del agua o de avenidas, el flujo pasa por encima de la estructura y generalmente impide el paso de vehículos.

Vado mejorado (Cruce en estiaje).- Estructura de mampostería, concreto, gaviones u otro tipo de material con superficie endurecida construido a través del fondo de un arroyo intermitente o permanente para mejorar el paso de vehículos durante periodos de estiaje y para minimizar la alteración del canal o la producción de sedimentos.

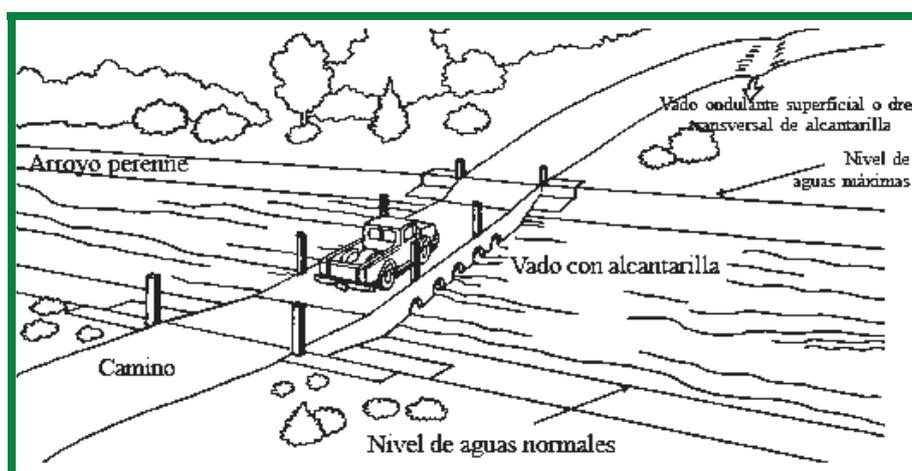


Figura IX. Vado con alcantarilla mejorado (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Vado ondulante superficial (Vado de base ancha).- Estructura para drenaje superficial, con un quiebre integrado a la pendiente del camino, diseñado específicamente para drenar el agua desde una cuneta interior o a través de la superficie del camino, mientras que la velocidad de desplazamiento de los vehículos se reduce en cierta forma.

Vado simple (Cruce en estiaje).- Estructura de roca o de otro material endurecido que se construye a través del fondo de un bajío, barranca o lecho de un arroyo que está generalmente seco, para poder mejorar el paso de vehículos durante periodos de estiaje o de sequía.

Vista en planta (Levantamiento cartográfico).- Vista tomada desde el cielo hacia el terreno. Un plano con esta vista es semejante a lo que podría ver un ave al volar sobre el camino. Estas tomas las podemos obtener con las fotografías satelitales, cartas y ortofotos disponibles en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

INTRODUCCIÓN

Podemos decir que las carreteras, son la columna vertebral del desarrollo de un país, ya que es de gran importancia hacer notar que la economía gira alrededor de lo que se produce y de lo que se transporta. Por eso un país desarrollado pone especial atención en el cuidado y mantenimiento de éstos. La calidad en el sistema de transporte hace competitivas las regiones y naciones ya que tiene implícita la rapidez, bajo costo y la capacidad de transporte, impactando la vitalidad económica.

Actualmente el transporte carretero ya sea de mercancías o pasajeros es de gran relevancia a pesar de la competencia de los diferentes medios de transporte. Para hacer frente a la necesidad de transporte que requiere el país se necesitan grandes inversiones tanto en conservación de la infraestructura existente, como en la construcción de nueva infraestructura.

Para que una vía de comunicación sea segura y cómoda es necesario disponer de una superficie preparada, que reúna las condiciones adecuadas para permitir el libre tránsito de los vehículos a velocidades aceptables, sin que esto represente un riesgo o fatiga para el conductor. De esta forma se cumplen dos funciones básicas permitir la movilidad y permitir el acceso de los vehículos a cualquier punto habitado donde esté conectada la red viaria.

Los caminos rurales en México son de gran importancia ya que en ellos se mueven gran parte de los productos que abastecen a las grandes ciudades. El costo de transportar mercancías por caminos en mal estado es muy alto, dando como resultado pérdidas en las utilidades del productor y/o incremento en los precios del consumidor.

En el aspecto social los caminos rurales cubren grandes necesidades de la población ya que comunican pueblos marginados, hacen más accesibles los servicios de salud en la población reduciendo los tiempos de traslado, mejorando de diversas maneras la calidad de vida de la región.

La necesidad de ayudar a construir mejores caminos rurales y con mayor relación costo-beneficio, así como también ocasionar un mínimo impacto ambiental adverso hacen de gran importancia la utilización de metodologías eficientes en la elaboración de proyectos. En Michoacán se destina gran parte del presupuesto en la construcción o modernización de caminos rurales, de los cuales una parte importante está a cargo de los municipios. La necesidad de planear, proyectar y construir nuevos caminos o mejorar los existentes es urgente, ya que con estas acciones se pueden ahorrar recursos y por consiguiente incrementar el número de acciones en beneficio de la sociedad.

Se cuenta con diversa clase de software que nos permite realizar proyectos de diferentes tipos. Existen aplicaciones para proyecto geométrico, diseño de pavimentos, cálculo de precios unitarios, entre otros. Para cada aplicación se cuenta con diferentes proveedores y marcas, las cuales debemos seleccionar de manera adecuada para obtener los mejores resultados posibles. Actualmente este tipo de herramientas son poco usadas en la elaboración de proyectos para caminos rurales.

Con el uso de herramientas disponibles en Internet se pueden obtener fotografías satelitales que nos permitan identificar y conocer el entorno donde se requiera desarrollar cualquier proyecto carretero o de otro tipo. El uso de esta herramienta junto con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permite realizar un anteproyecto en pocos días. Una vez que se requiera mayor precisión de la información topográfica del lugar donde se va a realizar el proyecto se procede a realizar un levantamiento topográfico con un sistema de GPS de mayor precisión o métodos tradicionales para dejar marcas, bancos de nivel y referencias en la zona en estudio en caso de ser necesario.

Por otra parte esta disponible el método de diseño de pavimentos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con una versión llamada DISPAV-5, la cual es un programa computacional que permite hacer diferentes cálculos de espesores de pavimentos de forma relativamente rápida y confiable. Existe también un programa llamado CivilCAD, el cual trabaja en la plataforma de AutoCAD, permitiendo proyectar y calcular curvas

verticales y horizontales, volúmenes, pendientes y todo lo relativo al proyecto geométrico. Este programa se puede alimentar con los datos topográficos recabados con el sistema GPS tomando en cuenta las características del terreno observadas por las fotos satelitales disponibles gratuitamente con el programa Google Earth.

Existe también un programa de cómputo llamado Neodata especializado en precios unitarios, el cual se puede utilizar para realizar el análisis de costos. Una de las características de este programa es su compatibilidad con diferentes aplicaciones de software.

La integración de todas las herramientas anteriormente mencionadas podrán agilizar y economizar la elaboración de proyectos para caminos rurales, ayudando a los ingenieros, especialistas ambientales, planificadores y a todos aquellos que estén relacionados o que tengan la intención de conocer más sobre el tema.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es la elaboración de un manual práctico que ilustre de manera sencilla y clara, opciones y recomendaciones para la elaboración de proyectos para caminos rurales, que permita lograr un ahorro económico en el gasto de los municipios que carecen de personal, tiempo y dinero para llevar a cabo todo un proyecto integral.

Para lograr este objetivo general se requiere llevar a cabo diferentes objetivos particulares como son:

- Realizar una recopilación de información sobre el proyecto de caminos rurales.
- Conocer las herramientas disponibles para la elaboración de proyectos para caminos rurales.
- Proponer una metodología para la elaboración de proyectos para caminos rurales.
- Aplicar y evaluar la metodología en un tramo determinado ejemplificando el uso de las prácticas recomendadas plasmadas en el manual.
- Dar a conocer una opción práctica para proyectar caminos rurales para todos los interesados en el tema.

Capítulo 1 **CAMINOS RURALES**

1.1.- DEFINICIÓN DE CAMINO RURAL

Es parte de un sistema de transportación que se construye generalmente para manejar o explotar recursos de zonas no desarrolladas, son diseñados para alojar bajos volúmenes de tránsito con cargas por eje potencialmente extremas.

Se considera como camino rural a una vía que se usa relativamente poco (tránsito diario promedio de menos de 400 vehículos por día), que tiene bajas velocidades de diseño (típicamente menores de 80 kph), y geometría correspondiente. Un sistema de caminos rurales bien planeado, localizado, diseñado, construido y mantenido, resulta esencial para el desarrollo comunitario, para el flujo de bienes y servicios entre las comunidades, y para las actividades de administración de recursos. Sin embargo, los caminos, y sobre todo la construcción de caminos, pueden producir más erosión en el suelo que la mayor parte de otras actividades que tienen lugar en zonas rurales. Con una planeación y un diseño adecuados del sistema de caminos se podrán minimizar los efectos adversos sobre la calidad del agua. Los sistemas de caminos pobremente planeados pueden llegar a tener altos costos de mantenimiento y de reparación, pueden contribuir a una erosión excesiva y pueden no satisfacer las necesidades de los usuarios.

1.2.- IMPORTANCIA DE LOS CAMINOS RURALES

De acuerdo con Keller y Sherar, 2004, la importancia de este tipo de caminos reside en el servicio que se brinda a los usuarios para mejorar el flujo de bienes y servicios, promover o ayudar al desarrollo regional, la salud pública y la educación, además de servir como ayuda en la administración del uso del suelo y de los recursos naturales.

Los caminos rurales unen las poblaciones más pequeñas del mercado regional, que abastecen de forma directa diferentes tipos de productos alimenticios a las ciudades. Normalmente, no son pavimentados, o tienen una capa delgada de mezcla asfáltica; son más angostos, los grados de curvatura y las pendientes longitudinales son mayores que las de las carreteras de altas especificaciones. Pueden ser de toda estación o sólo temporales y, a menudo, tienen vados o transbordadores en vez de puentes para economizar su construcción.

La construcción de caminos rurales ocasiona efectos directos que ocurren en el sitio de la construcción y a los alrededores de la vía de pasaje e indirectos en la región colindante. A menudo, estos impactos indirectos son mucho mayores que los directos.

El principal impacto ambiental directo que se asocia con los caminos rurales, es la erosión. En zonas muy empinadas y con muchas precipitaciones es frecuente que el mal mantenimiento del sistema de drenaje provoque inundaciones locales y erosión en los bordes del camino. Por otro lado, en zonas planas, puede cortar el flujo natural del agua. El mantenimiento adecuado de los caminos es esencial para evitar los problemas ambientales y socioeconómicos.

La producción de polvo por el tránsito de los vehículos puede perjudicar los cultivos delicados próximos a las vías tales como jitomate, plátano, pepino, rosal, manzano etc., y ser incluso perjudicial para la salud, por otro lado el ruido causado por el tráfico también puede tener efectos perjudiciales para los seres humanos y animales. Otras posibles fuentes de contaminación del agua y del suelo son los químicos que se rocían junto al camino o en la vía de pasaje, para controlar la maleza y el polvo.

Dentro de los impactos indirectos la construcción de los caminos de penetración en las áreas remotas fomenta la migración hacia los terrenos colindantes e induce modelos de uso del terreno y de explotación de los recursos que son extremadamente difíciles de manejar o controlar. Los resultados pueden ser el trastorno severo de los pueblos indígenas, la transformación del bosque en terrenos de pastoreo la invasión de las malezas y la degradación de la tierra, produciendo el eventual abandono del área.

1.3.- CLASIFICACIÓN DE CAMINOS

Dentro de la red carretera, los caminos rurales constituyen un activo de gran importancia regional y local, ya que a través de ellos es posible la comunicación permanente entre los centros de población y producción en el medio rural, el acceso de amplios grupos de población a la salud y educación como satisfactores básicos para mejorar su calidad de vida, así como a mayores oportunidades de empleo y desarrollo general. Por ello, el gobierno federal asigna recursos a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para apoyar a los gobiernos estatales y municipales en la construcción, modernización, reconstrucción y conservación de las redes de caminos rurales y alimentadores. Estos recursos son complementarios a los que los gobiernos de los estados programan para la atención de las redes rural y alimentadora, a su cargo. Las características técnicas de estos caminos están en función del tránsito diario promedio anual (TDPA).

La SCT estableció una clasificación de las carreteras con cinco tipos de caminos (A, B, C, D y E).

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS (SCT)	
Tipo A	TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos
Tipo B	TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos
Tipo C	TDPA de 500 a 1,500 vehículos
Tipo D	TDPA de 100 a 500 vehículos
Tipo E	TDPA de hasta 100 vehículos

Tabla 1.3.1 Clasificación de carreteras. Fuente SCT.

Camino alimentador

Conforme a la clasificación, los caminos alimentadores han quedado circunscritos dentro del tipo C o D, con las siguientes especificaciones:

TIPO C o D	
Superficie de rodamiento	Pavimentada
Aforo diario	100 – 1,500 vehículos
Velocidad de proyecto	40 a 100 y 30 a 70 (km/hr)
Pendiente máxima	8 por ciento
Ancho de corona	6 a 7 (m)

Tabla 1.3.2 Camino tipo “ C o D ”. Fuente SCT.

El camino alimentador se caracteriza por ser de dos carriles, en su gran mayoría pavimentados, para un tránsito promedio diario anual de 100 a 1,500 vehículos. Los caminos alimentadores representan 20 por ciento de la red carretera nacional.

Camino rural

Conforme a la clasificación, los caminos rurales han quedado circunscritos dentro del tipo E, con las siguientes especificaciones:

TIPO E	
Superficie de rodamiento	Revestida
Aforo diario	Hasta 100 vehículos
Velocidad de proyecto	Hasta 70 km/hr
Pendiente máxima	13 por ciento
Ancho de corona	4 m

Tabla 1.3.3 Camino tipo “ E ”. Fuente SCT.

Estos caminos son una vía de comunicación de bajo costo y garantizan el acceso del tránsito en toda época del año; su propósito es comunicar a todas las localidades rurales que cuentan con un rango de poblaciones entre 200 y 2,500 habitantes, a las cabeceras municipales incomunicadas, a los lugares considerados estratégicos, así como a las áreas o regiones con potencial productivo.

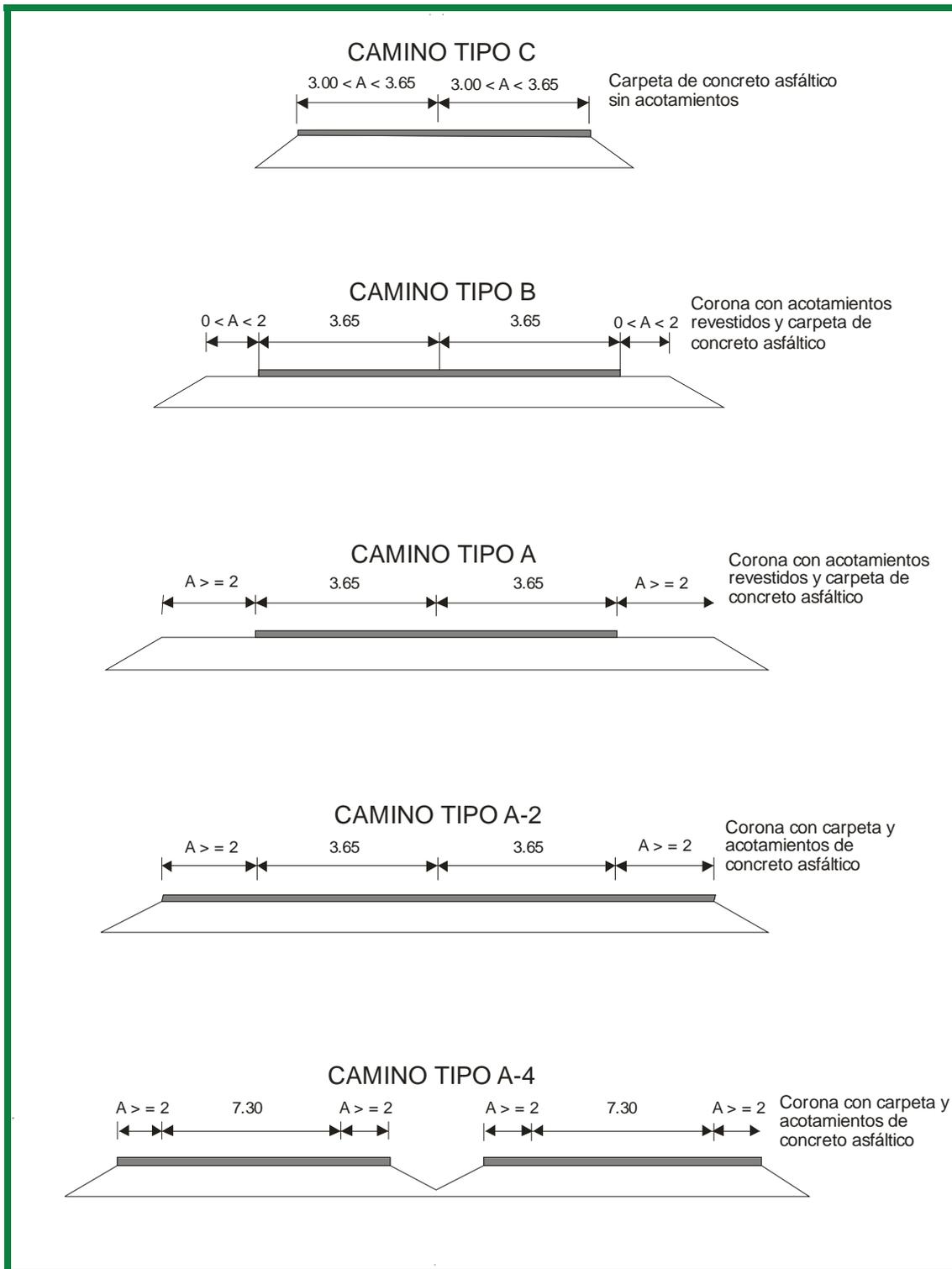


Figura 1.3.1 Clasificación de los caminos de acuerdo a su tipo. Fuente Subsecretaría de Infraestructura de la SCT.

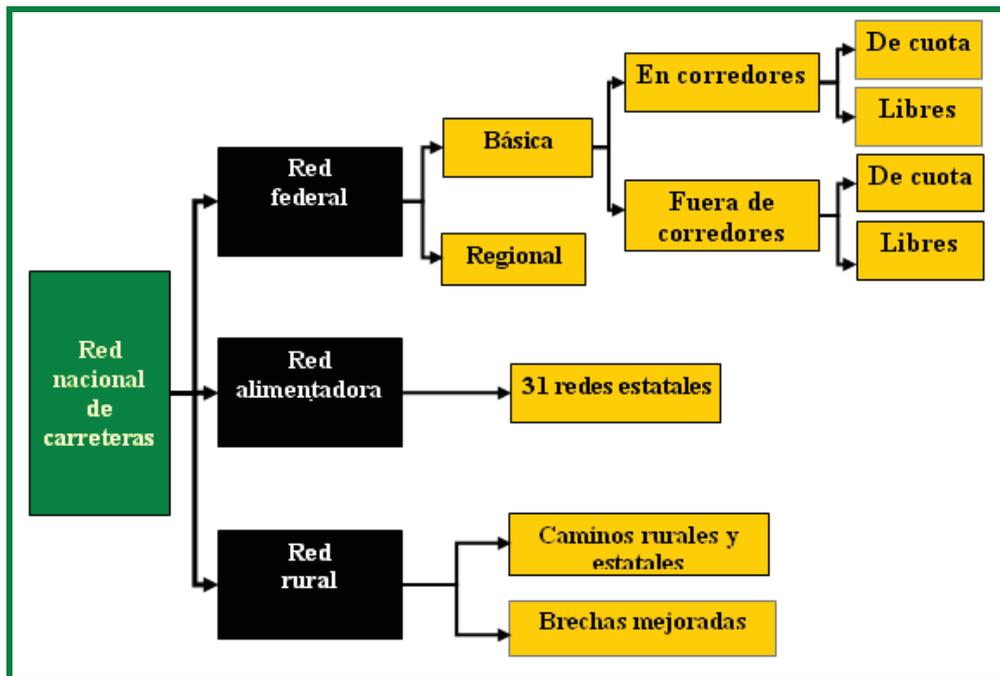


Figura 1.3.2 Clasificación de los caminos de acuerdo a su jurisdicción. Fuente Subsecretaría de Infraestructura de la SCT.

Capítulo 2 **ETAPAS DEL PROYECTO DE CAMINOS**

2.1.- PLANEACIÓN

De acuerdo con Reyes Ponce (1988), la definición de planeación es fijar el curso concreto de acción que ha de seguirse de la forma más favorable, estableciendo los principios que habrán de orientarlo, la secuencia de operaciones para llevarlo a cabo, y la determinación de tiempos y números necesarios para su realización. El aspecto fundamental al planear es determinar los resultados.

Los aspectos clave que deberían tomarse en cuenta durante la planeación de los proyectos de caminos, son los cambios o los impactos negativos que pueden inducirse en una cierta región por la presencia del camino, los cuales pueden resultar importantes a la vez que irreversibles o que pueden ser difíciles de mitigar. Por lo tanto, habrá necesidad de analizar la rentabilidad a largo plazo de un proyecto de camino, en lo que se refiere a costos en los aspectos sociales, ambientales y fiscales.

El objetivo es descubrir claramente la variedad de problemas y deficiencias de toda índole, las zonas de mayor actividad humana actual y aquellas económicamente potenciales, esto nos aportará un resultado preliminar que nos ayudará a tomar mejores decisiones fundamentadas en las condiciones socio-económicas y políticas prevalecientes de la región.

La localización de caminos es clave para garantizar que un camino se ubique en una zona adecuada, que se eviten riesgos o zonas problemáticas en las que la construcción sería muy cara. Tiene que constituir el mejor acceso a zonas en donde hace falta el camino, y minimizar la distancia de recorrido entre los puntos de destino.

Resulta mejor tener un mal camino en una buena ubicación, que un buen camino en un lugar inadecuado. Un mal camino se puede arreglar en cambio, una mala ubicación no puede cambiarse y esto arroja como resultado mayores pérdidas en todos los aspectos.

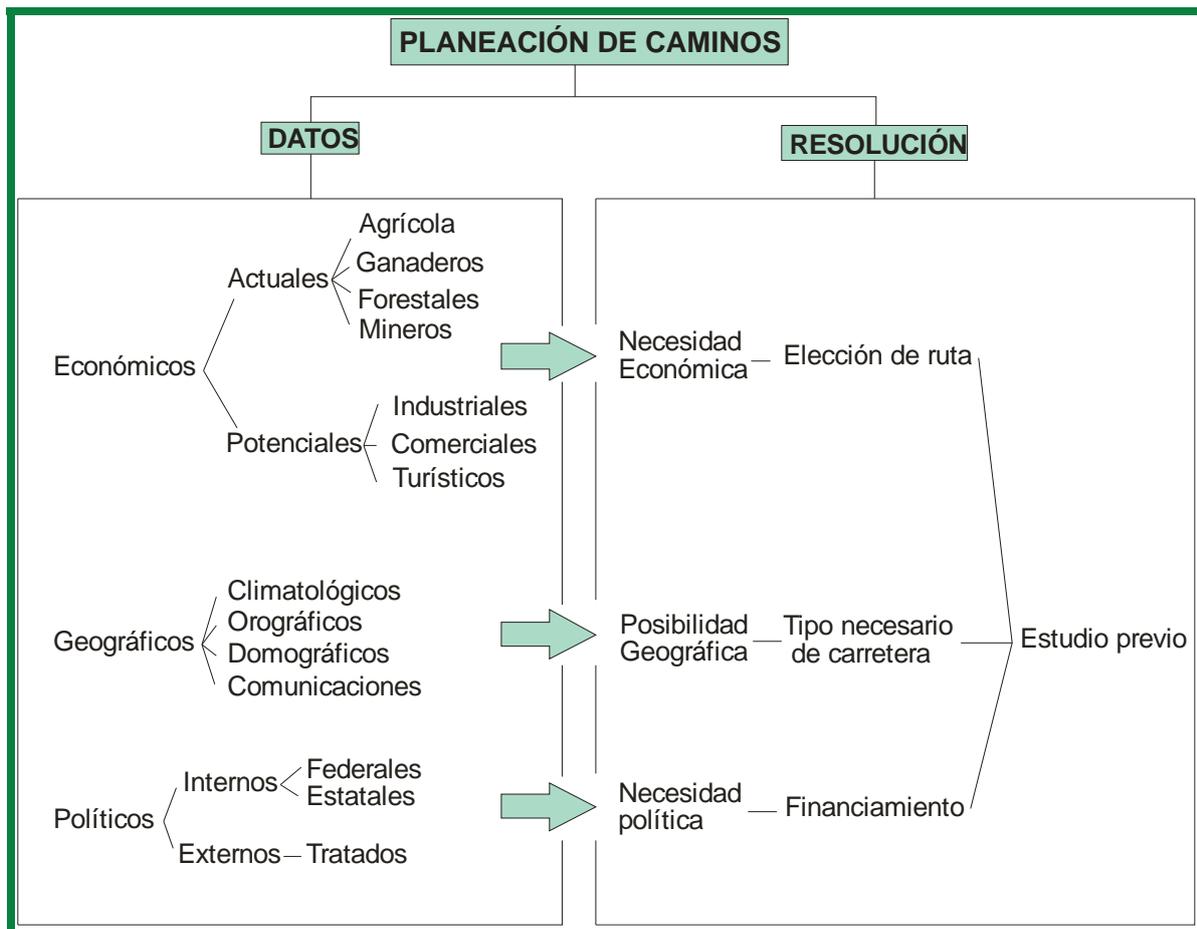


Figura 2.1.1 Diagrama de flujo de la planeación de caminos. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

2.2.- PROYECTO

El proyecto consiste en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas, los datos y las condiciones fijados por la planeación son la base y punto de partida del proyecto. La razón de un proyecto es alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen un presupuesto y un lapso de tiempo previamente definidos. La gestión de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para satisfacer los requisitos del proyecto. El proyecto de caminos se realiza fundamentalmente a través de los estudios topográficos, estudios de mecánica de suelos y estudio de estructuras. Existen dos clasificaciones para los proyectos:

- Proyecto productivo: Son proyectos que buscan generar rentabilidad económica y obtener ganancias en dinero. Los promotores de estos proyectos suelen ser empresas e individuos interesados en alcanzar beneficios económicos.
- Proyecto público o social: Son los proyectos que buscan alcanzar un impacto sobre la calidad de vida de la población y los beneficios no necesariamente se expresan en dinero. Los promotores de estos proyectos son los estados, los organismos multilaterales, las organizaciones no gubernamentales (ONGs) y también las empresas, en sus políticas de responsabilidad social.

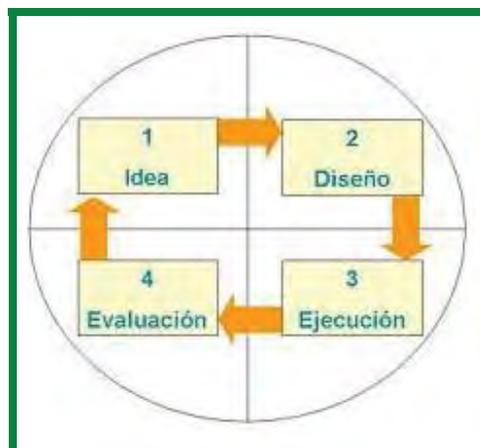


Figura 2.2.1 Ciclo de un proyecto, fuente Wikipedia.

2.3.- ANÁLISIS HIDROLÓGICO

De acuerdo con Aparicio (2003), existen diferentes definiciones de hidrología y una de las más completas definiciones es la siguiente: Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas así como su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Existe una rama de la hidrología que se estudia en la ingeniería, la cual la podemos llamar ingeniería hidrológica, que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua.

Dadas las condiciones en la construcción de infraestructura existe la necesidad de diseñar puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertedores, sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras, pistas de aeropuertos y sistemas de abastecimiento de agua. Para proyectar todo lo anterior se requiere de un análisis hidrológico cuantitativo para la selección del evento de diseño, siendo esto el objetivo de la ingeniería hidrológica.

Los resultados normalmente son solo estimaciones, con aproximación limitada en muchos casos y burda en algunos otros. Las dimensiones físicas o la capacidad de conducción de una estructura hidráulica se determinan de acuerdo con los volúmenes y gastos que se desean almacenar, controlar o transmitir.

Los procesos que estudia la hidrología involucran una gran cantidad de variables. Las ciencias en que se apoya la investigación hidrológica son básicamente la geografía la física, la meteorología, la geología, la hidráulica, las matemáticas y la estadística, también podemos encontrar en ocasiones alguna relación con disciplinas como la Física, Química, Biología y otras.

Una parte importante del trabajo del ingeniero hidrólogo es la recolección y análisis de datos básicos confiables. Con frecuencia es necesario partir de un conjunto de hechos observados y, mediante un análisis empírico, establecer las normas sistemáticas que gobiernan tales hechos. En México, los organismos principalmente encargados de la recolección y publicación de estos datos son la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y la Comisión Internacional de Límites y Aguas México – Estados Unidos de América, además de algunos otros organismos de carácter local.

La información obtenida por las fuentes anteriormente mencionadas es muy importante ya que permite diseñar el gasto hidráulico que se puede producir en determinados puntos del camino en estudio y de esta manera poder conocer la dimensión necesaria de alcantarillas, cunetas, subdrenes vados, puentes, etc., ya sea para caminos rurales o caminos de altas especificaciones.

2.4.- DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE

El objetivo principal del drenaje en los caminos, es reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una forma u otra llega al camino, para posteriormente darle una salida rápida de éste.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas destruyendo el pavimento y generando baches, así como también que el agua que debe escurrir por las cunetas se estanque y reblandezca las terracerías originando pérdidas de estabilidad con sus consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes formados por materiales de mala calidad, se saturen de agua ocasionando riesgo de derrumbes o deslizamientos según sea el tipo de material del corte.

El prever un buen drenaje es uno de los factores más importantes en el proyecto de un camino y por lo tanto debe preverse desde la localización misma tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables permanentemente y naturalmente drenados. Debido a la necesidad de atravesar suelos variables, se determina la construcción de obras de drenaje de acuerdo con las condiciones requeridas.

Los principios básicos que deben estar presentes en todas las actuaciones de drenaje son: no obstaculizar el paso del agua y evitar que ésta quede retenida. El agua que esta fuera del camino debe permanecer fuera, se debe permitir su paso o evacuarla rápidamente para que no entre a la estructura. El agua que esta dentro debe salir lo antes posible.

El drenaje se divide en dos partes que son drenaje y subdrenaje, las cuales sirven tanto para proteger la calidad del agua superficial y subterránea de la naturaleza, así como para proteger la estructura del camino y su buen comportamiento a lo largo de su vida útil.

2.5.- ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE BANCOS DE MATERIALES

El estudio geotécnico y de bancos de materiales son fundamentales para el diseño de pavimentos ya que permiten conocer el suelo donde se desplantará la estructura y la calidad de los materiales a emplearse en ella.

Se deben obtener muestras de suelo del camino en estudio para analizarlas en un laboratorio de mecánica de suelos, esto con la finalidad de realizar pruebas de granulometría, plasticidad y Valor Relativo de Soporte (VRS).

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del material con el que se pretende construir una terracería o bien del material que ya forma parte de la misma. Se puede obtener el procedimiento completo de muestreo de materiales para terracerías del manual M-MMP-1-01/03 del Instituto Mexicano del Transporte a fin de determinar las características de esos materiales o verificar que cumplan con los requisitos de calidad descritos en dichas Normas o en las especificaciones particulares del proyecto.

Podemos encontrar diferentes tipos de materiales dependiendo de zona o región en la que encuentre el camino. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Servicios Técnicos emite un listado por entidad federativa con la información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para construcción y mantenimiento de carreteras.

El uso de fuentes de abastecimiento de materiales locales, tales como bancos de préstamo y pedreras, puede dar lugar a importantes ahorros en los costos de un proyecto, en comparación con el costo de acarreo desde fuentes lejanas que generalmente ya están en explotación con fines comerciales. La calidad del material de bancos de préstamo o de pedreras debe ser la adecuada.

Los bancos de materiales pueden ser afloramientos de roca cercanos o depósitos de material granular, adyacentes al camino, o dentro del derecho de vía. El

ensanchamiento del camino o el abatimiento de la pendiente del camino en zonas rocosas fracturadas pueden producir buenos materiales de construcción en una zona que ya está afectada por las actividades de construcción. La excavación y producción de roca se puede hacer a mano, o mediante el uso de diferentes tipos de equipos, tales como cribas o trituradoras.

2.6.- DISEÑO DE PAVIMENTOS

El diseño de pavimentos tiene por objetivo definir la naturaleza y espesor de cada capa del pavimento a partir de la consideración de una serie de factores básicos como son: el tráfico, la capacidad de soporte del suelo, materiales disponibles, condiciones climáticas entre otros factores, y así poder garantizar que la estructura va a prestar adecuadamente el servicio para el que se proyecta y construye durante un determinado periodo de vida útil.

Los principios del diseño de pavimentos son aplicables tanto a los pavimentos flexibles, como a los rígidos. Sin embargo, existen algunas diferencias entre unos y otros que condicionan la aplicación práctica de los métodos. Estructuralmente, en los pavimentos flexibles hay un reparto relativamente gradual de las tensiones provocadas por las cargas del tráfico. En los rígidos, el pavimento es una losa que trabaja a flexotracción y que absorbe casi la totalidad de dichas tensiones. Dentro de los pavimentos flexibles la temperatura es la principal variable climática a considerar, influye en la rigidez de los materiales asfálticos, mientras que en los rígidos, los gradientes térmicos provocan deformaciones (alabeo o combado de las losas) originando tensiones, que pueden ser comparables en magnitud a las debidas por las cargas del tráfico.

Los métodos actuales de diseño de pavimentos se inclinan hacia el concepto empírico-mecanicista, el cual involucra la aplicación de modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos, así como el desarrollo de modelos de deterioro para predecir el comportamiento del pavimento a partir de las respuestas estructurales. Los esquemas de predicción de comportamiento son posteriormente calibrados a partir de evaluaciones y observaciones del comportamiento de pavimentos en servicio. En la concepción de los modelos estructurales intervienen los aspectos teóricos que involucran esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, así como la temperatura y el tiempo, con apoyo de herramientas modernas como el método de elemento finito y los programas de computación, que consideran sistemas elásticos multicapa.

2.7.- ANÁLISIS DE COSTOS

Dentro del aspecto económico, los costos básicamente están regidos por las características del proyecto considerando los volúmenes de cortes y terraplenes necesarios, terracerías, obras de drenaje superficial y subterráneo, así como la estructura del pavimento, tomando en cuenta la longitud de acarreo de los materiales a utilizarse o a colocarse en sitios fuera del camino. Las técnicas adecuadas de diseño y de construcción implican costos iniciales relativamente altos pero pueden reducir en gran medida las necesidades futuras de mantenimiento y evitar costosas fallas, reparaciones e impactos adversos al medio ambiente.

Actualmente muchas entidades de gobierno solicitan recursos económicos para la construcción de obras de infraestructura según sus alcances y necesidades. Dado es el caso en los H. Ayuntamientos Municipales que tienen la necesidad de presupuestar todo el programa de obra a ejecutarse. Esto requiere de una rápida elaboración de presupuestos de obra al inicio del año, para poder convenir recursos con los gobiernos estatales, federales y beneficiarios. Es posible conocer y almacenar los rendimientos de obra de cada municipio en una base de datos utilizando un programa de precios unitarios que facilite su búsqueda y actualización permitiendo ahorrar tiempo en la elaboración de los presupuestos de obra requeridos.

En el cálculo del coste o costo de producción, hay que tener en cuenta el coste de las materias primas utilizadas, el de la mano de obra empleada y la parte proporcional de los costes de la inversión de capital necesaria para producir el bien o el servicio en cuestión.

Los costes en los que incurre una empresa se pueden clasificar en dos grandes categorías: por un lado están los costes fijos, como el alquiler o la renta que se paga por las instalaciones y que no dependen de la cantidad producida, y por otro, los costes variables, que dependen de la cantidad de materias primas utilizadas y de los salarios pagados que varían en función de lo producido.

Capítulo 3**HERRAMIENTAS APLICABLES AL PROYECTO DE CAMINOS****3.1.- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**

De acuerdo con la Biblioteca Premium Microsoft Encarta (2006), El Sistema de Posicionamiento Global, conocido también como GPS, es un sistema de navegación basado en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas. Al no haber comunicación directa entre el usuario y los satélites, el GPS puede dar servicio a un número ilimitado de usuarios.

En el inicio dirigido por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, el Sistema de Posicionamiento Global Navstar se creó en 1973 para reducir los crecientes problemas en la navegación. Al ser un sistema que supera las limitaciones de la mayoría de los sistemas de navegación existentes, el GPS consiguió gran aceptación entre la mayoría de los usuarios. Desde los primeros satélites, se ha probado con éxito en las aplicaciones de navegación habituales. Como puede accederse a sus funciones de forma asequible con equipos pequeños y baratos, el GPS ha fomentado muchas aplicaciones nuevas. Actualmente en México podemos encontrar GPS portátiles o de mano que van desde los \$1,500 hasta \$28,000, dependiendo de las características del equipo y la precisión que se obtiene en tiempo real.

El GPS es, entonces, un sistema de recepción pasiva para posicionamiento y navegación. Los satélites transmiten información a los usuarios en tierra pero no reciben información proveniente de los usuarios; esto significa que los satélites de esta constelación no funcionan como enlace de comunicación entre el usuario y alguna estación base. Esto significa que no hay suscripción o cuotas a pagar por el acceso a las señales GPS, y que no existe límite en cuanto al número de usuarios que simultáneamente puedan aprovecharlas. Aunque se originó con objetivos bélicos, el GPS ha pasado paulatinamente a constituir una poderosa herramienta de aplicaciones civiles en todo el mundo.

Las técnicas de mejora, como el GPS diferencial (DGPS), permiten a los usuarios alcanzar hasta 3 m de precisión. Los investigadores fueron los primeros en usar portadoras (señal analógica que puede utilizarse en la transmisión de información) para calcular posiciones con una precisión de 1 cm.

Los satélites GPS llevan relojes atómicos de alto grado de precisión. La información horaria se sitúa en los códigos de transmisión mediante los satélites, de forma que un receptor puede determinar en cada momento en cuánto tiempo se transmite la señal. Esta señal contiene datos que el receptor utiliza para calcular la ubicación de los satélites y realizar los ajustes necesarios para precisar las posiciones. El receptor utiliza la diferencia de tiempo entre el momento de la recepción de la señal y el tiempo de transmisión para calcular la distancia al satélite. El receptor tiene en cuenta los retrasos en la propagación de la señal debidos a la ionosfera y a la troposfera. Con tres distancias a tres satélites y conociendo la ubicación del satélite desde donde se envió la señal, el receptor calcula su posición en tres dimensiones.

Sin embargo, para calcular directamente las distancias, el usuario debe tener un reloj atómico sincronizado con el Sistema de Posicionamiento Global. Midiendo desde un satélite adicional se evita que el receptor necesite un reloj atómico. El receptor utiliza cuatro satélites para calcular la latitud, la longitud, la altitud y el tiempo.

El Sistema de Posicionamiento Global consta de tres divisiones: espacio, control y usuario. La división espacio incluye los satélites y los cohetes Delta que lanzan los satélites desde Cabo Cañaveral, en Florida, Estados Unidos. Los satélites GPS se desplazan en órbitas circulares a 17.440 km de altitud, invirtiendo 12 horas en cada una de las órbitas. Éstas tienen una inclinación de 55° para asegurar la cobertura de las regiones polares. La energía la proporcionan células solares, por lo que los satélites se orientan continuamente dirigiendo los paneles solares hacia el Sol y las antenas hacia la Tierra. Cada satélite cuenta con cuatro relojes atómicos.

La división control incluye la estación de control principal en la base de las Fuerzas Aéreas Falcon, en Colorado Springs, Estados Unidos, y las estaciones de observación

situadas en Falcon AFB, Hawai, en la isla de Ascensión en el Atlántico, en Diego García en el océano Índico, y en la isla Kwajalein en el Pacífico sur. Las divisiones de control utilizan las medidas recogidas en las estaciones de observación para predecir el comportamiento de las órbitas y relojes de cada satélite. Los datos de predicción se conectan a los satélites para transmitirlos a los usuarios. La división control también se asegura de que las órbitas de los satélites GPS permanezcan entre los límites y de que los relojes no se alejen demasiado del comportamiento nominal.

La división usuario es un término en principio asociado a los receptores militares. Los GPS militares utilizan equipos integrados en armas de fuego, armamento pesado, artillería, helicópteros, buques, submarinos, carros de combate, vehículos de uso múltiple y los equipos individuales para soldados. Además de las actividades básicas de navegación, su aplicación en el campo militar incluye designaciones de destino, apoyo aéreo, municiones ‘terminales’ y puntos de reunión de tropas. La lanzadera espacial está dotada de un Sistema de Posicionamiento Global.

Con más de medio millón de receptores de GPS, los usuarios civiles tienen una división propia, grande y diversa. Incluso antes de que todos los componentes de los satélites estuvieran en órbita, los investigadores utilizaban el Sistema de Posicionamiento Global para adelantar días o semanas los métodos oficiales de investigación. En la actualidad los usuarios pueden darle diversas aplicaciones a los GPS en las que destacan:

Navegación terrestre, marítima y aérea. Bastantes vehículos lo incorporan en la actualidad, siendo de especial utilidad para encontrar direcciones o rutas.

- Topografía y geodesia.
- Salvamento.
- Deporte, acampada y ocio.
- Para enfermos y discapacitados.
- Aplicaciones científicas en trabajos de campo.

- Geocaching, actividad consistente en buscar "tesoros" escondidos por otros usuarios.
- Se lo utiliza para el rastreo y recuperación de vehículos.
- Navegación deportiva.
- Deportes aéreos: Parapente, Ala delta, Planeadores, etc.



Foto 3.1.1 Navegador GPS ProMark™3 de Thales Navigation.



Foto 3.1.2 GPS de precisión Z-Max™ de Thales Navigation.

En el caso particular de los caminos rurales los dispositivos mostrados anteriormente permiten agilizar el reconocimiento de la zona en estudio para poder tomar decisiones sobre el trazo del camino. Ya que con los datos recabados se pueden obtener todos los puntos con coordenadas geográficas para sobreponerlos en fotos satelitales o cartas topográficas ayudando a conocer de mejor manera el sitio por donde pasará el trazo del camino.

3.2.- GOOGLE EARTH

Google Earth es un programa informático similar a un Sistema de Información Geográfica (SIG), creado por la empresa Keyhole Inc., que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google. Keyhole era en un principio un programa de pago hasta que el 27 de octubre de 2004 Google compró Keyhole. El 21 de mayo de 2005 Keyhole pasa a llamarse Google Earth. Este programa fue lanzado el día 28 de junio de 2005 teniendo como principal novedad, a parte del cambio de nombre y de dueño, que el programa disponía de una versión gratuita (a diferencia de Keyhole que era de pago en todas sus versiones).

Google Earth es un programa que se instala fácilmente en los ordenadores y se comunica con una potente base de datos residente en un servidor compartido con Google Maps. Mediante la tecnología *stream* el programa se conecta al servidor y despliega los contenidos solicitados en la computadora.

Google Earth permite introducir el nombre de un hotel, colegio o calle y obtener la dirección exacta, un plano o vista del lugar. También se puede visualizar imágenes vía satélite del planeta. También ofrece características 3D como dar volumen a valles y montañas, y en algunas ciudades incluso se han modelado los edificios. La forma de moverse en la pantalla es fácil e intuitiva, con cuadros de mando sencillos y manejables.

Además, es posible compartir con otros usuarios enlaces, medir distancias geográficas, ver la altura de las montañas, ver fallas o volcanes y cambiar la vista tanto en horizontal como en vertical. Google Earth también dispone de conexión con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), alimentación de datos desde fichero y base de datos en sus versiones de pago.

La versión 4 ha incorporado notables mejoras:

- Interfaz en inglés, español, francés y alemán.

- Tener relación con Google SketchUp, un programa de modelaje 3D desde el cual se pueden subir modelos 3D de edificios a Google Earth.
- Panel de mandos que interfiere más discreto y gana en espacio para la visualización de imágenes.
- Mejoras que permiten ver imágenes en 3D "texturizadas" (superficies más realistas, ventanas, ladrillos...).
- Versión en los tres sistemas operativos más importantes para computadores personales (Windows, Linux, y MAC).
- Inclusión de enlaces a los artículos de la Wikipedia en inglés en ciudades, monumentos, accidentes geográficos y otros puntos de interés.

	Google Earth	Google Earth Plus	Google Earth Pro
Licencia	Versión gratuita para uso doméstico o personal	Versión mejorada para uso doméstico o personal	Versión profesional para uso comercial
Precio	Gratis	20 USD*	400 USD*
Base de datos de imágenes	Principal	Principal	Principal
Rendimiento		Mejorado	El más rápido
Volar a cualquier lugar del planeta o explorar el espacio	✓	✓	✓
Buscar escuelas, parques, restaurantes y hoteles	✓	✓	✓
Cómo llegar	✓	✓	✓
Explorar el contenido patrocinado	✓	✓	✓
Inclinar y girar la vista en 3D	✓	✓	✓
Imprimir imágenes	1.000 píxeles	1.400 píxeles	4.800 píxeles
Guardar imágenes	1.000 píxeles	1.000 píxeles	4.800 píxeles
Herramientas de dibujo	✓	✓	✓
Importar datos de dispositivos GPS (sólo lectura)**		✓	✓
Seguimiento GPS en tiempo real		✓	✓
Importar datos de hojas de cálculo		100 puntos	2.500 puntos
Anuncios de negocios locales	✓	Opcional	Opcional
Asistencia	Sólo en sitio web	Sitio web, correo electrónico (sólo problemas relacionados con el acceso)	Sitio web, correo electrónico
Medir áreas			✓
Creador de películas			✓
Importación de datos GIS			✓
Datos de recuento de tráfico GDT***			200 USD

** Compatibilidad verificada sólo para dispositivos Magellan y Garmin.

*** Complementos opcionales.

Tabla 3.2.1 Comparativa de las versiones de Google Earth
(www.earth.google.es/product_comparison.html).

Este programa nos permite visualizar todo el globo terrestre con gran calidad de imagen, además de la precisión en las dimensiones de éstas, lo cual se puede aprovechar de forma fácil en el proyecto de caminos rurales. Con la ayuda de Google Earth se pueden obtener las principales características de una superficie terrestre con datos necesarios para tomar decisiones en la ruta que ha de seguir el trazo de un determinado camino.

3.3.- AUTOCAD Y HERRAMIENTAS MEJORADAS

La plataforma de operación de estas herramientas se desarrolla en Autodesk AutoCAD®, el cual es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD "*Computer Aided Design*";) para dibujo en 2D y 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.

Al igual que otros programas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado. Las versiones modernas del programa permiten la introducción de éstas mediante una interfaz gráfica de usuario, que automatiza el proceso.

Como todos los programas CAD, procesa imágenes de tipo vectorial, aunque admite incorporar archivos de tipo fotográfico o mapa de bits, donde se dibujan figuras básicas o primitivas (líneas, arcos, rectángulos, textos, etc.), y mediante herramientas de edición se crean gráficos más complejos. El programa permite organizar los objetos por medio de *capas* o estratos, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo. El dibujo de objetos seriados se gestiona mediante el uso de *bloques*, posibilitando la definición y modificación única de múltiples objetos repetidos.

Parte del programa AutoCAD está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. AutoCad, a partir de la versión 11, utiliza el concepto de *espacio modelo* y *espacio papel* para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D, de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala. La extensión del archivo de AutoCAD es .dwg, aunque permite exportar en otros formatos (el más conocido es el .dxf). Maneja también los formatos IGES y STEP para manejar compatibilidad con otros tipos de software de dibujo.

El formato.dxf permite compartir dibujos con otras plataformas de dibujo CAD, reservándose AutoCAD el formato.dwg para sí mismo. El formato.dxf puede editarse con un procesador de texto básico, por lo que se puede decir que es abierto. En cambio, el .dwg sólo podía ser editado con AutoCAD, si bien desde hace poco tiempo se ha liberado este formato (dwg), con lo que muchos programas CAD distintos del AutoCAD lo incorporan, y permiten abrir y guardar en esta extensión, con lo cual lo del .dxf ha quedado relegado a necesidades específicas.

Es en la versión 11, donde aparece el concepto de modelado sólido a partir de operaciones de extrusión, revolución y las booleanas de unión, intersección y sustracción. Este módulo de sólidos se comercializó como un módulo anexo que debía de adquirirse aparte. Este módulo sólido se mantuvo hasta la versión 12, luego de la cual, AutoDesk, adquirió una licencia a la empresa Spatial, para su sistema de sólidos ACIS.

El formato.dwg ha sufrido cambios al evolucionar en el tiempo, lo que impide que formatos más nuevos .dwg no puedan ser abiertos por versiones antiguas de AutoCAD u otros CADs que admitan ese formato. La última versión de AutoCAD hasta la fecha es el AutoCAD 2008, y tanto él como sus productos derivados (como Architectural DeskTop ADT o Mechanical DeskTop MDT) usan un nuevo formato no contemplado o trasladado al OpenDWG, que sólo puede usar el formato hasta la versión 2000.

Las aplicaciones del programa son múltiples, desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura.

CivilCAD contiene extensa ayuda en español y rutinas útiles para anotación automática de datos en líneas y arcos, generación de cuadros de construcción de polígonos y de curvas, reportes de puntos geométricos, memorias descriptivas y técnicas, resumen de áreas, generación automática de perfiles, secciones, curvas de nivel, cálculo de volúmenes en vialidades y plataformas, dibujo de polígonos, curvas y muchas utilerías más.

El módulo opcional de carreteras está diseñado para facilitar el diseño de alineamientos horizontales y verticales atendiendo a los lineamientos especificados en el reglamento de la SCT. Las características principales y alcances de este módulo son las siguientes:

- Se incluyen hojas de cálculo donde se pueden vaciar datos de nivelación diferencial de perfiles y seccionamiento por elevación o desnivel. Una vez vaciados los datos es posible generar reportes con salida en Excel y activar AutoCAD para generar automáticamente dibujos de perfiles y secciones, con la opción de marcar estaciones y triangulaciones sobre el eje de trazo.
- Se pueden diseñar curvas horizontales simples y espirales, con la posibilidad de anotar los datos resultantes. Después de seleccionar el tipo de camino e indicar velocidad y bombeo, los datos de sobreelevación, sobreelevación y grado de curvatura máximo y longitudes de transición son calculados de acuerdo a reglamento. El programa puede aceptar valores mayores a los calculados para casos obligados o especiales en donde no se pueda cumplir con reglamento. Las curvas ya dibujadas pueden modificarse editando los datos con la rutina correspondiente.
- Las curvas verticales pueden diseñarse indicando velocidad de proyecto, tiempo de reacción, parámetros de visibilidad y rebase (altura de ojo, objeto y faros, pendiente de haz luminoso). El programa calcula la longitud horizontal mínima admisible de acuerdo a los datos e inserta la curva horizontal en el perfil de proyecto. También es posible generar un reporte impreso con los datos de curvas verticales como estación, elevación sobre tangente y sobre curva, pendiente de entrada y salida y puntos de inflexión entre otros.
- Se incluye una rutina para generar cuadro de construcción de eje de trazo con la inclusión de datos de curva y nomenclatura de estaciones. Además se puede generar un reporte de eje de trazo para replanteo en terreno. Al procesar el eje de trazo para calcular volúmenes se generan de forma automática las

secciones tipo afectadas por sobreanchos y elevaciones, además del diagrama de curvas y reporte de sobreanchos y sobrelevaciones.

- Después de calcular volúmenes y generar el diagrama de curva masa es posible trazar líneas compensadoras para calcular y anotar datos de sobreacarreos, préstamos y desperdicios. Las líneas compensadoras pueden replantearse, actualizándose automáticamente los datos resultantes, permitiendo obtener los movimientos de material más eficiente por tanteos. Después de anotar datos de sobreacarreos se puede generar un reporte impreso, en donde se muestran los movimientos resultantes, áreas entre curva masa y líneas compensadoras, diferencia de ordenadas y distancia media de sobreacarreos, y datos finales de sobreacarreos y sentido (hacia delante o atrás).

3.4.- PROGRAMA DISPAV-5 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

Dispav-5, es un programa tipo interactivo que se desarrolló para simplificar el empleo del método de diseño de pavimentos de la UNAM, el cual permite calcular tanto carreteras de altas especificaciones como carreteras normales. Su fundamento es teórico-experimental, y para su aplicación se emplean conceptos y métodos de cálculo mecanicistas. Comparado con otros métodos internacionales reconocidos para el diseño de pavimentos arroja resultados satisfactorios.

El programa emplea secciones estructurales de hasta cinco capas, incorporando tanto el cálculo por deformación permanente, en el modelo elasto-plástico desarrollado en el informe 325 de las series del Instituto de Ingeniería, como el cálculo por fatiga empleando modelos elásticos de varias capas tal como se recomienda en dicho informe.

El método de diseño está fundamentado en la extensa experimentación realizada a escala natural, tanto en el campo como en el laboratorio, y los estudios analíticos llevados a cabo dentro del programa experimental del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Cabe mencionar que existe alta dependencia entre las características mecánicas de las mezclas asfálticas y las variaciones climáticas en la carretera, combinadas con frecuencia e intensidad de las solicitaciones de tránsito. Debido a este problema existen variaciones muy altas en los módulos de rigidez (módulos elásticos) de mezclas asfálticas durante la vida de servicio del camino.

La determinación del “módulo de rigidez equivalente”, que representa las condiciones normales de la carretera durante las diferentes épocas del año, presenta una dificultad importante para su determinación, en todos los métodos de diseño, y en la práctica éste es uno de los factores de diseño que requiere experimentación amplia y buen juicio del proyectista para llegar a un proyecto adecuado.

El programa permite dos procedimientos de cálculo:

1. Diseñar un pavimento, a partir de un tránsito de proyecto y de características mecánicas de materiales conocidos. En este caso se llega a la determinación de los espesores de capa requeridos para el tránsito de proyecto deseado.
2. Determinación de la vida previsible por deformación permanente y por agrietamiento debido a la fatiga del sistema de capas analizado.

El programa opera, de manera ejecutable en computadoras con sistemas operativos Windows 3.1, 3.11, Windows 95 / 98 / NT y XP, lo cual requiere que el disco duro tenga archivos fat. No requiere de instalación especial en la computadora y la velocidad de la misma puede ser de 66 MHz. en adelante.

Dispav-5, permite hacer el cálculo de diferentes espesores de capa para ciertas condiciones de carga en muy poco tiempo de forma segura y confiable, facilitando el diseño de pavimentos. De esta manera se ahorra tiempo y esfuerzo en el proceso de elaboración de proyectos para caminos rurales o de altas especificaciones.

3.5.- NEODATA

Neodata es un programa especializado en el análisis de precios unitarios que brinda una extensa base de datos, la cual se puede manipular para obtener los resultados requeridos por el calculista.

La filosofía de Neodata parte de sacar provecho a una de las características más notables del trabajo en computadora; copiar y editar.

En Neodata se podrá copiar uno los precios unitarios existentes en las bases de datos del programa y los pegará en su presupuesto para construir su propuesta. Se podrá modificar, cambiar o actualizar los datos en los que no se esté de acuerdo y a partir de ahí Neodata le ofrecerá una serie de formatos ya estructurados con los que podrá integrar su propuesta.

Este programa contiene un cotizador base llamado maestro que se actualiza cada mes descargando la versión más reciente por Internet de la página www.neodata.com.mx, esto nos brinda información reciente de una gran cantidad de insumos y maquinaria diversa usada en la construcción.

Por lo tanto el programa nos permite elaborar y revisar:

- Presupuestos.
- Análisis de precios.
- Ruta crítica GANTT y PERT.
- Estimaciones.
- Escalatorias.
- Reportes de propuestas técnicas y económicas.
- Reportes modificables.

Lo anterior se puede obtener con salida a Excel y Acrobat.

Se podrán ir mejorando las matrices de los precios de acuerdo a experiencias anteriores. Al calculista le toca evaluar si hace algún cambio en los costos de materiales, mano de obra y equipo, al igual que en los rendimientos efectivos de su personal de campo para que el presupuesto sea lo más apegado a la realidad.

Este es uno de los programas que se puede utilizar para el análisis de costos, en el cual podemos modificar y actualizar las matrices necesarias para la elaboración del presupuesto para caminos rurales o cualquier obra de infraestructura que requiera del cálculo de precios unitarios.

Capítulo 4**MANUAL DE PRÁCTICAS RECOMENDABLES PARA CAMINOS****4.1.- PLANEACIÓN**

La planeación y el análisis de caminos son actividades clave para garantizar que un camino satisface las necesidades presentes del usuario, que no esté sobrediseñado, que minimice los impactos al medio ambiente y a la gente, además de que tome en cuenta las necesidades futuras de la región.

Es de gran importancia localizar desde el principio a los caminos sobre terreno estable, en taludes moderados, en zonas secas alejadas de drenajes, y apartados de otras zonas problemáticas y difíciles. Al evadir las zonas problemáticas se pueden ahorrar importantes costos de diseño, construcción y mantenimiento, y se pueden minimizar muchos impactos indeseables. Sin una planeación y una buena localización, un camino puede no servir adecuadamente a sus usuarios debido a problemas de origen.

A continuación se muestra una serie de recomendaciones importantes en la planeación de caminos rurales. Algunas de las siguientes recomendaciones se obtuvieron del libro “Ingeniería de caminos rurales por Keller y Sherar”, (2004).

- Valorar la necesidad de que el camino rural pertenezca a una red integral de caminos la cual facilite la integración de la zona marginada al desarrollo económico o social. Prever si los caminos rurales son parte importante del plan de desarrollo urbano y del programa operativo anual (POA), en el caso de los gobiernos municipales.
- Realizar un estudio socioeconómico para valorar los posibles beneficios o perjuicios en la zona, como resultado de la construcción del camino. Para mayor información de este tema consultar las publicaciones técnicas 147, 216 y 234, todas ellas del Instituto Mexicano del Transporte.

- Realizar el análisis de transportación para el camino, a fin de determinar el sistema de caminos óptimo para una cierta zona, así como las necesidades de los usuarios y la evaluación de las opciones futuras.
- Mantener las especificaciones mínimas de caminos congruentes con las demandas y necesidades de los usuarios, con los Objetivos de Administración de Caminos y con la seguridad pública.
- Usar un enfoque de equipo interdisciplinario de trabajo para la planeación de caminos y coordinar el desarrollo con los propietarios locales de la tierra.
- Usar mapas topográficos, fotos aéreas, información de suelos, etc. para la planeación de la ruta óptima.
- Considerar necesidades de acceso de los usuarios del camino, tanto a corto plazo como a largo plazo.
- Limitar el área total alterada al minimizar el número, ancho y longitud de los caminos.
- Usar los caminos existentes únicamente si satisfacen las necesidades a largo plazo de la zona y si se pueden reconstruir para proporcionar drenaje adecuado y seguridad.
- Minimizar el número de cruces de arroyos.

Levantamiento, diseño y construcción de caminos

Son las tres etapas dentro del proceso en las cuales se combinan las necesidades de los usuarios del camino con los factores geométricos y los rasgos topográficos, y el camino se construye sobre el terreno. Es necesario el levantamiento del camino o del sitio para identificar los rasgos topográficos tales como drenajes, afloramientos y

pendientes del terreno, así como para agregar un cierto nivel de control geométrico a un proyecto. Un levantamiento puede ser muy simple, como el ejecutado con una brújula y una cinta métrica de tela, o puede resultar muy detallado usando instrumentos y un alto grado de exactitud en terrenos difíciles o para un camino de altas especificaciones.

En los elementos de diseño se incluye la geometría de la calzada, la velocidad de diseño, el drenaje, las estructuras para cruzar arroyos, las necesidades de estabilización de taludes, los tipos y usos de materiales, y los gradientes del camino. En la construcción intervienen todos los aspectos de la aplicación del diseño y de la adecuación del proyecto al terreno. Un enlace clave entre el diseño y la construcción lo constituye el uso de planos y dibujos estandarizados que muestran la manera en que debería quedar el proyecto, así como las especificaciones en las que se describe cómo se debe hacer el trabajo. Otro aspecto clave de la construcción, es el control de la calidad y la inspección.

Un aspecto muy importante a considerar es la programación de obra y que debido a las circunstancias en las que se manejan los recursos por parte de los gobiernos de nuestro estado y municipios no se toman en cuenta las actividades de movimientos de tierras cuando los suelos están muy húmedos o muy secos, o ante amenazas de tormentas. Se debe programar la construcción del camino y el uso de éste durante estaciones más templadas y más secas, siempre que esto sea posible, considerando que el recurso económico no siempre es la limitante para empezar a construir una obra.

4.2.- PROYECTO GEOMÉTRICO

4.2.1 Elementos básicos del proyecto geométrico

El proyecto geométrico de un camino está basado en ciertas características físicas del individuo como usuario del camino, de los vehículos y del camino mismo y a continuación se describen cada una de ellas.

El usuario.

El usuario, considerado individual o colectivamente, es el elemento crítico en la determinación de muchas de las características del tránsito. Las siguientes condiciones tanto del medio ambiente como las capacidades del organismo humano, pueden afectar el comportamiento del usuario:

- El ambiente atmosférico: estado del tiempo y visibilidad.
- Las obras viales: carreteras, ferrocarriles, puentes y terminales.
- La corriente del tránsito y sus características.
- El alcohol, deficiencias físicas y problemas emocionales.

Con respecto a las capacidades del organismo físico del usuario, resulta de vital importancia el uso de los sentidos y de ellos el que más relevancia tiene es el de la vista, pues gracias a ésta el individuo puede percatarse de lo que acontece a su alrededor, y cuando se trata de la operación de conducir un automóvil la agudeza visual, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento, la percepción de colores, la profundidad de recepción y la capacidad de ver el camino en la noche con escasez de luz, son habilidades indispensables que debe poseer la vista del usuario.

El vehículo.

La carretera debe proyectarse de acuerdo a las características del vehículo que la va a transitar, es por ello que se debe realizar un estudio donde se clasifiquen éstos y así mismo se evalúen sus características geométricas y de operación.

La clasificación de los vehículos que transitan por una carretera pueden dividirse en ligeros, pesados y especiales. Los vehículos ligeros son los de carga y/o pasajeros, que tienen dos ejes y cuatro ruedas; se incluyen en esta denominación los automóviles, camionetas y las unidades de carga ligera o pasajeros. Los vehículos pesados son unidades destinadas al transporte de carga o de pasajeros, de dos o más ejes y seis o más ruedas; en esta denominación se incluyen los camiones y los autobuses. Los vehículos especiales son aquellos que eventualmente transitan y/o cruzan el camino, tales como: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada u otros productos voluminosos; maquinaria agrícola; bicicletas y motocicletas; así como vehículos de tracción animal.

Las características geométricas y de operación en el proyecto de una carretera, deben de tenerse en cuenta las características geométricas y de operación de los vehículos. Las características geométricas están definidas por las dimensiones y el radio de giro. Las características de operación están definidas principalmente por la relación peso-potencia, la cual en combinación con otras características del vehículo y del conductor, determina la capacidad de aceleración y deceleración, la estabilidad en las curvas y los costos de operación.

Dado que una carretera debe proyectarse para que funcione eficientemente durante un determinado número de años, no deberán proyectarse los caminos solamente en función de las características del vehículo actual, sino que deberán actualizarse las tendencias generales de esas características a través de los años, para prever hasta donde sea posible las modificaciones futuras.

Volumen de tránsito.

Se entiende por volumen de tránsito cierta cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo y en el mismo sentido. Las unidades comúnmente empleadas son: vehículos por día o vehículos por hora. Se llama *Tránsito Diario Promedio Anual* (TDPA) al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un año. Otro parámetro importante son los volúmenes horarios, los cuales resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un

determinado punto en un periodo, entre el valor de ese periodo en horas. Los *volúmenes horarios máximos* son los que se emplean para proyectar los aspectos geométricos de los caminos y se les denomina *volumen directriz*, éste último equivale en México al 12% del T.D.P.A.

Para conocer los volúmenes de tránsito en los diferentes tramos de una carretera se utilizan como fuente los datos obtenidos de los estudios de origen y destino, los aforos por muestreo, los aforos continuos y estaciones permanentes.

Velocidad.

La velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresada, para velocidad constante, por la fórmula: $V = d/t$. Como la velocidad que desarrolla un vehículo queda afectada por sus propias características, por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas imperantes, quiere decir que la velocidad a la que se mueve un vehículo varía constantemente, causa que obliga a trabajar con valores medios de velocidad.

Una velocidad que es de suma importancia es la llamada *Velocidad de Proyecto* o *Velocidad Directriz* que no es otra cosa que aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características y el proyecto geométrico de un camino en su aspecto operacional. La velocidad de proyecto es un factor de primordial importancia que determina normalmente el costo del camino y es por ello por lo que debe limitarse para obtener costos bajos. Todos los elementos del proyecto de un camino deben calcularse en función de la velocidad de proyecto. Al hacer esto, se tendrá un todo armónico que no ofrecerá sorpresas al conductor. La selección de la velocidad de proyecto está influenciada principalmente por la configuración topográfica del terreno, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito y el uso de la tierra. Un camino en terreno plano o con lomerío suave justifica una velocidad de proyecto mayor que la correspondiente a la de un camino en terreno montañoso, un camino que cruce una región poco habitada justifica una velocidad de proyecto mayor que otro situado en una región poblada.

Al proyectar un tramo de camino, es conveniente, aunque no siempre factible, suponer un valor constante para la velocidad de proyecto. Los cambios en la topografía pueden obligar a hacer cambios en la velocidad de proyecto en determinados tramos. Cuando este sea el caso, la introducción de una velocidad de proyecto mayor o menor no se debe efectuar repentinamente, sino sobre una distancia suficiente para permitir a los conductores cambiar su velocidad gradualmente, antes de llegar al tramo de camino con distinta velocidad de proyecto.

Distancia de visibilidad.

A la longitud de carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables, se le llama *distancia de visibilidad*. En general, considerando dos distancias de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase. La distancia de visibilidad de parada es la mínima necesaria para que un conductor que transita a la velocidad de proyecto, o cerca de ella, alcance a ver un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él. Es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera. Esta distancia se forma por la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el pedal del freno y la distancia recorrida por el vehículo durante la aplicación de los frenos.

Se dice que un tramo de carretera tiene distancia de visibilidad de rebase, cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra.

La distancia de visibilidad de rebase se aplica a carreteras de dos carriles; en carreteras de cuatro o más carriles, la maniobra de rebase se efectúa en carriles con la misma dirección de tránsito, por lo que no hay peligro de interferir con el tránsito de sentido opuesto; las maniobras de rebase que requieran cruzar el eje de un camino

de cuatro o más carriles sin faja separadora central, son tan peligrosas que no deben permitirse.

4.2.2 Elección de ruta

La forma de llevar a cabo el reconocimiento de la zona en estudio depende de las condiciones de la región, pues unas veces será necesario hacerlo a pie, otras a caballo, en jeep, en avión o en helicóptero. Con el reconocimiento se pueden obtener los datos generales para formar croquis que completen los datos de las cartas geográficas y así hacer un plano aproximado de la región y los perfiles aproximados de las rutas probables. Se pueden utilizar herramientas nuevas disponibles en la red, de forma gratuita que ayuden a tener una visión más amplia y clara sobre la zona en estudio, como puede ser Google Earth.

En el reconocimiento el ingeniero anota todos los datos que crea que son convenientes y que le servirán posteriormente, tales como la composición de la estructura terrestre a través de reconocimientos superficiales que le permita predecir la estabilidad de un corte en una formación cavernosa o del tipo columnar. El ingeniero que realice el reconocimiento debe anotar las dificultades posibles en la construcción de puentes y alcantarillas, la carencia o la existencia de materiales pétreos para dichas obras, mano de obra en la localidad, etc.

La elección de ruta consiste en seleccionar una franja de la corteza terrestre donde se construirá una vía terrestre tomando en cuenta el derecho de vía. La elección de ruta es la etapa más importante del proyecto lo cual se refleja en los costos que ocasiona salvar los obstáculos y las dificultades que se presenten en las etapas posteriores.

En esta fase los trabajos son de carácter interdisciplinario interviniendo profesionales de diferentes ramas de la ingeniería, especialistas en proyecto geométrico, planeación y geólogos. Esto representa realizar un acopio exhaustivo de datos de la zona en estudio, mediante mapas de climas, geológicos y topográficos, así como también fotografías aéreas.

En nuestro país se pueden utilizar los planos y fotografías del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Para realizar el proyecto geométrico y la estructuración de una vía terrestre por medio de los recorridos, fotointerpretaciones y restituciones de plantas topográficas y de perfiles es posible obtener datos de pendientes longitudinales y transversales del terreno, tipo y densidad del drenaje natural, formaciones de rocas, suelos, presencia de fallas estructurales, plegamientos de la posición de echados, bancos de materiales, zonas pantanosas y de inundación.

Al concluir la etapa de elección de ruta se tendrá la memoria de informes de los diferentes recorridos y estudios, mapas y mosaicos fotogramétricos donde se marcará la ruta aceptada. Esto dará como resultado las justificaciones técnicas y económicas de la opción que se consideró más aceptable.

4.2.3 Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal es la proyección del centro de línea de una obra vial sobre un plano horizontal. Sus elementos son tangentes y curvas horizontales, los cuales se describen a continuación:

Tangentes: son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad, mientras que la longitud mínima esta definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación de las curvas.

Curvas circulares: son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; estas curvas pueden ser circulares simples o compuestas.

- *Curvas circulares simples:* se les denomina así cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular; en el sentido del cadenamamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha. Estas curvas tienen los siguientes elementos característicos:

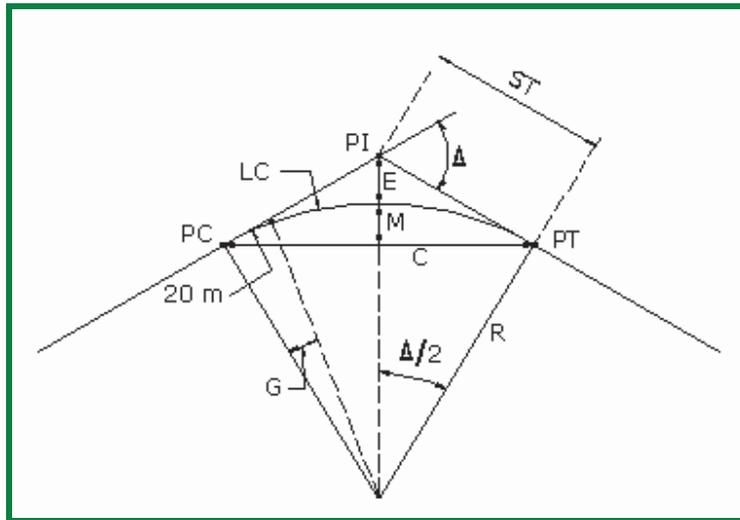


Figura 4.2.3.1 Elementos de una curva circular simple. (Vías de Comunicación por C. Crespo Villalaz, 2004)

1. Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco de 20 m. Se representa con la letra G:

$$G = \frac{1145.92}{R}$$

2. Radio de la curva. Es el radio de la curva circular, se simboliza con la letra R y queda definido con la siguiente expresión:

$$R = \frac{1145.92}{G}$$

3. Ángulo central. Es el ángulo subtendido por la curva circular y en las curvas circulares simple es igual a la deflexión de las tangentes, se simboliza como:

$$\Delta$$

4. Longitud de curva. Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se le representa como LC:

$$LC = \frac{20\Delta}{G}$$

5. Subtangente. Es la distancia entre el PI y el PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST:

$$ST = R \left(\tan \frac{\Delta}{2} \right)$$

6. Externa. Es la distancia mínima entre el PI y la curva, se representa con la letra E.

$$E = \left[R \sec \frac{\Delta}{2} \right] - R$$

7. Ordenada media. Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva y se simboliza con la letra M.

$$M = R - \left[R \cos \frac{\Delta}{2} \right]$$

8. Cuerda. Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva, se le denomina C. Si esos puntos son el PC y el PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga.

$$C = 2R \operatorname{sen} \frac{\Delta}{2}$$

- *Curvas circulares compuestas:* Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.
- *Curvas de transición:* Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere

al cambio de dirección como a la sobreelevación y a las ampliaciones necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

4.2.4 Alineamiento vertical

El alineamiento vertical es la proyección del desarrollo del centro de línea de una vía terrestre sobre un plano vertical, los elementos que lo componen son las tangentes verticales y las curvas verticales. Las tangentes verticales están definidas por su longitud y pendiente. La prolongación hacia delante de una tangente y la prolongación hacia atrás de la tangente siguiente se cortan en un punto de inflexión vertical (PIV), el cual está definido por el cadenamiento y la elevación.

Existen tres tipos de pendientes en las tangentes verticales que son: pendiente mínima, pendiente gobernadora y pendiente máxima. La pendiente mínima se requiere para asegurar el drenaje superficial de la corona del camino. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0.5% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas, en ocasiones podrá aumentar esa pendiente mínima debido a la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona.

La curva que mejor satisface el cambio gradual de una tangente a otra es la parábola, ya que si se intercala la rama de una parábola entre los dos puntos, se obtiene una variación uniforme de pendiente y además la entrada y salida resultan suavizadas porque en ellas la variación de pendiente es la mitad que para el resto de la curva.

$$y = Kx^2 + Px$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales.

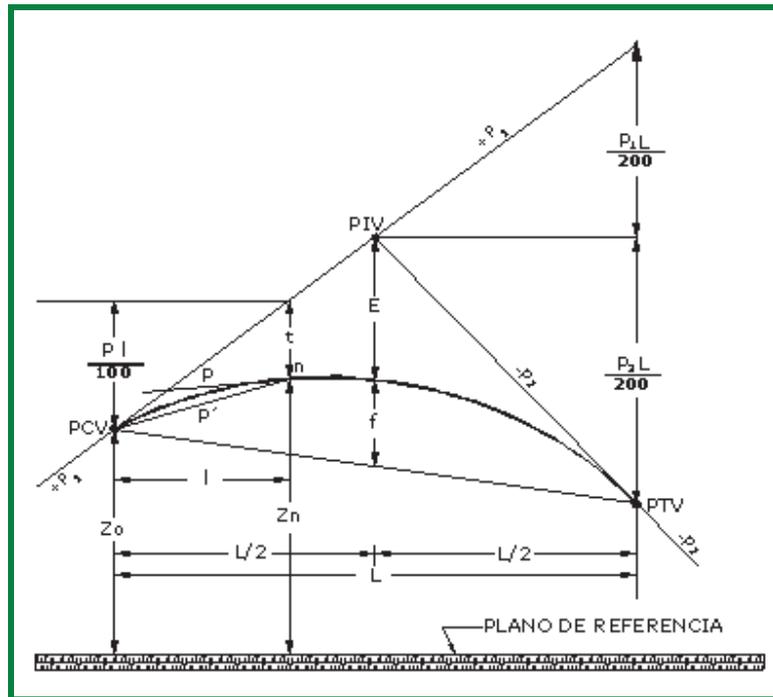


Figura 4.2.4.1 Elementos de una curva vertical en "cresta". (Manual de proyecto geométrico de carreteras. SAHOP, 1977).

PIV: Punto de intersección de las tangentes.

PCV: Punto en donde comienza la curva vertical.

PTV: Punto en donde termina la curva vertical.

n : Punto cualquiera sobre la curva.

P_1 : Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.

P_2 : Pendiente de la tangente de salida en por ciento.

P : Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.

P' : Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento.

L : Longitud de la curva.

E : Externa.

f : Flecha.

l : Longitud de curva a un punto cualquiera.

t : Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.

Z_0 : Elevación del PCV.

Z_n : Elevación de un punto cualquiera.

La pendiente gobernadora es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un nivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que se deben proyectar para ajustarse en lo posible al terreno natural.

La pendiente máxima es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen, la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno. Esta pendiente se empleará cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales, fallas y zonas inestables, siempre y cuando no se rebase la longitud crítica.

La longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido. Los elementos que aquí intervienen son el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito.

El proyecto de alineamiento vertical estará constituido por una combinación de pendientes verticales que dentro de las opciones estudiadas, hará que el tiempo de recorrido sea el menor. Existen dos tipos de curvas verticales en cresta y en columpio.

Las curvas verticales deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de ésta, se representa como PCV (principio de curva vertical) y como PTV (principio de tangente vertical) el punto común de la tangente y la curva al final de ésta.

Es conveniente que la longitud de las curvas verticales tenga un número par de estaciones de 20 m. y que el PCV coincida exactamente en una estación. La fórmula para calcular la elevación de las diferentes estaciones de 20 m.

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

En la que

Z_n = Elevación de un punto.

Z_{n-1} = Elevación del punto anterior.

P_1 = Pendiente de entrada.

A = Diferencia algebraica de pendientes.

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

n = Número de estaciones del PCV al punto considerado.

4.2.5 Secciones transversales

La sección transversal de un camino en un punto cualquiera de éste es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

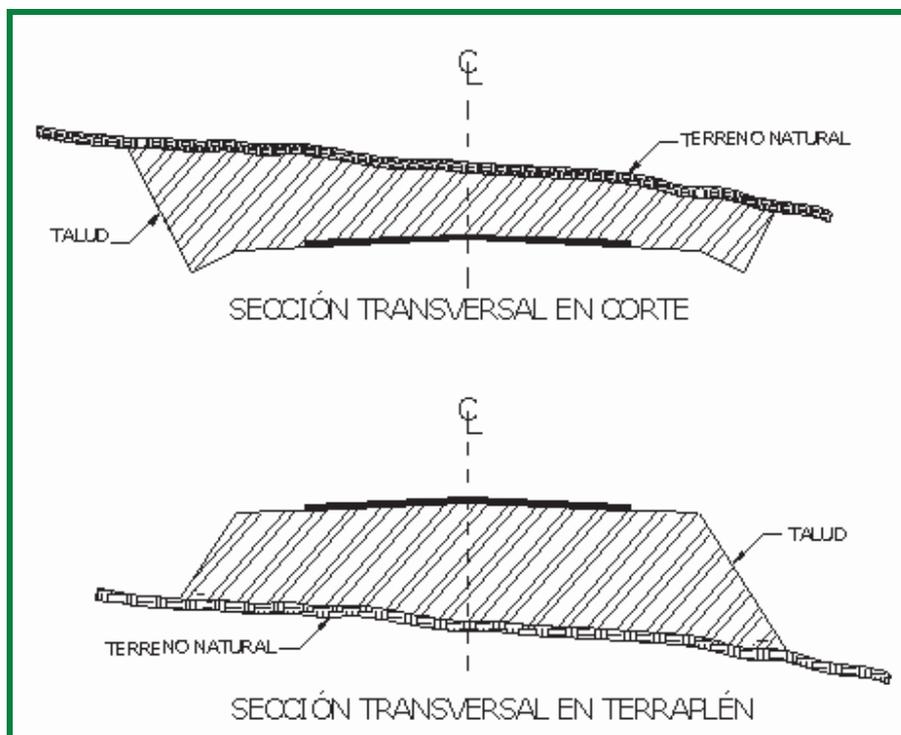


Figura 4.2.5.1 Tipos de secciones transversales en un camino. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

Habiendo trazado la línea definitiva en el terreno con todas sus curvas y habiéndola nivelado, se obtienen las secciones transversales en cada estación de 20 m y en todos aquellos puntos intermedios en los cuales haya cambio notable con respecto a las estaciones que le anteceden o le siguen. Estas secciones adoptan su ubicación de sección en corte o sección en terraplén según lo especifique el alineamiento vertical.

Los elementos que integran a la sección transversal son: la corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes, las partes complementarias y el derecho de vía. En las curvas del alineamiento horizontal, la sección transversal se denomina sobreelevación y es la pendiente que se da a la corona completa de la obra vial hacia el centro de la curva. Además de asegurar el drenaje, su función es contrarrestar, junto con la fricción la fuerza centrífuga que obra sobre los vehículos.

4.2.6 Proyecto de la subrasante y movimiento de tierras

Es preciso determinar los volúmenes tanto de corte como de terraplén para presupuestar. Se debe calcular el área de las distintas porciones consideradas en el proyecto de las secciones transversales de construcción.

Uno de los métodos más utilizados para obtener las áreas de las secciones es el *método gráfico*, el cual consiste en dividir la sección transversal en trapecios y dos triángulos extremos, mediante líneas verticales a una separación constante. Para entenderlo mejor, se toma como ejemplo la siguiente sección en terraplén.

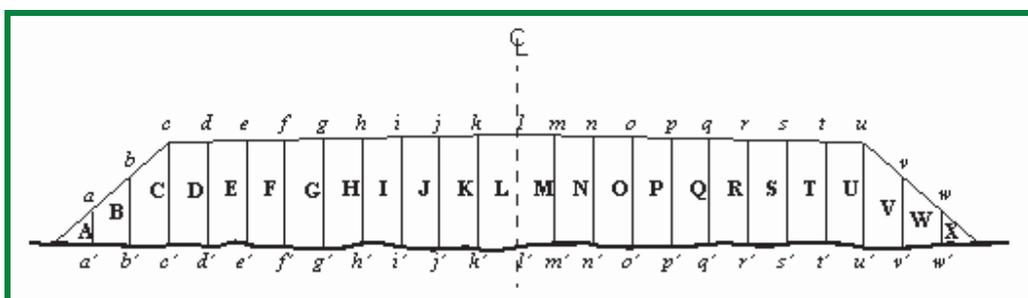


Figura 4.2.6.1 Método gráfico para determinar áreas. (Manual de proyecto geométrico de carreteras. SAHOP, 1977).

El área de la sección es igual a la suma de las áreas parciales.

$$AT = \left(\frac{a}{2}\right)S + \left[\frac{(a+b)}{2}\right]S + \left[\frac{(b+c)}{2}\right]S + \left[\frac{(c+d)}{2}\right]S + \left[\frac{(d+e)}{2}\right]S + \dots$$

O lo que es lo mismo, siendo constante S:

$$AT = S \left\{ \left(\frac{a}{2}\right) + \left[\frac{(a+b)}{2}\right] + \left[\frac{(b+c)}{2}\right] + \left[\frac{(c+d)}{2}\right] + \left[\frac{(d+e)}{2}\right] + \left[\frac{(e+f)}{2}\right] + \left[\frac{(f+g)}{2}\right] + \dots \right\}$$

O sea:

$$AT = S \left[\left(\frac{2a}{2}\right) + \left(\frac{2b}{2}\right) + \left(\frac{2c}{2}\right) + \left(\frac{2d}{2}\right) + \left(\frac{2e}{2}\right) + \left[\frac{2f}{2}\right] + \left[\frac{2g}{2}\right] + \dots \right]$$

Por lo tanto:

$$AT = S(a+b+c+d+e+f+g+\dots)$$

La expresión anterior no es muy exacta dado que las líneas verticales no coinciden en todos los casos con los puntos de cambio de pendiente del terreno, con los cerros, hombros y centro de la sección, sin embargo el error que se origina es función de la equidistancia S y lógicamente será menor conforme S sea más pequeña.

La aplicación del método gráfico, basada en esta expresión, consiste en acumular las distancias aa' , bb' , cc' , dd' , marcándolas en una tirilla de papel; una vez efectuado la operación en toda la sección, la distancia entre las marcas extremas en la tirilla, multiplicada por la equidistancia S, define el área total de la sección.

Cálculo de los volúmenes de tierra entre estaciones.

Una vez que se conocen las áreas de las diferentes secciones transversales se determina el volumen de tierras a mover, para ello se considera como ejemplo un tramo en recta todo en terraplén o todo en corte. La selección del sólido del camino, entre los perfiles transversales, es semejante a un prismoide.

El volumen del prismoide esta dado por la fórmula:

$$V = \left(\frac{d}{6}\right)(A_1 + A_2 + 4A_m)$$

En donde:

d = Distancia entre las bases o altura del prismoide.

A_1, A_2 = Áreas de las bases

A_m = Área de la sección media.

Entonces si las generatrices del prismoide son paralelas a un plano directriz, la sección media es igual a la media de las secciones extremas, es decir:

$$AT = \frac{(A_1 + A_2)}{2}$$

Y el volumen del prismoide vale:

$$V = \left(\frac{d}{6}\right)\left\{A_1 + A_2 + 4\left[\frac{(A_1 + A_2)}{2}\right]\right\} = \left(\frac{d}{6}\right)(A_1 + A_2 + 2A_1 + 2A_2)$$

$$V = \left[\frac{(A_1 + A_2)}{2}\right]d$$

$$AT = \left(\frac{d}{2}\right)(A_1 + A_2)$$

Por lo tanto, el volumen de material ya sea en corte o en terraplén comprendido entre dos secciones, se calculará tomando la suma de las áreas extremas y multiplicándola por la mitad de la distancia que las separa. En el caso de que dos secciones consecutivas sea una en corte y otra en terraplén, el sólido se denomina *de paso*.

Cuando las dos secciones consideradas sean mixtas de corte y terraplén, si los puntos de paso de las dos secciones están en una recta paralela al eje del camino, los volúmenes de corte y terraplén serán:

$$V_T = \left[\frac{(T_1 + T_2)}{2} \right] d$$

$$V_C = \left[\frac{(C_1 + C_2)}{2} \right] d$$

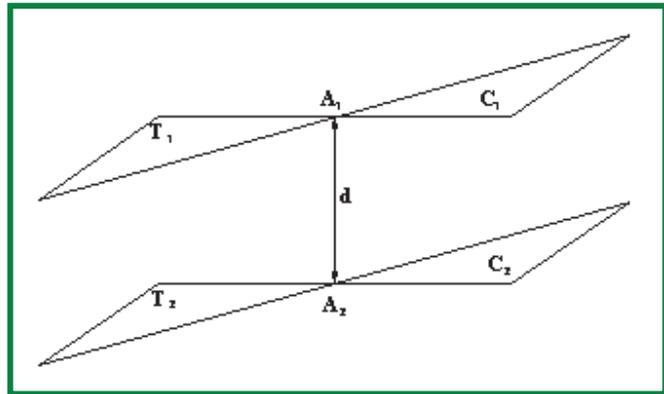


Figura 4.2.6.2 Secciones transversales mixtas. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

Si el punto de paso no se encuentra en la misma recta paralela al eje del camino, el volumen buscado se descompone en una parte formada por dos terraplenes, T_1 y T_2 , otra en corte C_0 y terraplén T_0 , y además una formada por dos cortes C_1 y C_2 .

Aplicando las fórmulas ya conocidas tenemos:

$$V_T = \frac{d}{2} \left(T_1 + T_2 + \frac{T_0^2}{T_0 + C_0} \right)$$

$$V_C = \frac{d}{2} \left(C_1 + C_2 + \frac{C_0^2}{C_0 + T_0} \right)$$

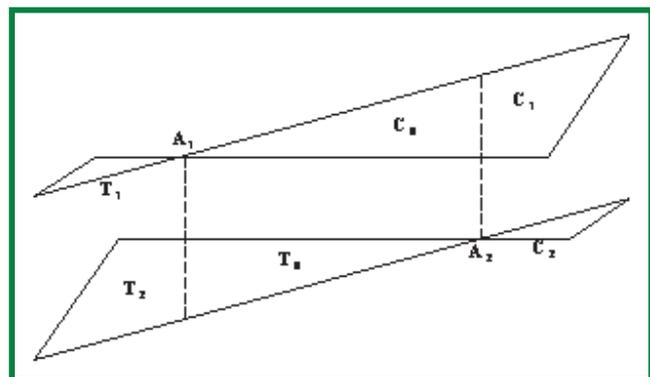


Figura 4.2.6.3 Secciones transversales mixtas irregulares. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

El programa CivilCAD permite calcular de forma rápida todos los volúmenes de cortes y terraplenes para determinar el diagrama de masas, lo anterior requiere de todos los datos de topografía del terreno natural y la subrasante del camino.

Diagrama de masas.

Al diseñar un camino es importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras. Dicha economía se logra excavando y rellenando solamente lo indispensable y acarreando los materiales la menor distancia posible y de preferencia cuesta abajo. Este estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento, se lleva a cabo mediante un diagrama llamado *Curva Masa* o *Diagrama de Masas*, posiblemente el método más preciso y sencillo conocido actualmente.

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas el cadenamiento correspondiente. Este diagrama se dibuja a una escala conveniente en el mismo papel donde se dibujó el perfil longitudinal del terreno y se proyectó la subrasante.

Para determinar los volúmenes acumulados se consideran positivos los de los cortes y negativos los de los terraplenes, haciéndose la suma algebraicamente, es decir, sumando los volúmenes de signo positivo y restando los de signo negativo. La secuela a seguir para el proyecto de la curva masa es de la siguiente manera:

- Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
- Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o de terraplén.
- Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).
- Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
- Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino.

- Se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo del material y método escogido.
- Se suman algebraicamente los volúmenes de cortes y terraplenes.
- Se dibuja la curva con los valores anteriores.

Como el diagrama de masas se tiene por abscisa a las estaciones del cadenamamiento, se dibuja de izquierda a derecha, y como los volúmenes de corte aumentan el valor de las ordenadas por tener signo positivo, resulta que la curva masa sube de izquierda a derecha en los cortes, teniendo un máximo donde termina el corte. A partir de ese punto, baja de izquierda a derecha ya que los volúmenes de los terraplenes hacen disminuir el valor de la ordenada, que seguirá decreciendo hasta donde termina el terraplén y empieza otro corte.

Se aconseja calcular y dibujar la curva masa por tramos de 500 m a un 1 km y hasta no quedar conforme no seguir con los siguientes tramos. Por simple inspección y algo de experiencia se varia la subrasante para tener una mejor compensación repitiendo el proceso señalado cuantas veces sea necesario. En términos generales, la línea de compensación de los acarrees mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa. Comparando varios diagramas de curva masa para un mismo tramo, el mejor será el más económico, es aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo prestamos, más el valor de los sobreacarreos del menor precio, siempre y cuando se refiera a un perfil aceptable. Los objetivos principales de la curva masa son los siguientes:

- Compensar volúmenes.
- Fijar el sentido de los movimientos del material.
- Fijar los límites del acarreo libre.
- Calcular los sobreacarreos.

- Controlar préstamos y desperdicios.

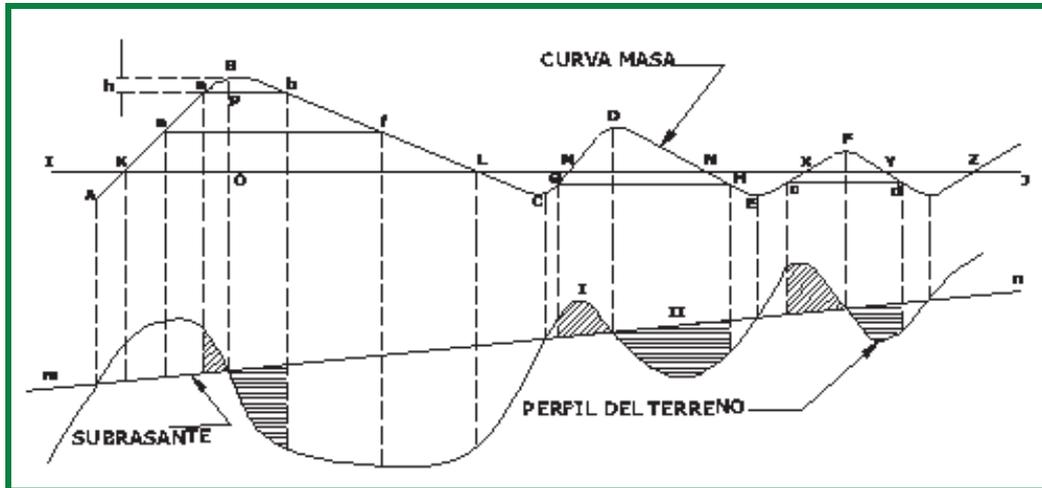


Figura 4.2.6.4 Diagrama de masas. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

Compensar volúmenes. Cualquier línea horizontal que corte una cima o un columpio de la curva masa, marca los límites de corte y terraplén que se compensan. Si se traza en la curva masa la línea GH, se corta la curva precisamente en los puntos G y H, en la curva masa. El volumen comprendido entre G y D es suficiente para construir el terraplén de D a H, o bajando referencias al perfil del camino, que el volumen del corte marcado I llena el terraplén II. La línea GH resuelve lo referente a los volúmenes I y II pero no indica lo que debe hacerse con el resto del corte ni hasta donde debe acarreararse. Si se traza la línea horizontal II que corta todas las curvas, se tendrá que el corte KB es suficiente para el terraplén BL, que con el corte MD se construirá el terraplén DN, que el terraplén LC se construirá con el corte CM, que el terraplén NE se construirá con el corte EX. Bajando al perfil del camino las referencias de los puntos K, L, M, N y X, se obtienen los límites de los movimientos de los cortes y de los terraplenes.

Sentido de los movimientos. Los cortes que en la curva masa queden arriba de la línea de compensación se mueven hacia delante, y los cortes que queden debajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

Distancia de acarreo libre. En la construcción de terracerías con volúmenes considerables, la longitud del acarreo necesario para colocar los materiales de excavación en los terraplenes correspondientes, ejerce una influencia importante en el costo de operaciones. Debido a que ocurren en estos casos variaciones considerables en la longitud del acarreo del material excavado, se ha adoptado la práctica de considerar dentro del precio de excavación, del acarreo del material a cierta distancia que se le denomina distancia de acarreo libre. Esta distancia se a fijado sea de 20 m, o sea una estación, y puede ser modificada. La distancia de acarreo libre es la distancia a la que cada m^3 de material puede ser movida sin que se haga un pago adicional. Para determinar los volúmenes de acarreo libre, se toma un vector que horizontalmente represente a la escala del cadenamamiento (1:2000) el valor del acarreo libre (20 m) y se va corriendo verticalmente hasta que toque a dos puntos de la curva; la cantidad de material movido esta dado por la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva comprendida, (h en la figura anterior).

En la figura de la curva masa anterior, las líneas *ab* y *cd* se supone que miden una estación y por lo tanto marcan el acarreo libre. Bajando hasta el perfil del terreno los puntos donde estas horizontales *ab* y *cd* cortan a la curva masa, se tienen los límites de cortes y terraplenes correspondientes al acarreo libre. Los volúmenes de los cortes son, para cada caso, las diferencias de las ordenadas entre a y B y entre c y F.

Distancia de sobreacarreo. Es el transporte de los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre. A la distancia que hay del centro de gravedad del corte (o préstamo) al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia media de sobreacarreo, y se evalúa en estaciones de 20 m. y decimos de estación. El valor del sobreacarreo se obtiene multiplicando esa distancia por los metros cúbicos de la excavación, medidos a la misma excavación, y por el precio unitario correspondiente del m^3 por estación. Para determinar la distancia media de sobreacarreo, se divide OP en dos partes iguales y por ese punto se traza la horizontal que se encuentra a la curva masa en los puntos e y f que tienen la propiedad de encontrarse en las ordenadas que pasan por los centros de gravedad de las masas movidas. A La

distancia entre los puntos anteriores, medida hasta los décimos de estación se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia del sobreacarreo.

Cuando la curva masa afecte formas irregulares como se muestra en las figuras siguientes, las distancias de sobreacarreo determinadas por el procedimiento anterior pueden no ser precisas. En esos casos es preferible encontrar por medio del planímetro las áreas A y B y dividir su suma entre el volumen V para encontrar la distancia de sobreacarreo, teniendo en cuenta la escala, necesitándose a veces, resolver el problema en acarreo compuesto, agregando a lo anterior el sobreacarreo obtenido de la suma de (a+b) entre v ya que el área entre la curva masa y una horizontal representa el producto del volumen por la longitud media de acarreo.

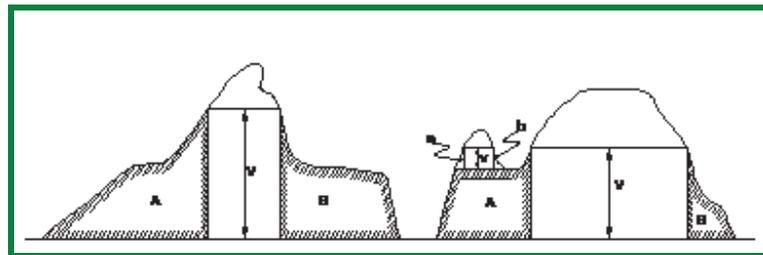


Figura 4.2.6.5 Curva masa con formas irregulares. (Vías de Comunicación por C. Crespo Villalaz, 2004).

Préstamos y desperdicios. Si se determina correctamente, con anterioridad, los factores de abundamiento y de reducción de los materiales, se puede observar que los volúmenes de los cortes son suficientes para construir los terraplenes y no hay desperdicio. Sin embargo, es muy común que las determinaciones de los factores antes mencionados no se lleven a cabo y sean nada más supuestos, con lo cual la curva masa no se cumple enteramente y los cortes no resultan suficientes para terraplenar, siendo necesario hacer préstamos de materiales. Si en un determinado caso se observa que los préstamos se repiten sistemáticamente puede modificarse el proyecto de la subrasante. Si los préstamos son eventuales, se modifica la curva masa corrigiendo los abundamientos o reducciones de acuerdo a la realidad.

Cuando por una determinada causa sea necesario hacer uso de un préstamo, en muchas ocasiones se presenta duda de si es más conveniente tomar los materiales

de un préstamo o sobreacarrearlos de un corte. Para ello es necesario determinar la distancia económica de sobreacarreos. Así, el costo del metro cúbico de préstamo y del costo de ese mismo metro cúbico acarreado de un corte, se obtiene la distancia económica de sobreacarreos de la siguiente manera, a manera de ejemplo:

Costo del metro cúbico del préstamo.....\$ 8.00
 Costo del sobreacarreos por metro cúbico y por estación de 20 m\$ 0.40

$$\text{Distancia de acarreo} = \frac{8.00}{0.40} = 20.0 \text{ estaciones.}$$

Por lo tanto el número de metros a los cuales se puede sobreacarreos será de $20 \times 20 = 400$. Aumentándole a esa distancia los 20 m del acarreo libre, se tienen 420 m como la máxima distancia a la que se puede acarrear de un corte, ya que más allá de esa distancia conviene más que el contratista traiga material de un préstamo.

Procedimientos para el cálculo de la curva masa.

Existen dos procedimientos diferentes para el cálculo de la curva masa, ambos presentan resultados satisfactorios si se eligen adecuadamente los coeficientes por cambio de volumen. Para el cálculo del volumen de sobreacarreos, siguiendo cualquiera de los dos procedimientos, se multiplicará el volumen del material compacto (en la excavación) sobreacarreos, por la distancia de sobreacarreos.

Procedimiento de abundar los cortes. Los volúmenes de corte de cada estación se multiplican por un coeficiente mayor que la unidad que corresponde al abundamiento que sufrirá el material. Este coeficiente es generalmente llamado *factor de abundamiento*, y se determina de la forma siguiente:

$$F.A. = \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_s} \right) = \left(\frac{V_s}{V_b} \right)$$

En la que:

γ_b = Peso volumétrico del material en el banco o corte.

γ_s = Peso volumétrico del material suelto.

V_s = Volumen del material suelto.

V_b = Volumen del material en el banco o corte.

MATERIAL	FACTOR DE ABUNDAMIENTO
Tierra negra	1.00 a 1.25
Material arenoso	1.10 a 1.30
Roca suelta	1.30 a 1.40
Roca fija	1.40 a 1.65

Tabla 4.2.6.1 Factores aproximados de abundamiento para los cortes. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

Los volúmenes de los terraplenes no sufrirán modificación, calculándose con las áreas de construcción. Al calcular los sobreacarreos habrá que tomar los volúmenes sobreacarreos del material compacto; para esto se dividirá la ordenada del volumen sobreacarreado entre el factor de abundamiento usado.

Procedimiento de corregir los volúmenes de los terraplenes. En este procedimiento los volúmenes de los cortes no sufren modificación, en cambio los volúmenes de los terraplenes se multiplican factores (generalmente menores a la unidad) para convertirlos en volúmenes compactos, para ello es necesario prever qué materiales formarán los terraplenes en cada sección.

El factor de reducción del banco o corte al terraplén será:

$$F.A. = \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_t} \right) = \left(\frac{V_t}{V_b} \right)$$

En la cual:

γ_b = Peso volumétrico del material en el banco o corte.

γ_t = Peso volumétrico del material en el terraplén (como primera aproximación se puede tomar un porcentaje del peso volumétrico máximo).

V_t = Volumen del material en el terraplén.

V_b = Volumen del material en el banco o corte.

Con este procedimiento los volúmenes acarreados quedan a base de material compacto y gráficamente se pueden apreciar en el diagrama, sin necesidad de hacer correcciones.

MATERIAL	FACTOR DE REDUCCIÓN
Tierra negra	0.98 a 1.00
Material arenoso	0.75 a 0.90
Roca suelta	0.70 a 0.75
Roca fija	0.60 a 0.70

Tabla 4.2.6.2 Factores aproximados de reducción para los terraplenes. (Vías de Comunicación por Crespo, 2004).

A continuación se describe el procedimiento recomendable para realizar el proyecto geométrico para caminos rurales con la ayuda de las herramientas GPS, Google Earth y CivilCAD, este último se ejecuta sobre la plataforma de AutoCAD.

Los dispositivos GPS, tienen diferentes funciones las cuales nos permiten personalizar su uso y aplicación. Estos dispositivos pueden guardar rutas automáticamente de todos los desplazamientos que se realicen, además de marcar puntos de interés donde el usuario crea conveniente.

Prácticas recomendables:

- Realizar un recorrido sobre la zona en estudio con un dispositivo GPS, cuidando que tenga buena señal satelital todo el tiempo que dure el recorrido, la opción de guardar ruta automáticamente debe estar activada.
- Marcar todos los puntos de interés ingenieril encontrados en el recorrido como son: cruces de arroyos, escurrimientos superficiales, zonas inestables, praderas inundadas, bancos de materiales, etc., para su posterior análisis en gabinete.
- El mismo día del recorrido se deben obtener muestras de suelo de la ruta en estudio para poder analizar los materiales en el laboratorio, mientras se procesan los datos del GPS en la computadora.
- Todos los datos recabados en el dispositivo GPS se deben descargar en el programa base del GPS (MapSource), dependiendo de la marca del dispositivo. Este procedimiento ayuda a verificar la ruta trazada, con la que se importará en un archivo con extensión *.txt.
- Una vez descargados los datos se debe crear un archivo con extensión *.txt (bloc de notas), para importarlo a CivilCAD. Se pueden crear diferentes archivos *.txt, para cada tipo de información que se quiera importar, esto con la finalidad de tener varias capas con diferente información facilitando su manejo.
- Con toda la información organizada en CivilCAD se procede a realizar un fotomontaje de la ruta trazada sobre las fotos satelitales del Google Earth o fotos disponibles en el INEGI. También existen cartas topográficas, geológicas u otra información del INEGI que pueden ser insertada en el mismo archivo para mayor información de la zona. Esta información agiliza la verificación de la altimetría ya que nos indica con claridad las zonas afectadas por el trazo.

Cuando se tiene el trazo central, se procede a verificar la altimetría del trazo con una estación total o un GPS de precisión milimétrica RTK. (si se usa estación total se tiene que georeferenciar).

- Rectificar con el programa CivilCAD todas las curvas verticales y horizontales, así como los volúmenes de cortes, terraplenes y estructura del pavimento para poder elaborar el presupuesto. Para mayor información consultar el manual de ayuda de CivilCAD en la sección de carreteras SCT.

4.3.- HIDROLOGÍA

Las dimensiones de las estructuras de drenaje deberán estar basadas en un cierto caudal razonable de diseño, así como en las características del sitio y en consideraciones ambientales tales como zonas pesqueras. La determinación del caudal correcto de diseño o de un valor razonable es de importancia fundamental, para que la estructura pueda funcionar correctamente y para prevenir fallas en las estructuras.

Un caudal razonable de diseño se basa comúnmente en una tormenta que tiene una frecuencia de recurrencia (periodo de retorno) de 20 a 100 años, dependiendo del tipo y valor de la estructura y de los reglamentos locales. Cualquier alcantarilla tiene una capacidad de flujo finita que no debería excederse. Los puentes también tienen una capacidad específica para la sección transversal de diseño, pero es generalmente grande. El diseño de cruces para condiciones de estiaje se basa en estimaciones tanto de los caudales mínimos como de los máximos para ese drenaje en particular. La mayoría de los métodos de determinación del caudal implica la definición o estimación del área de drenaje. Este trabajo usualmente se realiza mediante la delineación del área de la cuenca de captación sobre un mapa topográfico.

El Método Racional nos brinda una solución simple y el cual esta basado en la precipitación pluvial, para determinar la descarga de pequeñas cuencas de captación, con un área de drenaje no mayor de aproximadamente 120 hectáreas. El Método Talbot recurre directamente al Método Racional y puede resultar útil para hacer una estimación preliminar del diámetro de tubería necesario, en función del área de drenaje. Sin embargo, el Método Talbot no toma en consideración la intensidad variable de la lluvia ni el periodo de retorno, por lo que carece de precisión. En situaciones ideales se podrá contar con métodos estadísticos basados en análisis de regresión de datos regionales de flujo en arroyos o con datos reales de gastos en arroyos locales, y se podrá usar esta información.

En cuencas de captación extensas se puede contar con datos específicos de estaciones de aforo, los cuales se podrían analizar estadísticamente y usarse en el diseño hidráulico para determinar los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno. Las marcas de niveles altos del agua y las mediciones de la geometría del cauce se pueden usar junto con la Ecuación de Manning para determinar la velocidad de flujo y por lo tanto el volumen de flujo (descarga, o capacidad) a través del cauce para un cierto nivel máximo del agua. Se puede recurrir a una gran variedad de métodos disponibles para el diseñador, a fin de determinar los caudales de diseño. Se debería usar cuando menos un método analítico e idealmente un par de métodos para comparar los resultados entre sí y ganar confianza en sus valores del caudal de diseño.

Método Racional

Se usa con mucha frecuencia para la determinación de caudales en cuencas de captación pequeñas y se puede aplicar en una gran variedad de zonas geográficas. Resulta particularmente útil cuando no se tienen datos de flujo de arroyos locales y se puede usar para hacer una estimación aproximada del caudal para grandes cuencas de captación, a falta de otras opciones. Es por eso que la Fórmula Racional se presenta a continuación y se explicará brevemente. Mayor información detallada acerca de su uso se puede encontrar en referencias tales como *Minimum Impact Low-Volume Roads Manual* o en el Manual FHWA HDS4 - *Introduction to Highway Hydraulics*.

La fórmula Racional.

Para determinar el volumen de flujo:

$$Q = \frac{CiA}{362}$$

Donde:

Q = Caudal (escurrimiento), en metros cúbicos por segundo (m³/s).

C = Coeficiente de escurrimiento. Este coeficiente se selecciona de tal manera que refleje las características de la cuenca de captación, tales como topografía, tipo de suelo, vegetación y uso de suelo.

i = Intensidad promedio de lluvia para la frecuencia seleccionada y para una duración igual al Tiempo de Concentración, en milímetros por hora.

A = Área de la cuenca de captación, en hectáreas.

Coeficiente de Escurrimiento (C), sus valores se presentan en la tabla 4.3.2. En estos valores se reflejan las diferentes características de la cuenca de captación que afectan el escurrimiento. El diseñador debe desarrollar experiencia y usar su criterio para seleccionar el valor apropiado de C dentro del intervalo de variación mostrado. Puede observarse que el valor de C es posible que cambie en el curso de la vida útil de la estructura, como puede ser debido a cambios en el uso del suelo de un bosque para convertirse en terrenos agrícolas, o como resultado de un incendio en la cuenca de captación.

Área (A) es simplemente la superficie de la cuenca de captación que contribuye con escurrimientos hacia el cruce de drenaje. Sus límites abarcan desde uno de los parteaguas de drenaje hasta el opuesto y hacia abajo hasta llegar al cruce. En la superficie de un camino, el “área de drenaje” es el talud del corte y el área de la superficie de la calzada entre drenes transversales o las cunetas de salida.

Intensidad de Lluvia (i) es el tercer factor, y el que resulta más difícil de obtener. Se expresa como la intensidad promedio de lluvia en milímetros por hora (mm/h) para una cierta frecuencia de recurrencia y para una duración igual al Tiempo de Concentración de la cuenca de captación. Al inicio de una tormenta, el escurrimiento desde partes distantes de la cuenca de captación no ha llegado al punto de descarga. Una vez que el escurrimiento alcanza el punto de descarga, más allá del tiempo de concentración, tendrá lugar un régimen de flujo estable. Este periodo inicial constituye el “Tiempo de Concentración”. Para el caso de cuencas de captación muy pequeñas,

se recomienda un tiempo mínimo de concentración de 5 minutos para encontrar la intensidad que se usará en la determinación de los caudales de diseño.

Los valores típicos máximos de intensidad para un evento de 25 a 50 años en regiones desérticas es de entre 75 y 100 mm/h, aproximadamente; algunas regiones costeras y selváticas, o tropicales presentan intensidades máximas de entre 200 y 400 mm/h, o mayores; y la mayoría de las regiones, incluyendo las zonas semiáridas, los bosques de montaña, y las áreas costeras, poseen típicamente valores de entre 100 y 250 mm/h. Debido a la amplia gama de valores, y a la magnitud de la variación local que puede ocurrir alrededor de islas y de montañas, los datos locales son muy deseables para el trabajo de diseño del proyecto.

A continuación se presenta algunas prácticas recomendables, algunas extraídas del libro de Ingeniería de caminos rurales por Keller y Sherar, 2004.

- Analizar y localizar rastros de escurrimientos naturales para determinar un flujo aproximado en época de lluvias.
- Usar los mejores métodos hidrológicos disponibles para determinar los caudales de diseño.
- Donde resulte apropiado, usar estructuras de drenaje que no sean sensibles a las predicciones exactas de flujo, tales como cruces en estiaje (vados) y vados superficiales transitables, en comparación con tubos de alcantarilla.
- Agregar un bordo libre o capacidad adicional a estructuras en drenajes con caudales inciertos o en cuencas de captación que tengan usos cambiantes del suelo, generalmente del orden de 120 a 150%.
- Para minimizar riesgos a estructuras, la frecuencia recomendada de tormentas (periodo de retorno) para el diseño de alcantarillas es de 20 a 50 años, y se

recomienda de 100 a 200 años para puentes o drenajes con problemas ambientales críticos.

- Para alcantarillas instaladas en zonas con datos hidrológicos limitados o con diseños inadecuados, incluir protección por derrames (desbordamiento) para reducir el riesgo de falla total o el desvío de arroyos.
- Hacer participar a hidrólogos, biólogos de pesquerías e ingenieros en el proceso de diseño hidrológico e hidráulico.

MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE CUENCAS DE CAPTACIÓN	
Tamaño de la cuenca	Análisis típico
Pequeña (hasta 120 ha o acres)	Método Racional, Método de Talbot, experiencia local
Mediana (hasta 4,000 ha o acres)	Análisis de regresión, marca de niveles altos de agua – Manning, experiencia local
Grande (más de 4,000 ha)	Datos de aforos, Marca de niveles altos de agua, análisis estadísticos o de regresión.

Tabla 4.3.1 Métodos de análisis para diferentes tamaños de cuencas de captación. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

MÉTODO RACIONAL VALORES DE "C"	
Uso o tipo de suelo	Valor de "C"
<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura <ul style="list-style-type: none"> Suelo desnudo Campos cultivados (suelo arenoso) Campos cultivados (suelo arcilloso) 	<ul style="list-style-type: none"> 0.20 - 0.60 0.20 - 0.40 0.30 - 0.50
<ul style="list-style-type: none"> • Pasto <ul style="list-style-type: none"> Praderas de césped Áreas escarpadas con pastos 	<ul style="list-style-type: none"> 0.10 - 0.40 0.50 - 0.70
<ul style="list-style-type: none"> • Regiones Arboladas / Bosques <ul style="list-style-type: none"> Zonas arboladas con terreno a nivel Zonas boscosas con laderas empinadas Zonas desnudas, abruptas y rocosas 	<ul style="list-style-type: none"> 0.05 - 0.25 0.15 - 0.40 0.50 - 0.90
<ul style="list-style-type: none"> • Caminos <ul style="list-style-type: none"> Pavimento asfáltico Pavimento de cantos rodados o concreto Superficie de grava Superficie con suelo nativo 	<ul style="list-style-type: none"> 0.80 - 0.90 0.60 - 0.85 0.40 - 0.80 0.30 - 0.80
<ul style="list-style-type: none"> • Zonas urbanas <ul style="list-style-type: none"> Residenciales, planas Residenciales, moderadamente empinadas Comerciales o céntricas 	<ul style="list-style-type: none"> 0.40 - 0.55 0.50 - 0.65 0.70 - 0.95

Tabla 4.3.2 Método Racional valores de "C". (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

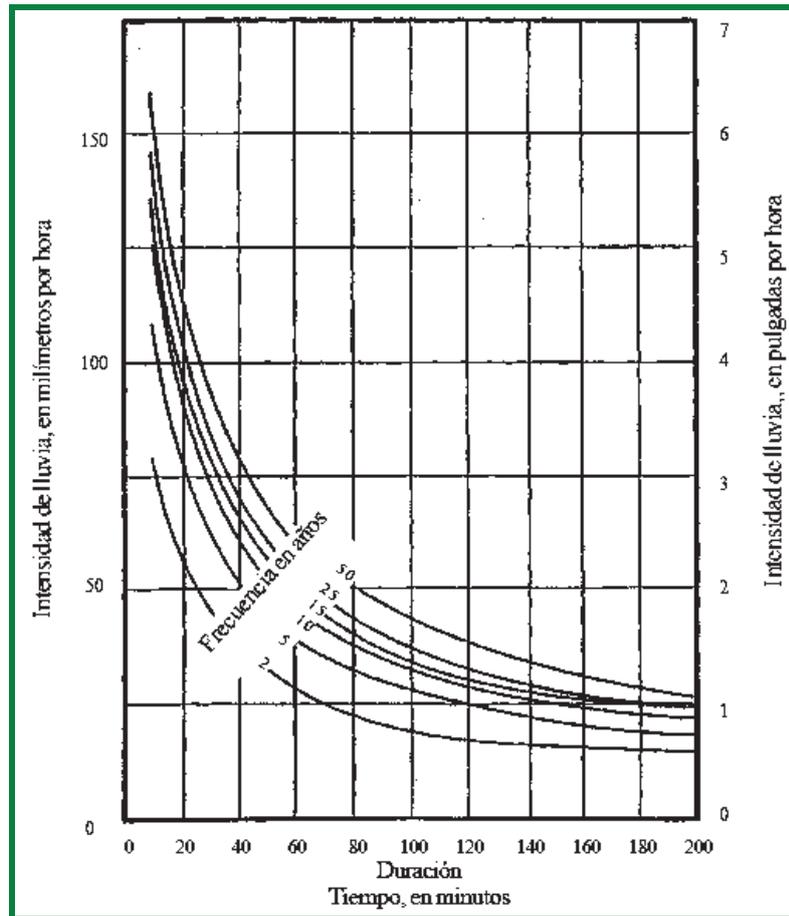


Figura 4.3.1 Curvas típicas de frecuencia de intensidad – duración (FHWA Hydraulic Desing Series No. 4, 1997).

Un cruce de drenaje en el camino puede ser un punto crítico y además vulnerable si la estructura de drenaje falla. Por lo tanto, los cruces de drenaje deben ser diseñados para resistir el escurrimiento de la tormenta apropiada, considerando los escombros que se acarrean o los posibles desbordamientos.

Formula de Manning

La fórmula de Manning se puede usar para calcular la velocidad promedio del flujo (V) en cualquier canal o arroyo natural con flujo uniforme.

Esta fórmula se puede resolver fácilmente para un canal dado cuando se usa el tirante conocido o supuesto. Sin embargo, para determinar el tirante que producirá una cierta descarga dentro de un canal, hace falta una solución por aproximaciones sucesivas.

El caudal que fluye por un canal (**Q**) es igual al producto de la velocidad promedio del flujo por el cauce (**V**) por el área (**A**) de la sección transversal del canal. Para determinar la descarga (**Q**) en drenajes naturales, canales y tubos trabajando sin presión, se aplica la siguiente ecuación:

Descarga = (Velocidad) x (Área)

o

$$Q = VA$$

Donde:

Q = descarga, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

V = velocidad promedio del flujo, en metros por segundo (m/s).

A = área de la sección transversal, en metros cuadrados (m²).

Para calcular la velocidad promedio del flujo:

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

Donde:

V = velocidad promedio del flujo (metros/segundo).

n = coeficiente de rugosidad (usualmente entre 0,04 - 0,07 para canales naturales).

S = gradiente del canal (metros/metro).

R = radio hidráulico (metros) = **A/P**.

Donde **A** y **P** son:

A = área de la sección transversal del canal.

P = perímetro mojado.

Coefficiente de Rugosidad (n) varía considerablemente dependiendo de las características de un canal o con la tersura de un canal, tubo, etc. Los valores “n” de Manning para diversos canales naturales y artificiales se encuentran en muchos manuales y guías de hidráulica. Los canales abiertos lisos con fondo de gravas tienen valores comprendidos entre 0,035 y 0,055. Los canales muy tortuosos con vegetación, o los canales muy rocosos presentan valores de entre 0,055 y 0,075. Los canales lisos de tierra o de roca tienen valores de 0,020 a 0,035. Los valores de rugosidad generalmente se incrementan a medida que aumenta la vegetación y los escombros dentro del canal, conforme aumenta lo sinuoso de su trayectoria, y en la medida que aumenta el tamaño promedio de los materiales del canal. El valor disminuye ligeramente conforme aumenta el tirante de agua.

Pendiente (S) del cauce o del canal de drenaje se determina para el tramo local del canal que se va a analizar, al dividir la elevación, o altura en ese tramo entre la longitud de dicho tramo. Esta pendiente se mide generalmente dentro del cauce propiamente dicho, aguas arriba y aguas abajo del sitio, e idealmente también se verifica en un plano topográfico.

Radio Hidráulico (R) se determina a partir del área de la sección transversal (**A**) dividida entre el perímetro mojado (**P**). El perímetro mojado es simplemente la distancia a lo largo del fondo del canal y/o de los lados que permanece bajo el agua, o dentro del área (**A**) del flujo. Las áreas deben obtenerse de una o varias secciones representativas del canal de flujo.

Las velocidades del flujo también se pueden determinar en el campo siempre y cuando se pueda medir el flujo superficial durante la ocurrencia de tormentas. Ésta es la distancia que un objeto, como puede ser un tronco o una vara, recorre en la parte media del arroyo en el transcurso de (o dividido por) un cierto intervalo corto de tiempo. La velocidad promedio del flujo será del orden de 0,8 veces, o de 80% del valor de la velocidad superficial. Las velocidades máximas promedio más comunes en arroyos y ríos oscilan entre 1,5 y 3 m/s para terreno plano y entre 2 y 4 m/s en cauces montañosos abruptos. En los canales más tendidos se podrán encontrar de hecho

velocidades más rápidas del flujo que en los canales más empinados debido a sus características típicas de menor rugosidad.

El flujo a lo largo de una sección tangente larga del arroyo, o el flujo paralelo (**V_p**) al arroyo se supone que son iguales a las dos terceras partes o al 67% de la velocidad promedio (**VAVE**). El flujo en una sección curva del arroyo, con un flujo que choca, tiene una velocidad incidente supuesta (**VI**) igual a las cuatro terceras partes o 1,33% de la velocidad promedio (**VAVE**). Por lo tanto, el enrocamiento de protección en un área con flujo relativamente rápido, tal como en un meandro de un canal, soportará mayores esfuerzos y necesitará fragmentos más grandes de roca que los del tamaño necesario en un tramo recto del canal.

En la figura 4.3.2 se muestra una correlación útil entre la velocidad del agua (velocidad del flujo) y el tamaño del enrocamiento de protección (diámetro) necesario para proteger las márgenes del arroyo sin ser arrastrado.

La Curva *Ibash Curve* indica el tamaño máximo de roca que se podría considerar en una aplicación crítica. Si no se dispone de roca grande adecuada entonces se podrá recurrir a roca inyectada con cemento, mampostería o gaviones.

Idealmente el enrocamiento de protección debería colocarse sobre una cimentación estable y encima de una capa de filtro constituida ya sea por arena gruesa, grava o un geotextil. El enrocamiento en sí deberá estar graduado para tener una gama de tamaños que permita minimizar los huecos y formar una capa compacta.

El espesor del enrocamiento debe ser cuando menos igual a 1,5 veces el tamaño (diámetro) de la roca de mayor tamaño especificado, estando la zona más gruesa en la base de la roca. En el cauce de un arroyo, la capa de enrocamiento de protección deberá cubrir completamente los lados mojados del canal, con un cierto bordo libre, y deberá colocarse hasta una profundidad igual o mayor que la profundidad de la socavación esperada.

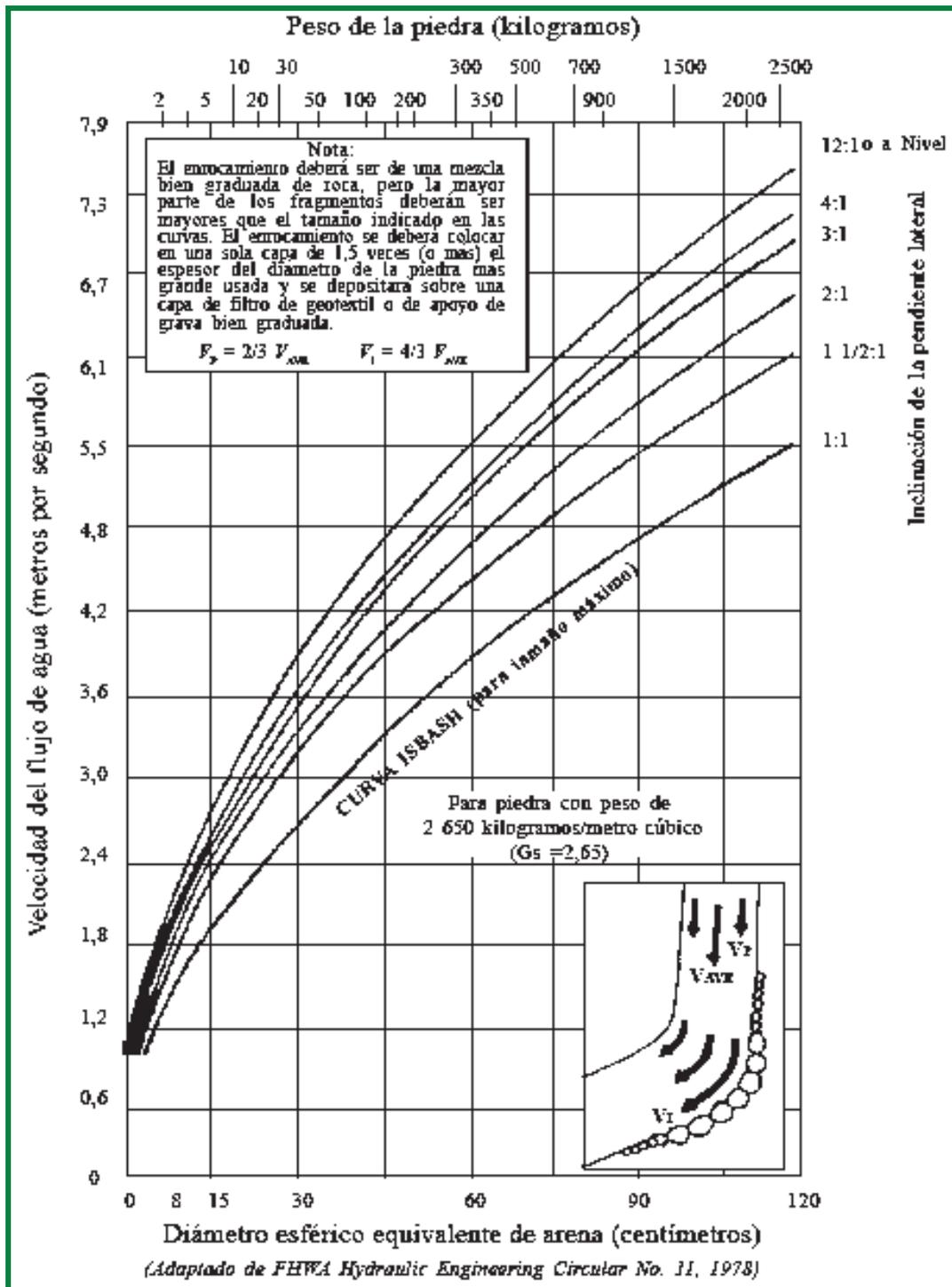


Figura 4.3.2 Tamaño de los fragmentos de piedra, para resistir el desplazamiento bajo diversas velocidades del flujo de agua y de la pendiente de los taludes. (FHWA Hydraulic Engineering Circular No. 11, 1978).

4.4.- DRENAJE

Entre los aspectos relacionados con el drenaje que deben tomarse en cuenta para el diseño y construcción de caminos se incluyen los siguientes: drenaje superficial de la calzada; control del agua en cunetas y a las entradas y salidas de tuberías; cruces de cauces naturales y de arroyos; cruces en humedales; subdrenaje; y selección y diseño de alcantarillas, cruces en estiaje, y puentes.

Las condiciones y los patrones de drenaje se deberán estudiar en el sitio. El funcionamiento del drenaje se debería observar durante los periodos de lluvia para observar la forma en que se desplaza realmente el agua, en dónde se concentra, qué daños puede causar, y que medidas se necesitan para evitar daños posteriores.

La superficie del camino necesita configurarse de tal forma que el agua se disperse y se desplace fuera del camino lo más rápido y frecuente que sea posible. El agua estancada en los baches, roderas y ondulaciones debilitará la capa subrasante y acelerará los daños. El agua concentrada en las roderas o estancada en la superficie de rodamiento a lo largo de tramos largos puede llegar a acelerar la erosión.



Figura 4.4.1 Opciones típicas para drenaje de la superficie del camino (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Las pendientes fuertes del camino hacen que el agua superficial y de las cunetas se desplace rápidamente y que se dificulte controlar el drenaje superficial. Esta condición acelera la erosión a menos que las superficies se protejan o que el agua se disperse o se elimine frecuentemente.

El agua superficial de la calzada debe controlarse mediante medidas de drenaje positivas usando secciones con peralte hacia afuera, peralte hacia adentro, o en corona del camino. Los caminos con peralte hacia fuera permiten dispersar mejor el agua, con lo que se minimiza el ancho del camino, aunque tal vez necesiten superficie de rodamiento y estabilización del relleno en talud. Con un camino con pendiente transversal hacia fuera se minimiza la concentración de agua, se minimiza el ancho necesario del camino, se evita la necesidad de una cuneta interior, y se minimizan los costos.

Los caminos con peralte hacia fuera que tengan materiales de cobertura con abundante arcilla y por tanto resbaladizos, con frecuencia necesitan que la superficie se estabilice con roca o que se limite su uso durante la temporada de lluvias para garantizar la seguridad del tránsito. En caminos con pendiente de más de 10 a 12% así como en zonas de laderas con fuerte inclinación, los caminos resultan difíciles de drenar y pueden “sentirse inseguros”.

Con los caminos dotados de peralte hacia adentro se puede controlar mejor el escurrimiento superficial del camino pero el agua se concentra y por lo tanto se requiere un sistema de cunetas, drenes transversales y un ancho adicional del camino para alojar la cuneta. Los vados ondulantes superficiales de base ancha o alcantarillas de tubo, deben estar colocados a intervalos frecuentes a fin de eliminar toda el agua superficial esperada sobre el camino antes de que se presente la erosión.

Las secciones en corona resultan adecuadas para caminos de dos carriles de más altas especificaciones con pendientes suaves. También requieren de un sistema de cunetas interiores y de drenes transversales. Resulta difícil crear y mantener una corona sobre un camino angosto, por lo que generalmente el drenaje con pendiente

transversal hacia adentro o hacia afuera resulta más efectivo. La tabla 4.4.1, muestra las distancias máximas recomendadas que deberían usarse como guía para la localización de los drenes transversales y de las estructuras de cunetas de alivio.

Pendiente del camino %	Suelos de baja a nula erosionabilidad (metros)	Suelos Erosionables (metros)
0 – 3	120	75
4 – 6	90	50
7 – 9	75	40
10 – 12	60	35
12 +	50	30

Tabla 4.4.1 Distancias máximas recomendadas entre drenes transversales empedrados o de alcantarilla. (Packer and Christensen, 1964 y Copstead, Johansen y Moll, 1998).

Se deberán determinar las ubicaciones específicas en el campo tomando como base los patrones reales de flujo del agua, la intensidad de la lluvia, las características de erosión de la superficie del camino, y las zonas disponibles para descarga resistentes a la erosión.

Pendiente del camino %	Suelos de baja a nula erosionabilidad (metros)	Suelos Erosionables (metros)
0 – 5	75	40
6 – 10	60	30
11 – 15	45	20
16 – 20	35	15
21 – 30	30	12
30 +	15	10

Nota:

- Suelos de baja erosionabilidad: suelos rocosos gruesos, grava y ciertas arcillas
- Suelos altamente erosionables: suelos finos deleznales, limos, arenas finas.

Tabla 4.4.2 Separación recomendada ente caballetes desviadores. (Packer and Christensen, 1964 y Copstead, Johansen y Moll, 1998).

Los caballetes desviadores se emplean para controlar el drenaje en el caso de caminos cerrados o inactivos, en caminos para tracción en las cuatro ruedas, para caminos de arrastre y para senderos de arrastre. Con frecuencia se colocan los caballetes desviadores muy cercanos entre sí. para lograr el máximo control de la

erosión y se pueden configurar para que circulen vehículos de rodada alta o para bloquear el tránsito.

Los drenes transversales de alcantarilla se usan para desplazar el agua de las cunetas a través del camino. Constituyen el tipo más común de drenaje superficial de caminos y resultan los más adecuados para el caso de caminos de altas velocidades en los que se desea un perfil suave de la superficie del camino. Sin embargo, los tubos son caros y las tuberías relativamente de diámetros pequeños. Las alcantarillas necesitan limpieza y son susceptibles al taponamiento.

Los vados ondulantes superficiales de base ancha están diseñados para dejar pasar tránsito lento al mismo tiempo que dispersan el agua superficial. Los vados superficiales generalmente cuestan menos, implican menos mantenimiento y son menos propensos a taparse y a fallar que los tubos de alcantarilla. Los vados superficiales son ideales para caminos rurales y para velocidades de bajas a moderadas (20-50 kph).

4.4.1 Prácticas recomendables para el control del drenaje superficial

- Diseñar y construir los caminos de tal manera que puedan desalojar el agua rápidamente fuera de la superficie de rodamiento, a fin de mantener drenada la superficie sin poner en riesgo su integridad.
- Evitar caminos con pendientes muy pronunciadas que sobrepasen de entre 12 y 18%. Resulta muy difícil y caro controlar debidamente el drenaje en pendientes muy inclinadas.
- Mantener un drenaje superficial positivo mediante una sección con peralte hacia fuera, hacia adentro o en coronamiento usando pendientes de 2 a 5% de inclinación.

- Hacer que las pendientes sean ondulantes o forme ondulaciones frecuentemente en el perfil del camino para dispersar el agua, sobre todo hacia adentro o hacia afuera de cruces de arroyos.
- Usar con frecuencia cunetas de desvío para evitar la acumulación de agua en exceso en las cunetas de la calzada.
- Usar estructuras de drenaje transversal al camino (ya sean vados superficiales, alcantarillas de tubo, o alcantarillas abiertas (canalones) para desalojar el agua a través del camino desde la cuneta interior hasta el talud por debajo del camino. Colocar las estructuras de drenaje transversal muy cercanas entre sí como para eliminar toda el agua superficial. En la tabla 4.4.1 se proporcionan separaciones recomendadas para los drenes transversales.
- Proteger las salidas de drenes transversales con roca (enrocamiento de protección), maleza o desperdicio maderero, para disipar la energía y evitar la erosión, o localice la salida de los drenes transversales sobre suelos estables resistentes a la erosión, roca o en zonas con abundante vegetación.
- Construir vados ondulantes superficiales en lugar de alcantarillas de drenaje transversal, en el caso típico de caminos rurales de baja velocidad con pendientes de menos de 12%. Construir vados superficiales con suficiente profundidad para permitir un drenaje adecuado, y formando un ángulo de entre cero y 25 grados con la perpendicular al camino, con un peralte hacia afuera de 2-5%, y con suficiente longitud (15 a 60 metros) para que circulen vehículos y equipos. En el caso de suelos blandos, reforzar el promontorio y el fondo del dren con grava o con roca así como a la salida del dren.
- Instalar alcantarillas de drenaje transversal con un ángulo de 0-30 grados perpendicular al camino, usando un peralte hacia afuera de 2% más alto que la pendiente de la cuneta, a fin de evitar taponamientos. Usar alcantarillas de

drenaje transversal en caminos con una cuneta interior y con velocidades de recorrido moderadamente altas.

- Construir caballetes desviadores en caminos con poco uso o en caminos cerrados para controlar los escurrimientos superficiales. Colocar los caballetes desviadores muy cercanos entre sí formando un ángulo de entre cero y 25 grados con una peralte hacia afuera de entre 2 y 5% y una profundidad de 0,3 a 0,6 metros. Instalar caballetes desviadores como se muestra en la figura 4.4.1.2.
- Usar cunetas de captación de agua (contracunetas) perpendiculares al terreno natural por arriba de un talud de corte, sólo en aquellas zonas con una alta precipitación pluvial y escurrimientos superficiales altos. Estas cunetas resultan útiles para captar el flujo laminar superficial antes de que derrame sobre el talud del corte y pueda erosionar o desestabilizar el corte. Sin embargo, ellos generalmente no reciben mantenimiento y pueden dar lugar a un estancamiento contraproducente de agua encima del talud, lo cual aumenta las posibilidades de una falla del talud.
- Evitar el uso de cunetas exteriores a lo largo del borde externo del camino, excepto en zonas específicas que deben protegerse del flujo laminar para desalojarlo fuera de la superficie del camino. De preferencia usar bermas. Para construir una cuneta o berma exterior se necesita ampliar el ancho del camino.

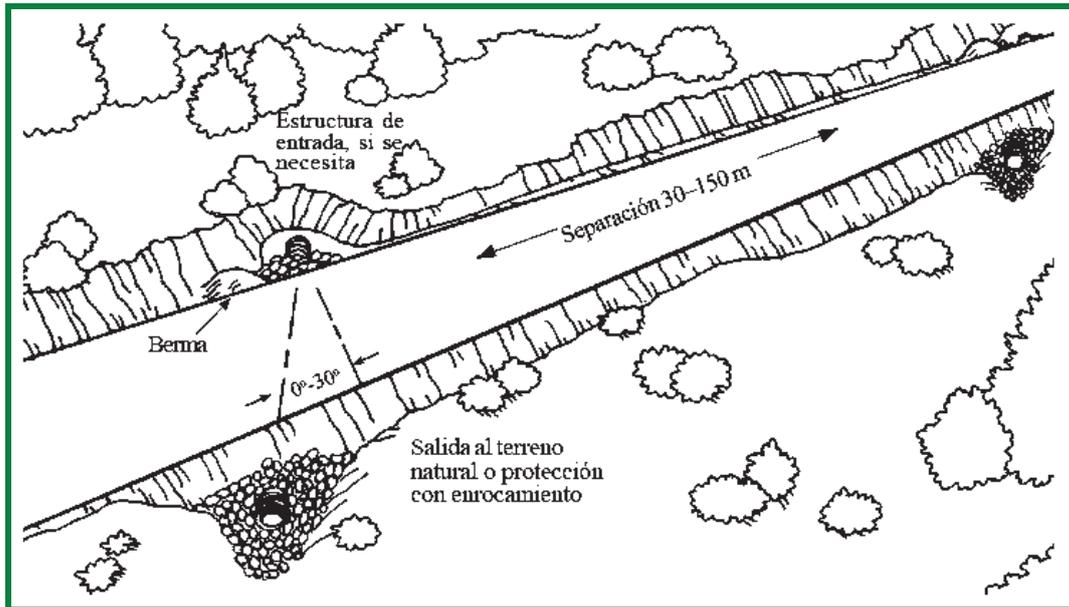


Figura 4.4.1.1 Drenajes transversales con alcantarillas. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

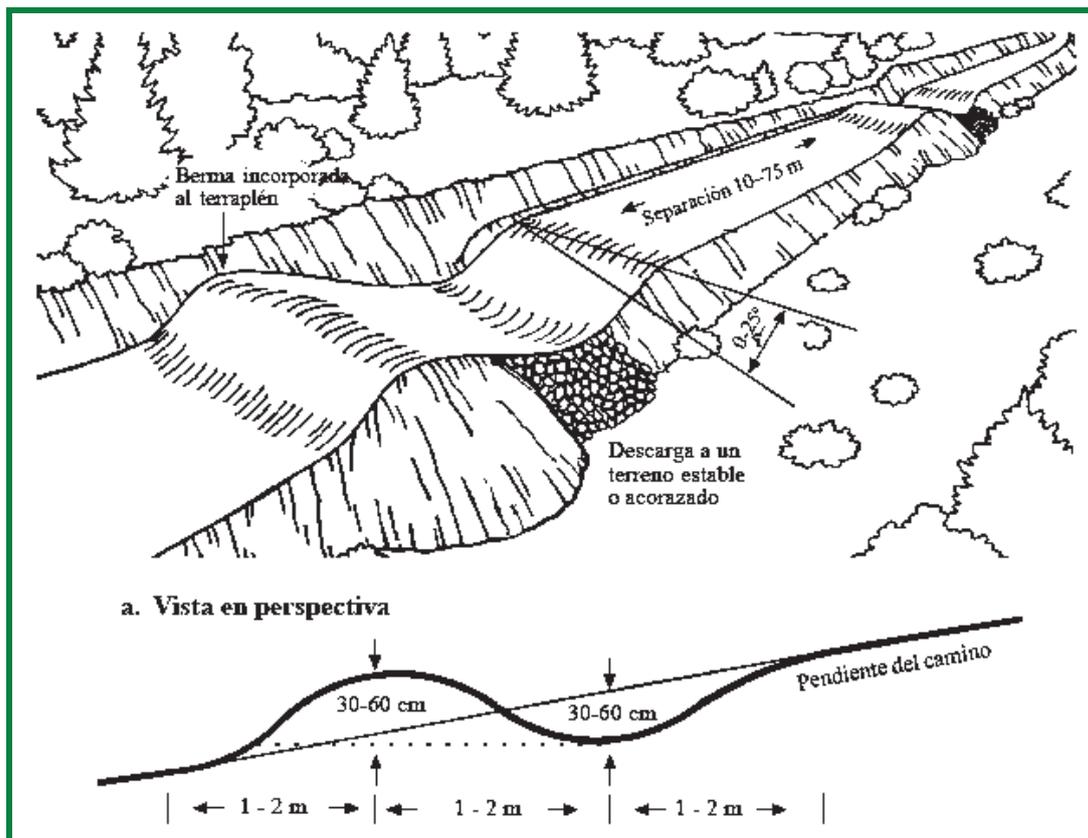


Figura 4.4.1.2 Construcción de un caballete. (Publication FR093, Wisconsin Department of Natural Resources, 1995).

Control en entradas y salidas de drenes y cunetas transversales

El agua debe controlarse, encauzarse o disiparse su energía a la entrada y a la salida de alcantarillas, vados superficiales u otro tipo de estructuras transversales de drenaje. Con esto se garantiza que el agua y los escombros entren al dren transversal eficientemente sin obstruirlo, y que salgan del dren transversal sin dañar a la estructura y sin causar erosión a la salida.

Las estructuras de entrada de alcantarillas generalmente se colocan en la línea interior de cunetas en donde se ubica un dren transversal en forma de alcantarilla. Comúnmente se construyen a base de concreto, mampostería, o de un tubo metálico de sección circular. Típicamente se usan donde la cuneta esté erosionando y socavando, de tal forma que la estructura controla la elevación de la cuneta. Las estructuras de entrada resultan también de utilidad para cambiar la dirección del agua que fluye hacia la cuneta, sobre todo en pendientes empinadas, y ayudan a estabilizar la margen excavada por detrás de la entrada del tubo.



Foto 4.4.1.1 Estructuras de toma hechas de mampostería, concreto o metal para controlar el agua (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

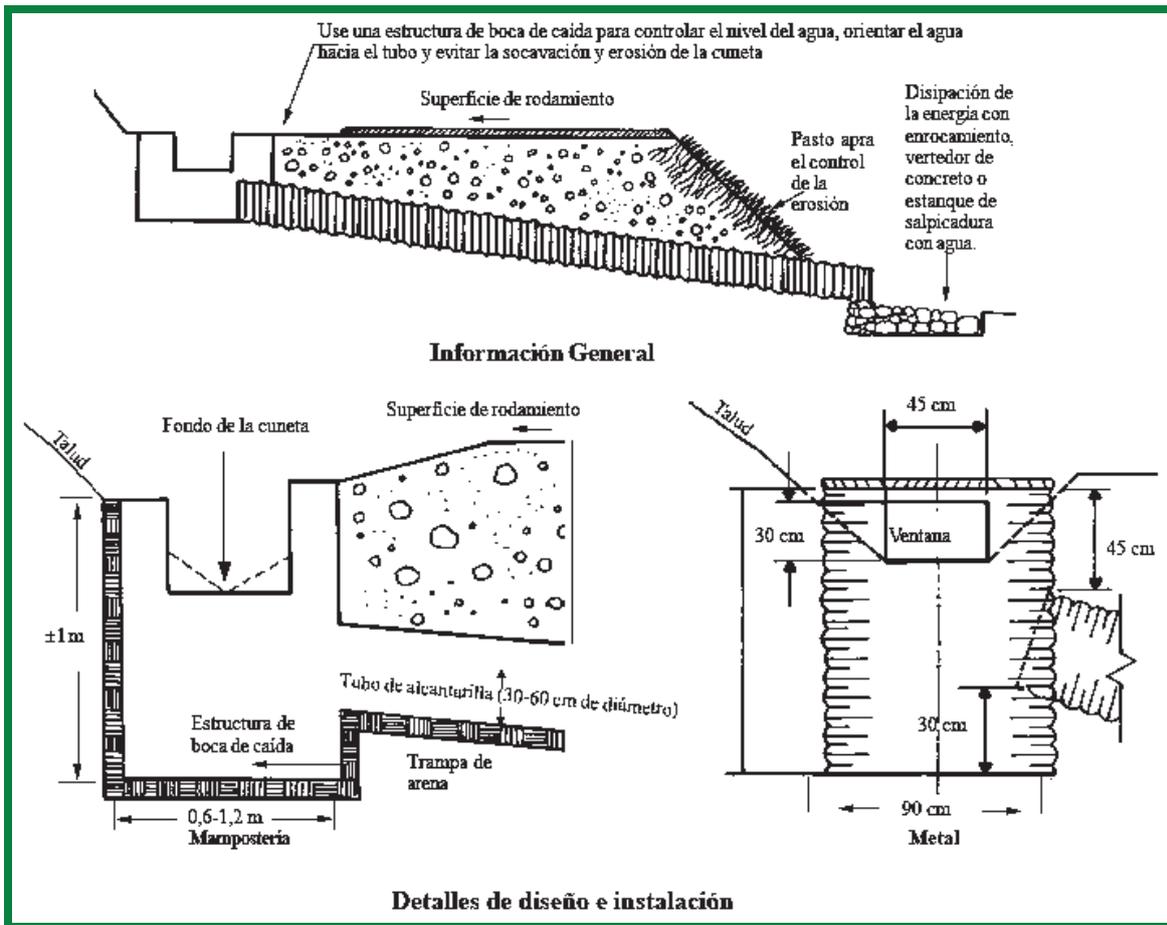


Figura 4.4.1.3 Tipos de estructura de bocas de caída con drenes transversales de alcantarilla. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

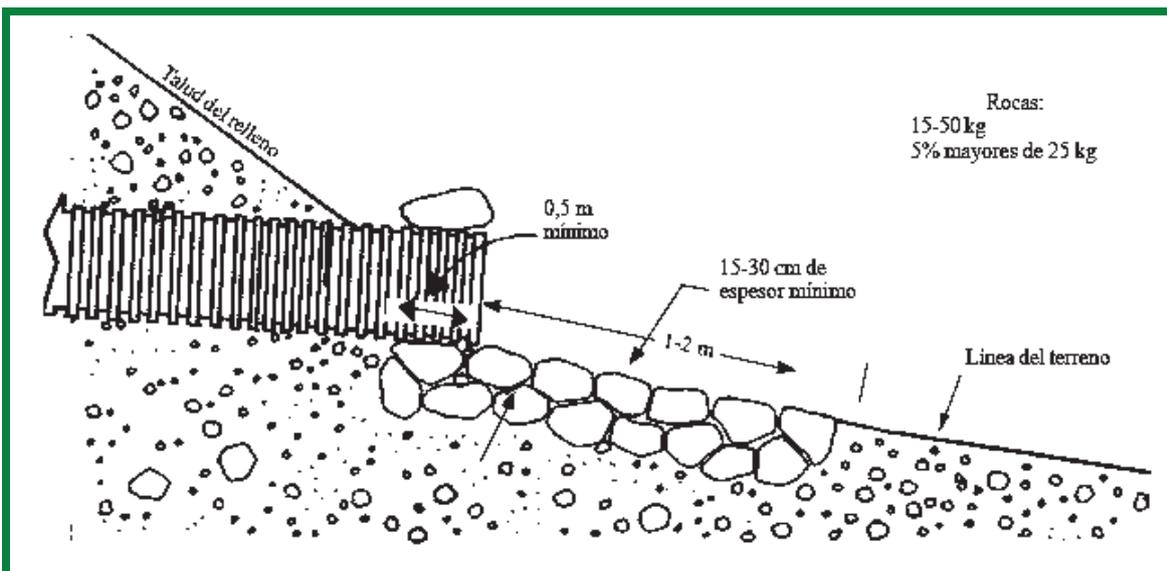


Figura 4.4.1.4 Detalle de la protección de salida de una alcantarilla. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

La salida de los tubos y de los drenes se localizan idealmente en una zona estable de suelo no erosionable, o en un área con mucha vegetación o rocosa. La velocidad acelerada del agua que se elimina de una calzada puede originar una erosión severa o formar barranquillas si se descarga directamente sobre los suelos erosionables. Se puede estabilizar el tubo, el dren o la boca de salida del dren, y se puede disipar la energía del agua al descargarla sobre 1 a 2 metros cúbicos de un enrocamiento de protección bien graduado, como se observa en la figura 4.4.1.4.

Entre otras medidas de disipación de energía se incluye el uso de tanques amortiguadores, vertedores de protección reforzados, o el empleo de vegetación densa o de roca sólida. Las cunetas en pendientes abruptas de caminos, en suelos erosionables y con velocidades de flujo de más de un metro por segundo pueden tener que acorazarse o colocar un dique pequeño de cuneta, o también construir estructuras de contención dentro de la cuneta para reducir la velocidad del agua.

Las cunetas generalmente se protegen con pasto, con esteras para control de la erosión, roca o pavimento de mampostería o de concreto. Los pastos pueden resistir velocidades de flujo de entre 1 y 2 metros por segundo. Un acorazamiento durable como puede ser enrocamiento de protección bien graduado se recomienda en pendientes de más de 5% en suelos erosionables o para velocidades de más de unos cuantos metros por segundo.

4.4.2 Prácticas recomendables para el control de entradas y salidas

- Use estructuras de bocas de caída en los drenes transversales de alcantarilla cuando haga falta controlar la pendiente de la cuneta, para evitar la erosión descendente de la cuneta, o donde el espacio esté limitado con respecto al corte en las márgenes ver figura 4.4.1.3 Alternativamente use cuencas de captación excavadas en suelo firme.
- Descargue las alcantarillas y los drenes empedrados de drenaje transversal al nivel del terreno natural, sobre suelo firme no erosionable o en zonas rocosas o

con matorrales. Si se descarga sobre los taludes del terraplén, acorace las salidas con enrocamiento de protección o con desperdicio maderero, o use estructuras de drenaje hacia abajo. Haga sobresalir el tubo entre 0,5 y 1,0 m con respecto al pie del talud de terraplén para evitar erosión del material de relleno.

- En suelos erosionables, proteja las cunetas de la calzada y las cunetas de descarga con enrocamiento, mampostería, revestimiento de concreto, o, como mínimo, con pasto. También se puede usar las estructuras de diques de cuneta para disipar la energía y para controlar la erosión de las cunetas.
- Descargue los drenes de la calzada en una zona con capacidad de infiltración o en franjas filtrantes para atrapar a los sedimentos antes de que lleguen a una vía fluvial. Manténgalos “desconectados” hidrológicamente al camino con respecto a los arroyos.

Cruces de arroyos naturales

Los cruces de caminos sobre cauces de drenaje naturales o arroyos requieren de conocimientos hidrológicos e hidráulicos para su diseño, a fin de poder determinar el tamaño adecuado y el tipo de estructura.

Debido a que los cruces de drenaje se ubican en zonas de agua en movimiento, su construcción puede resultar costosa y pueden tener impactos negativos importantes sobre la calidad del agua. Entre los impactos de un diseño inadecuado o de la instalación de estructuras se pueden mencionar la degradación de la calidad del agua, la erosión de las márgenes, la socavación del cauce, retrasos en el tránsito, y reparaciones costosas en caso de falla de una estructura. Por otro lado, las estructuras pueden afectar en gran medida a los peces en todas las etapas de su vida, así como a otras especies acuáticas.

Los cruces de arroyos deben ser tan cortos como resulte posible y colocarse perpendiculares al cauce. Se deberá acorazar tanto el camino como las cunetas, las cunetas deberán desviar el agua superficial antes de que llegue al cauce del arroyo, y la construcción deberá minimizar la zona de afectación, como se observa en la figura 4.4.2.1.

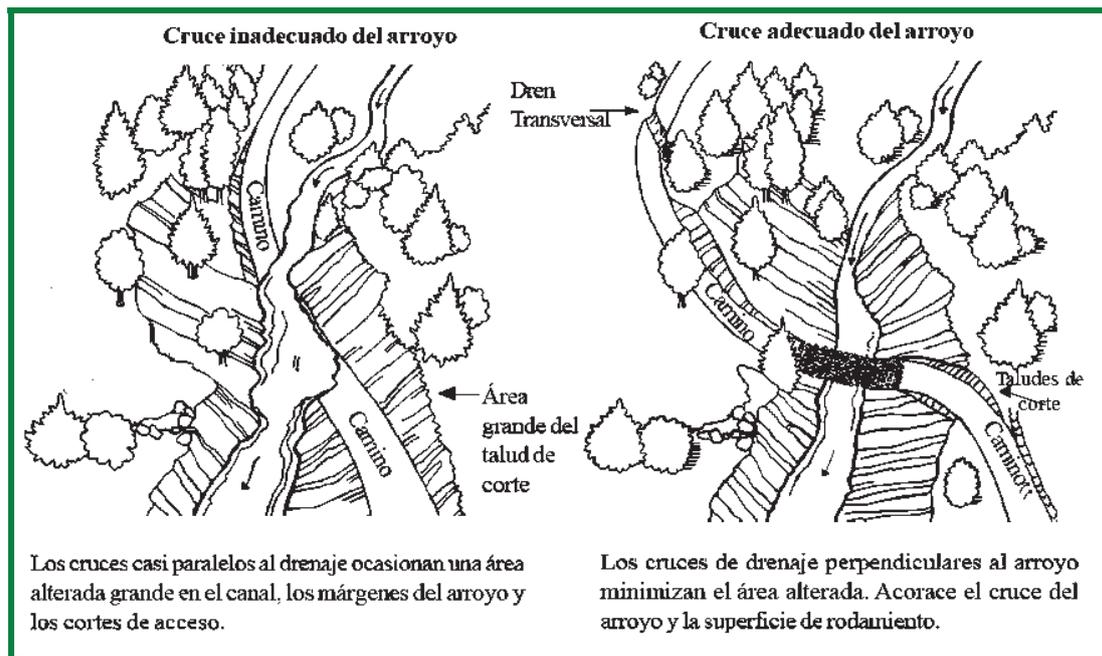


Figura 4.4.2.1 Comparativa de cruces de arroyo (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Los cruces grandes de drenaje deberán someterse a un análisis adecuado al sitio en particular con parámetros de diseño locales, idealmente realizado por un ingeniero con experiencia en hidráulica y por otros especialistas. En drenajes con valores inciertos del caudal, con grandes cantidades de escombros en el cauce, o en sitios donde existan tubos escasos en diámetro, existe un gran riesgo de que se obturen los tubos de alcantarilla y de que el sitio sea erosionado o llegue a fallar. En tales áreas, o en cuencas de captación particularmente sensibles, es muy aconsejable la protección contra derramamiento. Un punto bajo en el relleno y un “vertedor” acorazado para derrames, como se ilustra en las figuras 4.4.2.2 y 4.4.2.3, servirán para proteger el relleno y para mantener el flujo dentro del mismo drenaje, con lo que se reduce el potencial de desvío y generalmente se evita una falla. Un tubo tapado que desvía el

agua del arroyo hacia un camino puede ocasionar una gran cantidad de daños fuera del sitio, dar lugar a la formación de barrancas, o causar deslizamientos. Las estructuras de desbordamiento no se deberían usar en sustitución de un buen diseño hidráulico, sino que más bien deben ofrecer un “seguro barato” contra fallas en los cruces de alcantarillas.

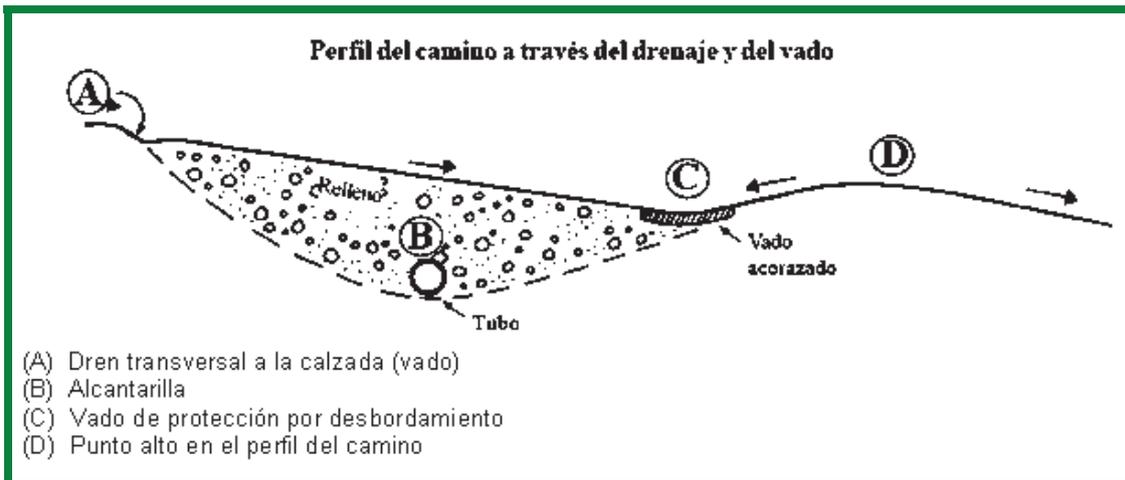


Figura 4.4.2.2 Protección de un vado de desbordamiento en un cruce en terraplén de un arroyo. (Weaver and Hagans, 1994).

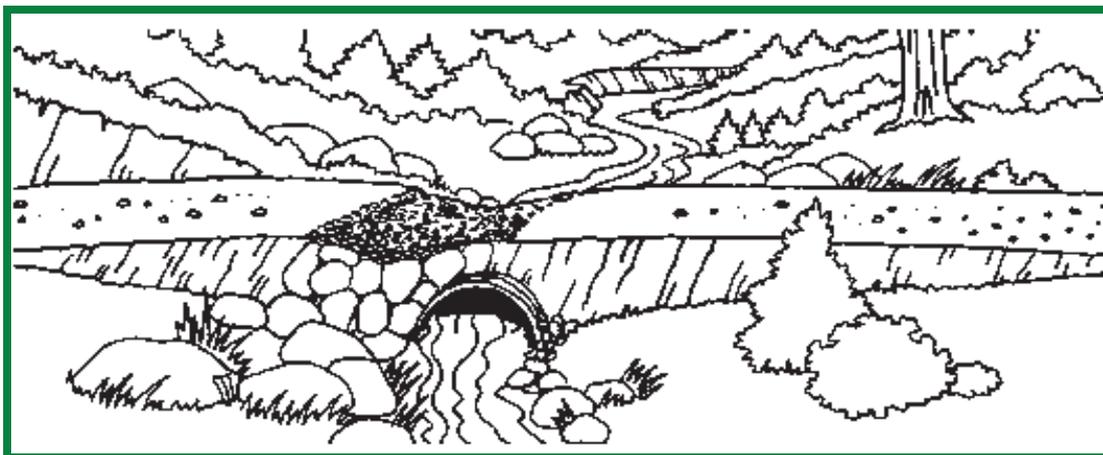


Figura 4.4.2.3 Vado acorazado por encima de un relleno de baja altura para evitar el desvío del arroyo. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

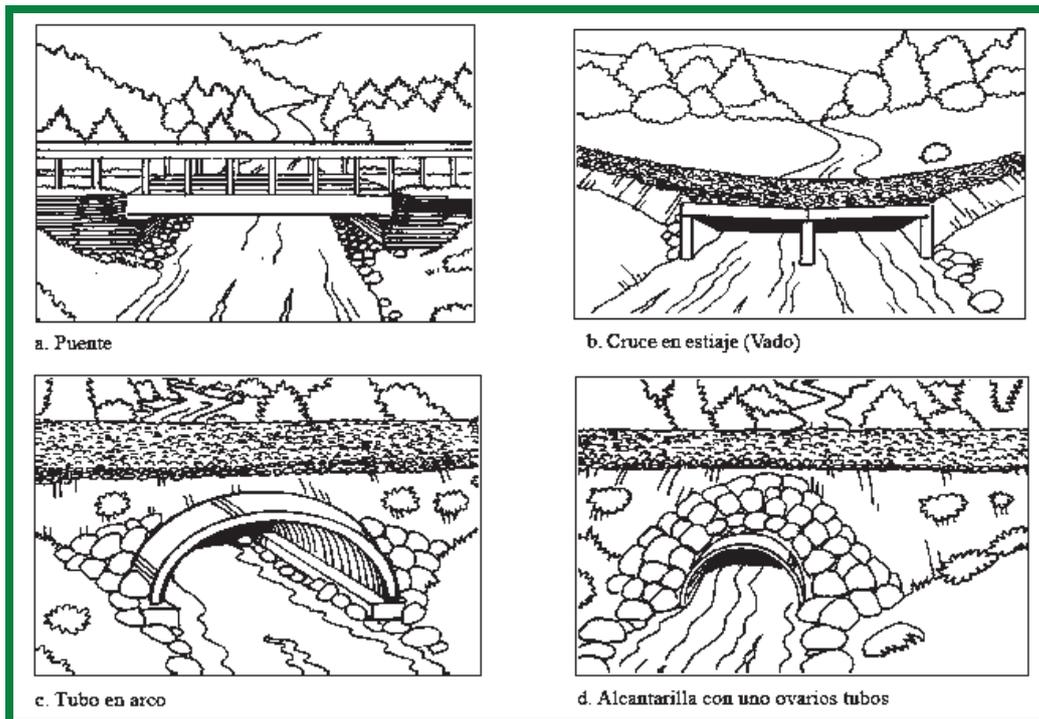


Figura 4.4.2.4 Opciones estructurales para el cruce de arroyos naturales (Adaptado de Ontario Ministry of Natural Resources, 1988).

4.4.3 Prácticas recomendables para el cruce de arroyos naturales

- Usar estructuras de drenaje que mejor se adapten a la configuración del cauce natural y que idealmente sean tan anchas como el canal activo del arroyo (ancho con el caudal máximo). Minimizar los cambios en el cauce natural y el volumen de excavación o de relleno en el canal.
- Limitar las actividades de construcción a periodos de bajo caudal en arroyos perennes. Minimizar el uso de equipos dentro del arroyo.
- Diseñar estructuras y usar procedimientos de construcción que minimicen los impactos sobre los peces y otras especies acuáticas, o que puedan mejorar el paso de peces.
- Cruzar canales de drenaje lo menos posible. En caso necesario, cruzar los arroyos en ángulo recto, excepto donde no lo permitan los rasgos del terreno

- Mantener los accesos a cruces de arroyos con una pendiente lo más suave posible en la práctica. Hacer que las pendientes sean ondulantes al llegar y al alejarse de los cruces a fin de dispersar el agua.
- Estabilizar el suelo alterado alrededor de los cruces tan pronto termine la construcción. Retirar o proteger el material de relleno colocado dentro del cauce y en la llanura de inundación.
- Usar puentes, vados para caudales en estiaje o vados mejorados, así como grandes tubos en arco con el fondo natural del arroyo siempre que sea posible para maximizar la capacidad de flujo, minimizar la posibilidad de una tubería tapada, o minimizar los impactos sobre especies acuáticas.
- Ubicar los cruces donde el alineamiento del arroyo sea recto, estable y no cambie su geometría. Los lugares subyacentes por roca sana son recomendables para estructuras de concreto.
- Para la protección por derrames, construir los rellenos sobre alcantarillas con un punto bajo protegido cercano al tubo en el caso de rellenos de baja altura, o agregar un vado superficial acorazado sobre el terreno natural justamente al terminar un relleno grande para regresar el agua al drenaje y evitar la falla lejos del sitio.
- Estabilizar los accesos del camino a cruces de puentes, vados o alcantarillas con grava, roca u otro tipo de material adecuado a fin de evitar en lo posible que los sedimentos sobre la superficie del camino lleguen al arroyo. Instalar drenes transversales a ambos lados de un cruce para evitar que los escurrimientos sobre el camino y a lo largo de la cuneta descarguen en el canal de drenaje.
- Construir los rellenos para puentes y para alcantarillas más altos que el acceso del camino para evitar que el escurrimiento de la superficie del camino drene

directamente en el arroyo, únicamente si la probabilidad de falla de la alcantarilla es muy pequeña. Típicamente el cruce debería diseñarse para minimizar el volumen de relleno.

Cruces de zonas inundadas y de praderas; uso de subdrenaje

Los cruces de caminos en zonas de humedales, incluyendo praderas inundadas, pantanos, zonas con altos niveles freáticos, y fuentes de manantiales son problemáticos y poco recomendables. Los humedales son ecológicamente zonas valiosas, y resulta difícil construir sobre ellas, explotar la madera o realizar otras operaciones. Los suelos en estas áreas son generalmente débiles y se necesita un refuerzo considerable de la subrasante. Las soluciones de drenaje resultan costosas y pueden tener una eficiencia limitada. Por lo tanto, se debería evitar las zonas inundadas.

Si se tienen que cruzar humedales y por alguna razón específica no se pueden evitar, se deberán utilizar métodos especiales de drenaje o de construcción para reducir los impactos originados por el cruce. Entre ellos se incluyen tuberías múltiples de drenaje o roca gruesa permeable para dispersar el flujo, reforzar la subrasante con roca gruesa permeable, controlar el gradiente y el uso de capas de filtro y geotextiles, como se muestra en la foto 4.4.3.1 y las figuras 4.4.3.1 y 4.4.3.2. La finalidad es mantener el nivel natural de las aguas subterráneas y que los patrones de flujo se dispersen por toda la pradera, y al mismo tiempo proporcionar una superficie estable y seca para la calzada.

El subdrenaje, mediante el uso de subdrenes o de capas de agregado para filtro, se emplea comúnmente a lo largo de un camino en zonas húmedas o de manantiales localizadas, tales como una margen excavada mojada con filtraciones, para eliminar específicamente el agua subterránea y para mantener seca la capa subrasante del camino. En un diseño típico de subdrenaje se usa una zanja de intercepción de entre 1 y 2 metros de profundidad, rellena con roca permeable, como se ilustra en la figura 4.4.3.3 El subdrenaje se necesita generalmente en zonas húmedas localizadas y resulta mucho más redituable en cuanto a costos que tener que agregar una sección

estructural gruesa al camino o hacer frecuentes reparaciones al camino. En grandes zonas inundadas o de pantano el subdrenaje con frecuencia no resulta efectivo. En este caso habrá necesidad de elevar la plataforma del camino muy por arriba del nivel freático, como puede ser un tramo de una carretera de cuota, y el diseño del espesor de la superficie de rodamiento podrá estar basada en condiciones de subrasante débil y saturada para las cuales se necesitará una sección estructural relativamente gruesa. Comúnmente se recurre a una capa gruesa de agregados cuyo espesor está basado en la resistencia del suelo y en las cargas anticipadas transmitidas por el tránsito.



Foto 4.4.3.1 Evite el cruce de praderas inundadas. Si es indispensable use tubos múltiples para poder dispersar el flujo de agua a través de la pradera (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

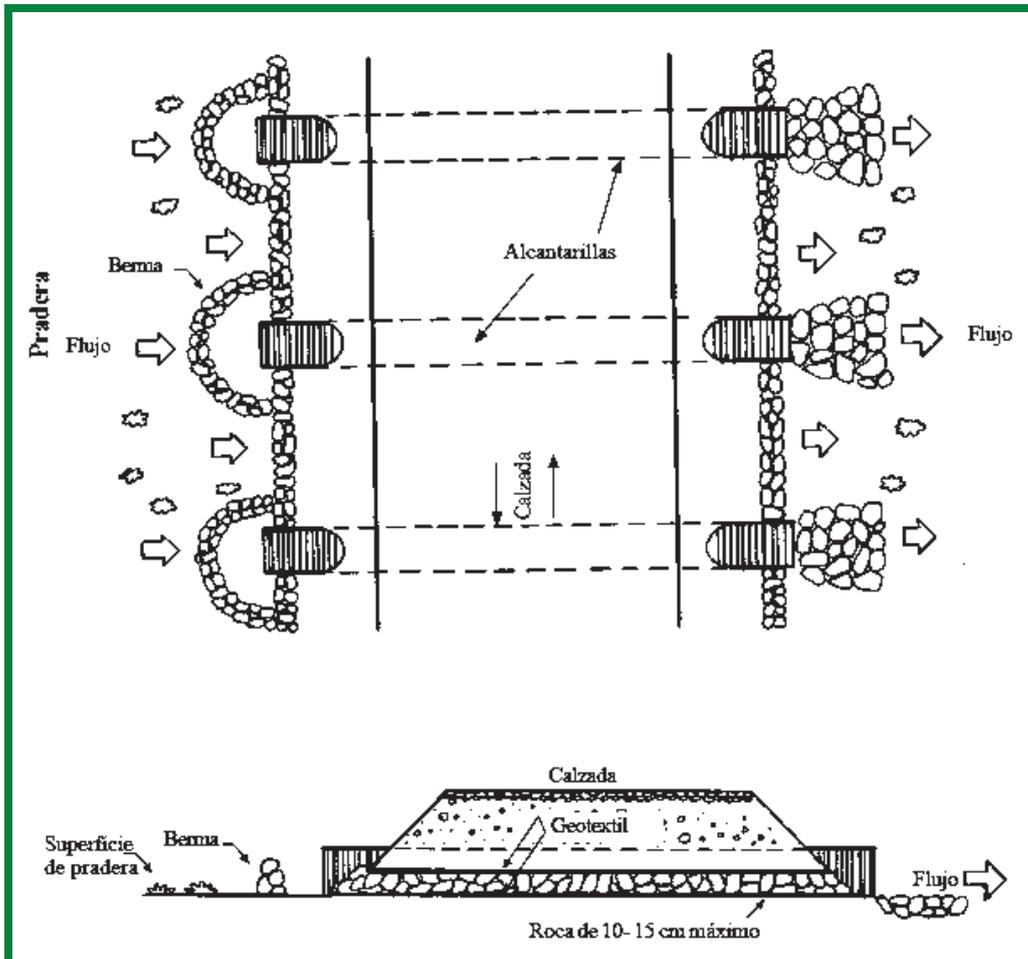


Figura 4.4.3.1 Opciones de cruce de una pradera inundada para avenidas altas periódicas (Managing Roads for Wet Meadow Ecostream Recovery por Wm. Zeedyk, 1996).

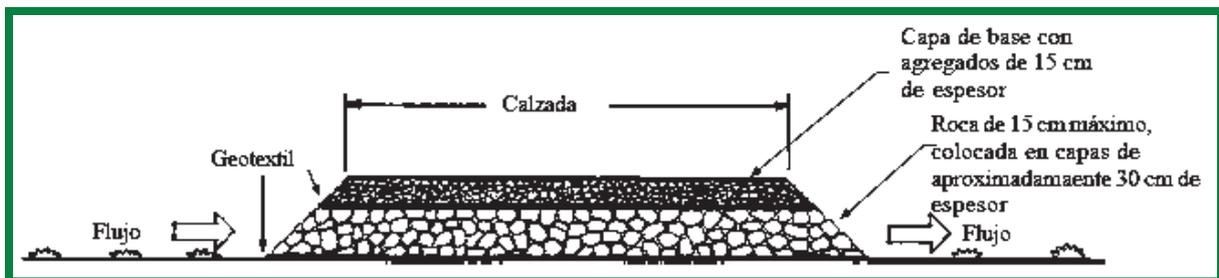


Figura 4.4.3.2 Opciones de cruce de una pradera inundada para flujo mínimo superficial (Managing Roads for Wet Meadow Ecostream Recovery por Wm. Zeedyk, 1996).

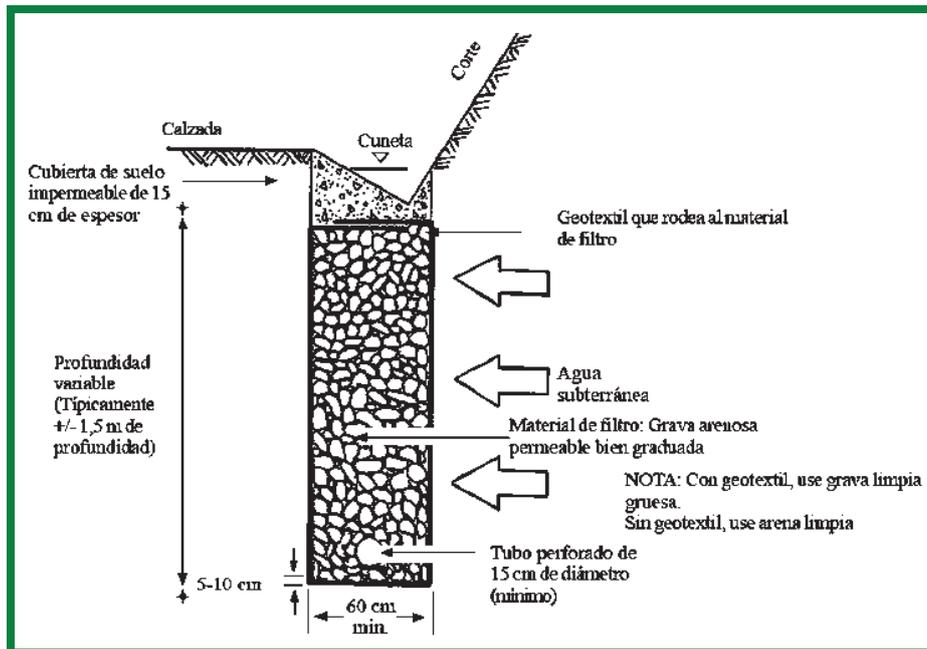


Figura 4.4.3.3 Subdren típico para caminos usado para eliminar el agua subterránea. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).



Foto 4.4.3.2 Enrocamiento de protección contra la socavación (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

4.4.4 Prácticas recomendables cruce de zonas inundadas y de praderas

- Para el caso de cruces permanentes de praderas y de zonas inundadas, mantenga los patrones naturales de flujo del agua subterránea mediante el uso de tuberías múltiples colocadas al nivel de la pradera para diseminar cualquier escurrimiento superficial ver foto 4.4.3.1 Alternativamente, se puede usar un relleno permeable de roca donde el escurrimiento superficial sea mínimo.
- En zonas con lugares puntuales húmedos y tránsito limitado sobre el camino, refuerce la calzada con una capa de roca bien graduada o de suelo granular muy grueso de cuando menos 10 a 30 cm de espesor. Idealmente separe la roca gruesa del suelo saturado mediante una capa de filtro de geotextil o de grava.
- Para cruce temporal de drenajes inundados pequeños o de pantanos, construya un “camino de rollizos” mediante capas de troncos colocados perpendicularmente al camino y cubiertos con un suelo o con grava como superficie de rodamiento. También se han usado tubos de PVC, esteras de aterrizaje, tablonces de madera, capas de llantas y otros materiales. Coloque una capa de geotextil entre el suelo saturado y los troncos o cualquier otro material usado para proporcionar apoyo adicional y para separar a los materiales. Retire los troncos de cualquier canal de drenaje natural antes de que empiece la temporada de lluvias. Una capa de malla ciclónica de eslabones de cadena o de alambrado colocada bajo los troncos puede ayudar a facilitar el retiro de los troncos.
- En zonas con manantiales use obras de drenaje tales como subdrenes o capas de filtro permeables para eliminar el agua subterránea y para mantener seca la subrasante del camino ver figura 4.4.3.3.
- Use subdrenes en el respaldo de estructuras de retención para evitar la saturación del relleno. Emplee subdrenes subterráneos o capas de filtro

permeables por debajo de rellenos (terraplenes) colocados sobre manantiales o sobre humedales a fin de aislar el material de relleno y evitar la saturación y la potencial falla subsecuente del relleno.

Uso e instalación de alcantarillas

Para cuencas de captación pequeñas (de hasta 120 hectáreas) el tamaño del tubo se puede estimar a partir de la tabla 4.4.4.1 (siempre que no se cuente con mejores datos locales). Para drenajes grandes, se deberán llevar a cabo análisis hidrológicos e hidráulicos específicos para cada sitio. En estos análisis se deberán tomar en cuenta las características de la cuenca de captación y del cauce, los niveles de aguas máximos, los datos de lluvia local, y otro tipo de información disponible sobre el flujo.

Las alcantarillas se construyen normalmente de concreto o de metal (corrugado de acero o aluminio) y ocasionalmente se usa tubería de plástico, así como madera y mampostería. El tipo de material por usar depende generalmente del costo y de la disponibilidad de los materiales. Sin embargo, el tubo metálico corrugado (CMP, por sus siglas en inglés) y el tubo de concreto son normalmente más durables que el tubo de plástico. La geometría de la alcantarilla, como puede ser un tubo de sección circular, una tubería en arco, un arco estructural o una caja, dependerá del sitio, del claro por cubrir, y del espesor permisible de la cubierta de suelo. Los factores clave para la selección de alcantarillas son una adecuada capacidad de flujo, que la alcantarilla sea adecuada al sitio y a la necesidad, y que la instalación sea redituable en cuanto a costo.

Entre los detalles importantes de instalación se incluyen los siguientes: minimización de modificaciones al cauce; evitar constricciones del ancho del canal de flujo con el caudal máximo; mantenimiento del gradiente y alineación naturales; utilización de materiales de calidad y bien compactados para apoyo y para relleno; y empleo de medidas de protección para la entrada, salida y márgenes del arroyo. Las rejillas son con frecuencia deseables en cauces con cantidades importantes de escombros a fin de evitar el taponamiento.

El material para apoyo y para relleno de alcantarillas se especifica comúnmente como “material granular seleccionado” o como “suelo mineral seleccionado”. De hecho, muchos suelos son satisfactorios siempre que estén exentos de humedad en exceso, de escombros, de terrones de suelo congelado o de arcilla altamente plástica, de raíces o de fragmentos de roca de más de 7,5 cm de tamaño. El material de apoyo por debajo del tubo no debe contener rocas de más de 3,8 cm de tamaño. Se podrá usar suelo arcilloso siempre que se compacte cuidadosamente con un contenido de humedad uniforme cercano al óptimo. El material ideal para relleno es un suelo granular bien graduado o una mezcla de grava y arena bien graduada con no más del 10% de finos y exento de fragmentos de roca. El material deberá compactarse perfectamente, cuando menos para que sea tan denso como el terreno adyacente, y de preferencia hasta alcanzar una compacidad de 90-95% del peso volumétrico máximo AASHTO T-99, y se colocará en capas de 15 cm de espesor. Es importante tener un relleno uniforme compacto para soportar estructuralmente el empuje lateral transmitido por el tubo.

La arena fina uniforme y los suelos limosos pueden resultar problemáticos cuando se usan como material de apoyo o de relleno para alcantarillas. Estos suelos finos no cohesivos son muy susceptibles a la socavación y a la tubificación producida por el agua en movimiento. Es por ello que su uso no se recomienda. En caso de usarlos, deben compactarse perfectamente contra el tubo. Idealmente, los collares contra filtraciones hechos de metal, concreto o incluso geotextiles, deberán colocarse alrededor del tubo de alcantarilla para forzar a cualquier cauce de agua a fluir a lo largo de una trayectoria más larga a través del suelo. Con los muros de cabeza de concreto también se impide la tubificación.

Debido a las condiciones cambiantes del clima, escombros y arrastres en canales, al cambio en los patrones de uso del suelo, y a las incertidumbres en las estimaciones hidrológicas, la capacidad y el tamaño de las alcantarillas deberán ser conservadoras y en general estas características deberán estar en exceso y no en defecto. Idealmente una alcantarilla tendrá un ancho equivalente al ancho del cauce natural para evitar la constricción del canal.

La protección del cauce, el enrocamiento de protección, los drenes de desbordamiento, los muros de cabeza y las rejillas pueden en general mitigar los problemas en alcantarillas, pero ninguno de ellos será tan bueno como un tubo del tamaño adecuado bien colocado. Para evitar reparaciones al tubo o incluso su falla, así como para prevenir daños ambientales, una alcantarilla sobrediseñada pueden ser a la larga más redituable en cuanto a costo. Por otro lado, la colocación de muros de cabeza de concreto o de mampostería ayudan a disminuir la posibilidad de una falla de la tubería.

Área de drenaje (Hectáreas)	Tamaño de la estructura de drenaje Pulgadas y Área (m ²)			
	Taludes empinados <i>Con troncos, cubierta ligera</i> C = 0.7		Taludes suaves <i>Sin troncos cubierta gruesa</i> C = 0.2	
	Tubo circular (in)	Área (m ²)	Tubo circular (in)	Área (m ²)
0 – 4	30"	0.46	18"	0.17
4 – 8	42"	0.89	24"	0.29
8 – 15	48"	1.17	30"	0.46
15 – 30	72"	2.61	42"	0.89
30 – 50	84"	3.58	48"	1.17
50 – 80	96"	4.67	60"	1.82
80 – 120			72"	2.61
120 – 180			84"	3.58

Notas:

- Si el diámetro del tubo no está disponible, use el tamaño más grande siguiente para el área de drenaje considerada. Para terreno intermedio, interpole entre los tamaños del tubo.
- El tamaño del tubo se basa en la Fórmula Racional y en las curvas de Capacidad de Alcantarillas. Se supone una intensidad de lluvia de 75 mm/h (3"/h) a 100 mm/h (4"/h). Los valores de "C" corresponden a los Coeficientes de Escurrimiento para el terreno.
- Para regiones tropicales con lluvias frecuentes intensas (más de 250 mm/h), estas áreas de drenaje para cada tamaño del tubo deben reducirse cuando menos a la mitad.

Tabla 4.4.4.1 Dimensionamiento de la estructura de drenaje (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

La boca de salida del tubo deberá sobresalir con respecto al pie del relleno y nunca deberá descargar en el talud del terraplén, a menos de que éste cuente con protección contra la erosión.

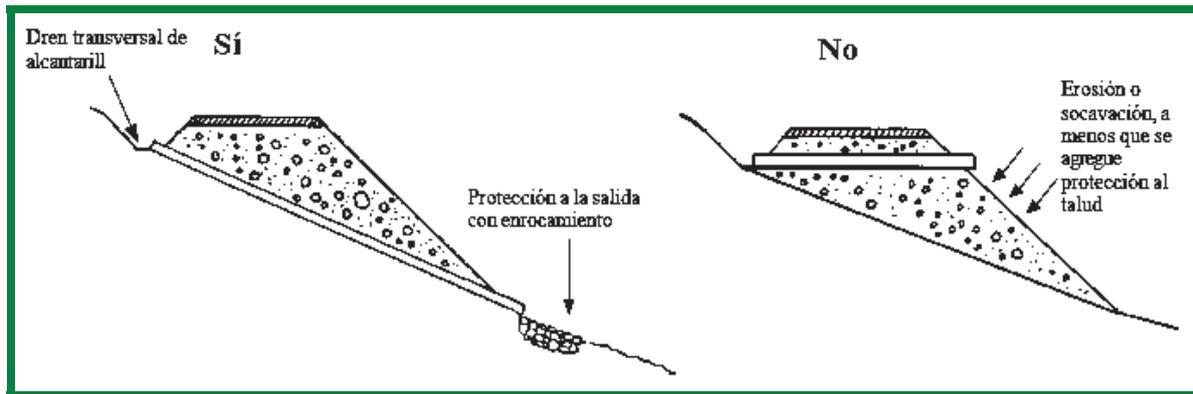


Figura 4.4.4.1 Subdren típico para caminos usado para eliminar el agua subterránea (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

El uso de un tubo de drenaje de bajada es opcional, sobre todo en grandes rellenos con suelos pobres y en zonas de alta precipitación pluvial, en donde el asentamiento del relleno puede requerir reparaciones de la alcantarilla.

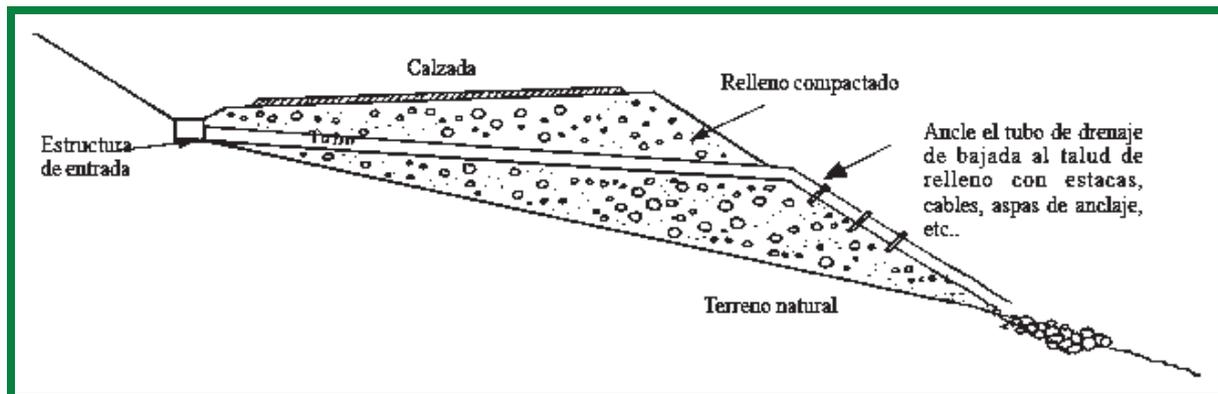


Figura 4.4.4.2 Subdren típico para caminos usado para eliminar el agua subterránea (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

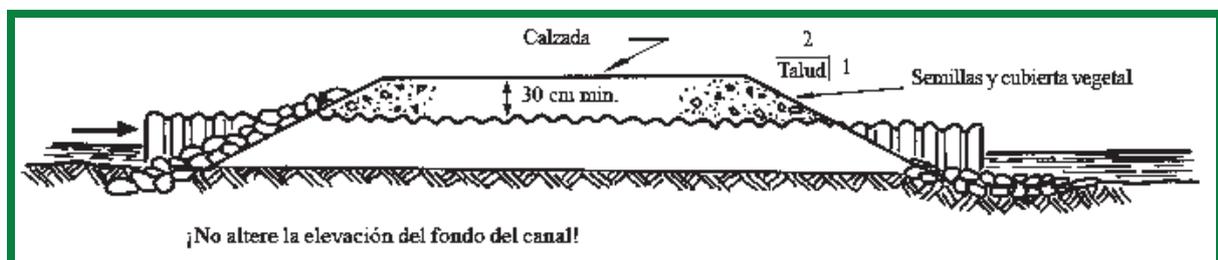


Figura 4.4.4.3 Instalación de alcantarillas a nivel del gradiente natural (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

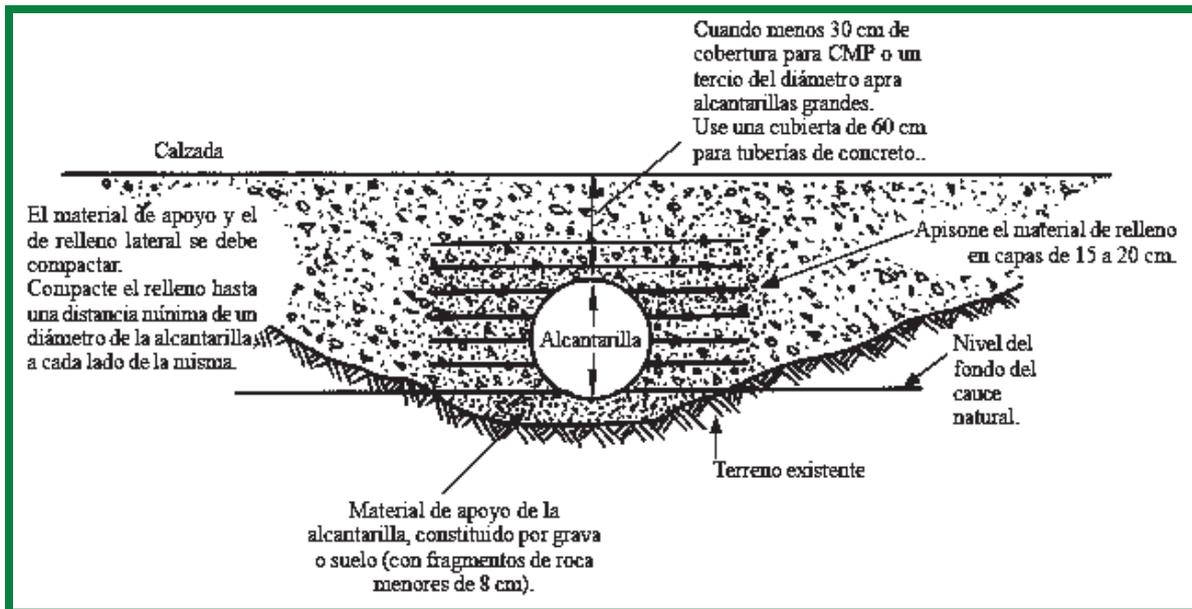


Figura 4.4.4.4 Relleno y compactación de un alcantarilla. (Adaptado de Montana Department of State Lands, 1992).

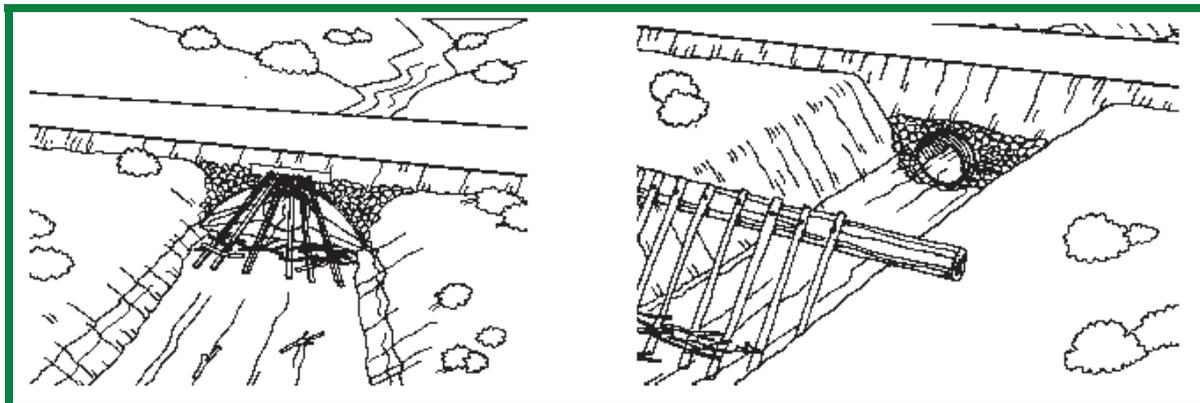


Figura 4.4.4.5 Opciones de rejilla en alcantarillas para evitar el taponamiento con escombros. Observe que algunas rejillas están ubicadas en el tubo y otras se localizan aguas arriba del tubo, dependiendo de las condiciones locales y del acceso para limpieza y mantenimiento. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

4.4.5 Prácticas recomendables para alcantarillas de drenaje para aliviar cunetas

- Los tubos de drenaje transversal para vaciar cunetas deberían tener típicamente un diámetro de 45 cm (diámetro mínimo de 30 cm). En zonas con escombros, con taludes de corte inestables y con problemas de desmoronamientos, usar tubos de 60 cm de diámetro o mayor.

- La pendiente del tubo de drenaje transversal para aliviar cunetas debe ser de por lo menos 2% o mayor (más inclinada) que el gradiente de la cuneta y esviada entre 0 y 30 grados perpendicular al camino (ver figura 4.4.1.1). Esta inclinación adicional ayuda a evitar que el tubo se tapone con los sedimentos.
- Los drenes transversales de alivio de cunetas deberán descargar al pie del terraplén cerca del nivel del terreno natural, cuando menos a una distancia de 0,5 metros hacia fuera del pie del talud del terraplén. Acorazar la boca de salida del tubo. No descargar el tubo sobre material de relleno desprotegido, en taludes inestables o directamente en los arroyos.
- En rellenos grandes se podrán necesitar drenes de bajada de alcantarilla para transportar el agua hasta el pie del talud del relleno (figuras 4.4.4.1 y 4.4.4.2). Anclar los drenes de bajada al talud mediante varillas metálicas, bloques de anclaje de concreto, o cables. Se pueden usar tubos, canalones o cunetas acorazadas.

4.4.6 Prácticas recomendables para alcantarillas transversales de drenaje

- Instalar alcantarillas permanentes con un tamaño lo suficientemente grande como para desalojar las avenidas de diseño más los escombros que se puedan anticipar. Por lo general, diseñar para eventos de tormenta de 20 a 50 años. Los arroyos sensibles pueden necesitar diseños para descargar avenidas con periodos de retorno de 100 años. El tamaño de la tubería se deberá determinar usando criterios de diseño reales, tales como los de la tabla 4.4.4.1, o los que estén basados en análisis hidrológicos específicos para el sitio.
- Tomar en cuenta impactos de cualquiera de las estructuras en el paso de peces y en el ambiente acuático. Idealmente seleccionar una estructura como puede ser un puente o una alcantarilla de arco sin fondo que sea tan ancha como el ancho correspondiente al nivel de aguas máximas ordinarias (ancho

con el caudal máximo) que minimice la alteración del cauce y que mantenga el material de fondo del canal natural.

- Colocar los cruces de caminos sobre drenajes naturales perpendiculares a la dirección del drenaje a fin de minimizar la longitud del tubo y el área afectada.
- Usar tubos individuales de gran diámetro o un cajón de concreto en vez de varios tubos de menor diámetro para minimizar el potencial de taponamiento en la mayoría de los canales (a menos que la elevación de la calzada sea crítica). En cauces muy anchos los tubos múltiples son más recomendables para mantener la distribución del flujo natural a través del canal.
- Para sitios con altura limitada, usar “tubos aplastados” o tubos de sección en arco que maximizan la capacidad al mismo tiempo que minimizan la altura.
- Instalar alcantarillas lo suficientemente largas de tal forma que ambos extremos de la alcantarilla sobrepasen el pie del relleno del camino. Alternativamente, usar muros de contención (muros de cabeza) para soportar el talud del terraplén.
- Usar muros de cabeza de concreto o de mampostería en los tubos de alcantarilla con tanta frecuencia como sea posible. Entre las ventajas de los muros de cabeza de mampostería en tubos de alcantarilla se incluyen las siguientes: evitar que los tubos grandes emerjan del terreno cuando se obturan; reducir la longitud del tubo; aumentar la capacidad del tubo; ayudar a eliminar los escombros a lo largo del tubo; retener el material de relleno; y disminuir las posibilidades de falla de la alcantarilla en caso de desbordamiento.
- Colocar alineadas las alcantarillas sobre el fondo y en la parte media del cauce natural de tal manera que la instalación no afecte la alineación del canal del arroyo ni la elevación del fondo del cauce. Las alcantarillas no deberán causar

represamiento ni estancamiento de agua, ni tampoco deben aumentar significativamente las velocidades de la corriente.

- Compactar firmemente material de relleno bien graduado alrededor de las alcantarillas, sobre todo alrededor de la mitad inferior, colocando el material en capas para alcanzar un peso volumétrico uniforme. Idealmente usar grava arenosa ligeramente plástica con finos. Evitar el uso de arena fina y de suelos con abundante limo como materiales de apoyo debido a su susceptibilidad a la tubificación. Poner particular atención en el material de apoyo de la alcantarilla y en la compactación del mismo alrededor de los costados del tubo. No permitir que la compactación desplace o levante el tubo. En rellenos grandes, permitir el asentamiento al instalar el tubo con un cierto bombeo.
- Cubrir la parte superior de tubos de metal y de plástico de alcantarillas con material de relleno hasta una profundidad de cuando menos 30 cm para evitar el aplastamiento del tubo al paso de camiones pesados. Usar una cubierta mínima de 60 cm de relleno sobre la tubería de concreto (figura 4.4.4.4). Para rellenos de gran altura, seguir las recomendaciones del fabricante.
- Usar enrocamiento de protección, secciones metálicas terminales abocinadas o muros de cabeza o de remate ya sea de mampostería o de concreto alrededor de las bocas de entrada y de salida de las alcantarillas a fin de evitar que el agua erosione el relleno y socave el tubo, así como para mejorar la eficiencia del tubo. Para el enrocamiento, usar pequeños fragmentos de roca bien graduados, grava o un filtro de geotextil colocados bajo la protección de enrocamiento grueso del talud.
- En las bocas de salida de las alcantarillas donde se aceleran las velocidades de flujo por el tubo, proteger el canal ya sea con un tanque amortiguador (en pendientes suaves), con acorazamiento de roca (enrocamiento) o con un vertedero de protección que tenga una superficie entrante rugosa o de roca y un dentellón de anclaje.

- En los tubos existentes susceptibles a taponarse, agregar una rejilla aguas arriba del tubo o a la entrada del tubo (boca de entrada) para detener a los escombros antes de que obturen el tubo (figura 4.4.4.5). Se pueden construir las rejillas con troncos, tubos, varillas corrugadas, perfiles de ángulo, rieles de ferrocarril, pilotes de sección H, etc. Sin embargo, las rejillas en general implican mantenimiento y limpieza adicional por lo que no se recomiendan, sin embargo, existen mejores alternativas, tales como la instalación de un tubo de gran diámetro, están disponibles.
- Examinar los cauces de los arroyos en busca de escombros, troncos y vegetación tipo maleza. En canales con grandes cantidades de escombros considerar el uso de vados con caudales en estiaje, tubos de gran tamaño o la colocación de una rejilla aguas arriba de la boca de entrada al tubo.
- Instalar vados de desbordamiento a un lado de la alcantarilla en canales de drenaje con un gran relleno que pudiera ser desbordado. Usar también vados e desbordamiento en pendientes largas sostenidas de caminos, en los que una alcantarilla tapada podría desviar el agua hacia abajo del camino, obstruyendo las alcantarillas subsecuentes y causando daños importantes fuera del sitio.
- Las alcantarillas provisionales de troncos generalmente cuentan con una muy baja capacidad de flujo. Cuando se usen, asegurarse de que la estructura y todo el material de relleno sean extraídos del canal antes de la temporada de lluvias o de grandes avenidas pronosticadas. Realizar mantenimiento periódico y limpieza del canal, a fin de conservar las alcantarillas protegidas y libres de escombros que pudieran tapar el tubo.

Puentes

Los puentes resultan relativamente caros, pero con frecuencia representan la estructura de cruce de arroyos más recomendable debido a que se puede construir fuera del cauce del arroyo y con ello se minimizan los cambios al canal, la excavación

o la colocación de rellenos en el cauce natural. Con ellos se minimiza la alteración del fondo natural del arroyo y no implicarán retrasos en el tránsito una vez construidos. Resultan ideales para la migración de peces. Sin embargo, para ellos se necesitan tomar en cuenta aspectos detallados del sitio y hacer un análisis y diseño hidráulico específico.

La ubicación del puente y sus dimensiones las deberían determinar idealmente un ingeniero, un hidrólogo y un biólogo de pesca que trabajen de manera conjunta formando un equipo. Siempre que sea posible, se debe construir el puente en un punto donde se estreche la sección transversal del cauce y debería ubicarse en una zona subyacente por roca sana o por suelo grueso o enrocamiento adecuados como sitio de construcción del puente con buenas condiciones de cimentación. Muchas fallas de puentes tienen lugar debido a materiales finos de cimentación que son susceptibles a la socavación.

Los puentes se deben diseñar de tal forma que tengan la capacidad estructural adecuada para soportar el vehículo más pesado previsto. Los puentes de un solo claro se pueden construir a base de troncos, maderos, vigas de madera laminadas y pegadas, vigas de acero, plataformas de carros de ferrocarril, losas de concreto coladas en el lugar, losas ahuecadas de concreto prefabricado o vigas en "T", o pueden ser puentes modulares. Muchos tipos de estructuras y de materiales resultan apropiados, siempre y cuando se diseñen estructuralmente.

Los "diseños estandarizados" se pueden encontrar para el caso de muchos puentes sencillos en función del claro del puente y de las condiciones de carga. Las estructuras complejas deberán ser diseñadas específicamente por un ingeniero estructurista. Los diseños de puentes con frecuencia necesitan de la aprobación de organismos o gobiernos locales. Son preferibles las estructuras de concreto porque pueden ser relativamente simples y baratas, requieren de un mantenimiento mínimo, y tienen una vida útil relativamente larga en la mayoría de los ambientes. También se usan con frecuencia los puentes de troncos debido a la disponibilidad de materiales

locales, sobre todo en zonas remotas, pero tenga presente que ellos tienen claros relativamente cortos y cuentan una vida útil más bien corta.



Foto 4.4.6.1 *Enrocamiento de protección en estructura de concreto. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).*

Entre las cimentaciones para puentes se pueden mencionar soleras inferiores de troncos, gaviones, muros de retención de mampostería, o muros de retención de concreto sin contrafuertes apoyados en zapatas. Para cimentaciones profundas con frecuencia se usan pilas excavadas en el lugar o pilotes hincados. La mayoría de las fallas de puentes ocurren ya sea debido a insuficiente capacidad hidráulica (demasiado pequeñas) o a la socavación y erosión de una cimentación colocada sobre suelos finos. Es por ello que las consideraciones de cimentación son críticas. Ya que las estructuras de puentes son en general caras y los sitios se pueden complicar, la mayor parte de los diseños de puentes se deberían hacer con los datos proporcionados por ingenieros experimentados especializados en estructuras, hidráulica y geotecnia.



Foto 4.4.6.2 Desplante de cimentación del puente sobre roca sana. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Es necesaria la inspección periódica y el mantenimiento frecuente de los puentes a fin de garantizar que la estructura es segura para circular sobre ella los vehículos previstos, que el cauce del arroyo está libre y para maximizar la vida útil de la estructura. Entre los aspectos típicos del mantenimiento de puentes se incluye la limpieza de la cubierta y de los “asientos” de las vigas; el desmonte de la vegetación y la eliminación de escombros del cauce del arroyo; la sustitución de marcadores y de señalamientos visuales; la reparación de obras de protección de las márgenes del arroyo; el tratamiento y revisión de la madera seca; sustitución de tuercas y tornillos faltantes; y repintado de la estructura.

4.4.7 Prácticas recomendables para puentes

- Usar un claro de puente suficientemente largo o una estructura de longitud adecuada para evitar constreñir el cauce natural de flujo del arroyo. Minimizar la constricción de cualquier canal de desbordamiento.

- Proteger los accesos de aguas arriba y de aguas abajo a las estructuras mediante muros de alero, enrocamiento, gaviones, vegetación u otro tipo de protección de taludes donde sea necesario ver foto 4.4.6.1.
- Colocar las cimentaciones sobre materiales no susceptibles a la socavación (idealmente roca sana ver foto 4.4.6.2, o enrocamiento grueso) o por debajo de la profundidad máxima esperada de socavación. Evitar la socavación de la cimentación o del cauce mediante la colocación local de enrocamiento de protección pesado, de jaulas de gaviones, o de refuerzo de concreto. Recurrir a la protección contra socavación siempre que sea necesaria.
- Ubicar los puentes donde el canal del arroyo sea estrecho, recto y uniforme. Evitar colocar los estribos dentro de la cuenca activa del arroyo. Donde sea necesario, colocar los estribos dentro de la cuenca en una dirección paralela al flujo del agua.
- Considerar los ajustes al cauce natural y posibles cambios en la localización del canal durante la vida útil de la estructura. Los canales que son sinuosos, que tienen meandros o que cuentan con extensas llanuras de inundación pueden cambiar de lugar dentro de esa zona de flujo histórico como resultado de un evento importante de tormenta.
- En el caso de estribos de puente o de zapatas colocadas sobre laderas naturales, desplantar la estructura en terreno natural firme (no en material de relleno ni en suelo suelto) a una profundidad mínima comprendida entre 0,5 y 2,0 metros. Usar estructuras de retención en caso necesario en desagües profundos y escarpados para sostener los rellenos de acceso, o use un puente con claro relativamente largo.
- Diseñar los puentes para una avenida de 100 a 200 años de periodo de recurrencia. Para las estructuras caras y en aquéllas cuya falla puede causar

daños importantes mayores se justifica la realización de diseños conservadores.

- Permitir un cierto bordo libre, generalmente de cuando menos 0,5 a 1,0 metro, entre la parte inferior de las vigas del puente y el nivel de aguas máximas esperado con escombros flotantes. Las estructuras en un ambiente tropical con precipitaciones pluviales muy intensas pueden requerir un bordo libre adicional. Alternativamente, se puede diseñar un puente para que el agua pase sobre él, de la misma manera que un vado en estiaje, y así eliminar la necesidad de bordo libre, pero esto aumenta la necesidad de tener una cubierta resistente a la erosión así como losas de aproximación.
- Llevar a cabo inspecciones del puente cada 2 a 4 años. Programe el mantenimiento del puente a medida que se necesite para alargar la vida útil y la función de la estructura.

Filtros

Un filtro funciona como una capa de transición entre grava o un geotextil colocado en una estructura, como puede ser el enrocamiento de protección, y el suelo subyacente. Su finalidad es: 1) evitar el movimiento del suelo detrás del enrocamiento de protección o de los gaviones, o hacia el subdrenaje; y 2) permitir que el agua subterránea sea expulsada del suelo sin que se generen presiones de poro.

De manera tradicional, se ha usado arena gruesa o grava bien graduada con drenaje libre como material de filtro. Una capa de filtro de arena o de grava tiene comúnmente entre 15 y 30 cm de espesor. En algunas aplicaciones entre suelo fino y fragmentos grandes de roca, se podrán necesitar dos capas de filtro. En la actualidad los geotextiles son de uso común para proporcionar zonas de filtro entre materiales de diferentes tamaños y granulometrías debido a que resultan económicos, son fáciles de instalar, y se comportan bien dentro de una amplia variedad de suelos.

Geotextiles

Los geotextiles tejidos o no tejidos punzados con aguja se usan generalmente para lograr un filtro entre la roca y el suelo, con lo cual se evita la socavación y el movimiento del suelo. Son relativamente fáciles de instalar bajo la mayoría de las condiciones, jalando la tela hasta que quede estirada sobre el área del suelo que se va a proteger antes de proceder a colocar el enrocamiento. Se puede usar un geotextil tejido de un solo filamento o uno del tipo no tejido y punzado con aguja, y además debe ser permeable. Es necesario que el geotextil tenga un Tamaño Aparente de Abertura de entre 0,25 y 0,5 mm. A falta de mayor información, se usa comúnmente un geotextil no tejido punzado con aguja con peso de 200 g/m² (6,0 oz/yd²) para muchas aplicaciones de filtración y separación de suelos.



Foto 4.4.7.1 *Uso de geotextiles colocados encima de suelos finos para proporcionar una filtración adecuada a un subdren. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).*



Foto 4.4.7.2 Geotextil en un talud, hecho con roca suelta que se usa para proporcionar filtración, permitir la infiltración y evitar el desplazamiento del suelo fino hacia la roca (Foto de Richard Van Dyke).

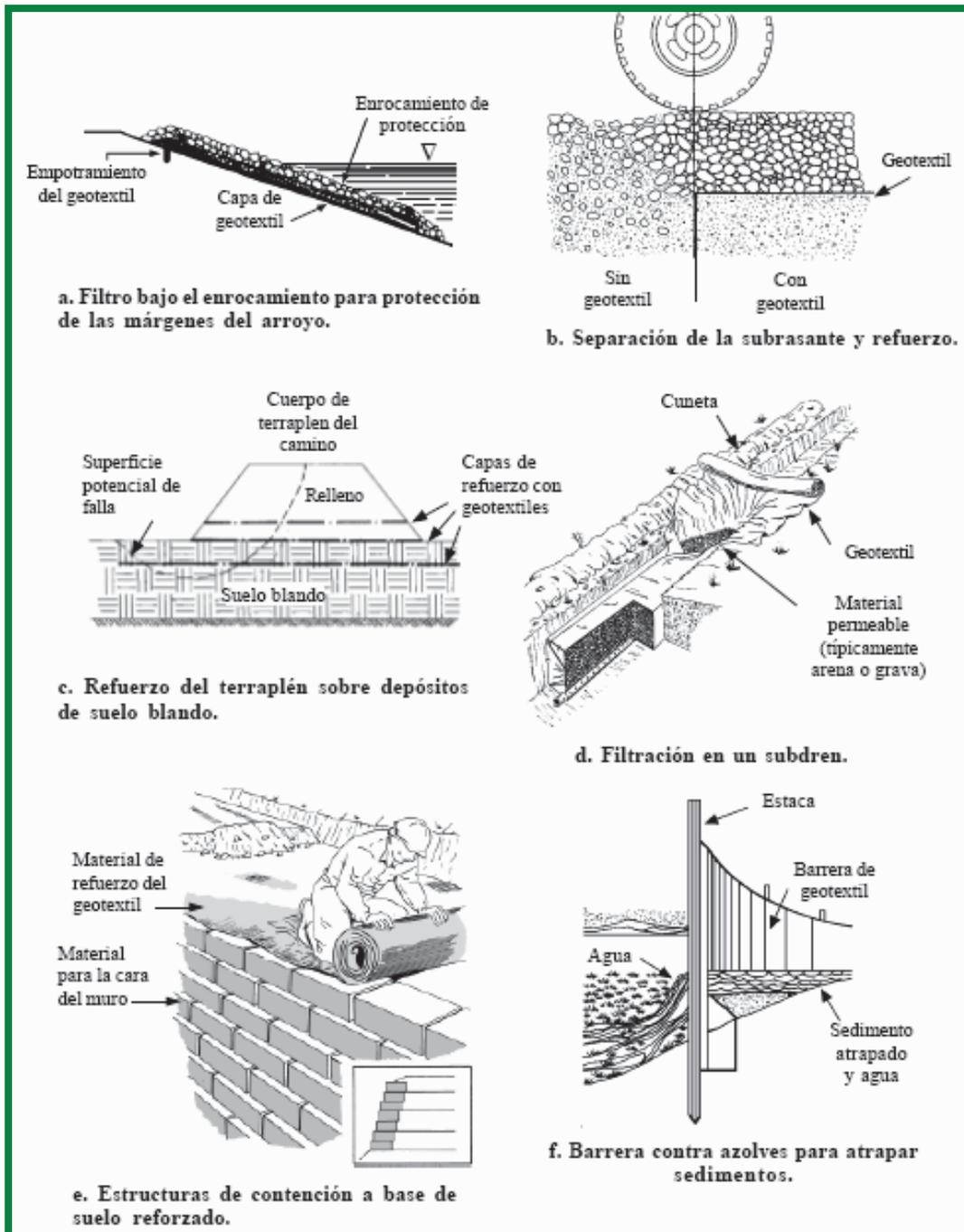


Figura 4.4.7.1 Aplicaciones típicas de geotextiles para caminos rurales. (Adaptado con permiso de AMOCO Fibers Corporation).

4.4.8 Prácticas recomendables para evitar la socavación

- Determinar las velocidades en el cauce del arroyo para analizar el potencial de socavación, las necesidades de protección de las estructuras y los impactos sobre la vida acuática.
- Usar enrocamiento bien graduado, duro, anguloso, y con los tamaños adecuados donde se necesite protección contra la socavación. El tamaño de roca necesario (y el peso) en función de la velocidad promedio del flujo de agua se muestra en la figura 4.3.2. Si se tienen meandros (flujo de choque), aumente el tamaño de los fragmentos de roca entre 30 y 50 por ciento con respecto al mostrado en la figura 4.3.2 para el caso de velocidades promedio de flujo.
- Usar arena limpia, grava limpia bien graduada con tamaños de 0,5 a 1 cm, o un geotextil como filtro entre suelos finos erosionables y una roca permeable gruesa o enrocamiento de protección.
- Usar medidas contra la socavación para proteger a las estructuras, para evitar la falla de las mismas, y para evitar impactos adversos a los arroyos. Es común el empleo de enrocamiento de protección en zonas de alta velocidad o en áreas críticas ver foto 4.4.8.1. También se puede usar vegetación, tocones, troncos o espolones para la estabilización de las márgenes de un arroyo.
- Poner atención a los detalles de diseño donde sea necesario colocar protección de roca y filtros.
- Usar geotextiles en aplicaciones para caminos y para obras hidráulicas a fin de proporcionar un filtro por detrás del enrocamiento de protección o alrededor de un subdren. Use materiales geosintéticos en otras aplicaciones, tales como separación y refuerzo, siempre y cuando resulten rentables en cuanto a costo y practicidad.

La foto 4.4.8.1 muestra un enrocamiento de protección con respaldo de un filtro geotextil que están siendo usados para proteger al camino de grandes flujos de agua. Se puede observar que el camino está mal ubicado, ya que esta muy cerca del arroyo, y esto nos da como consecuencia un punto vulnerable en el camino.



Foto 4.4.8.1 *Enrocamiento de protección con respaldo de un filtro geotextil (Ingeniería de caminos rurales por Keller y Sherar, 2004).*

4.5.- ESTABILIDAD DE TALUDES

Los objetivos de los cortes y rellenos comunes en caminos son: 1) crear espacio para el camino; 2) balancear las cantidades de materiales de corte y de relleno; 3) permanecer estables con el paso del tiempo; 4) no ser causa de la formación de sedimentos; y 5) minimizar los costos a largo plazo.

Los deslizamientos de tierra y las fallas en los cortes y rellenos de caminos pueden ser la fuente principal de la formación de sedimentos, pueden causar el cierre del camino, pueden requerir reparaciones mayores, y pueden aumentar en gran medida los costos de mantenimiento del camino. No se deben dejar cortes con taludes verticales a menos que el corte sea en roca o en un suelo muy cementado. Los cortes en talud estables a largo plazo en la mayor parte de los suelos y de las zonas geográficas tienen una inclinación típica de 1:1 o de $\frac{3}{4}$:1 (horizontal:vertical).



Foto 4.5.1 Talud de corte perfectamente estable, pendiente aproximada de 1:1 y protegido por vegetación. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Idealmente, los taludes tanto de cortes como de terraplenes deben construirse de tal forma que se puedan reforestar, pero los cortes hechos en suelos compactos y estériles o en materiales rocosos son difíciles de sembrar. Los taludes en rellenos se deben dejar con una inclinación de $1\frac{1}{2}$:1 o más tendidos. Los taludes de terraplenes

demasiado escarpados (con inclinaciones mayores de $1\frac{1}{2}:1$), generalmente formados al vaciar a volteo material suelto de relleno, pueden seguirse desmoronando con el tiempo, son difíciles de estabilizar, y están sujetos a fallas del tipo de hendiduras longitudinales en el relleno.

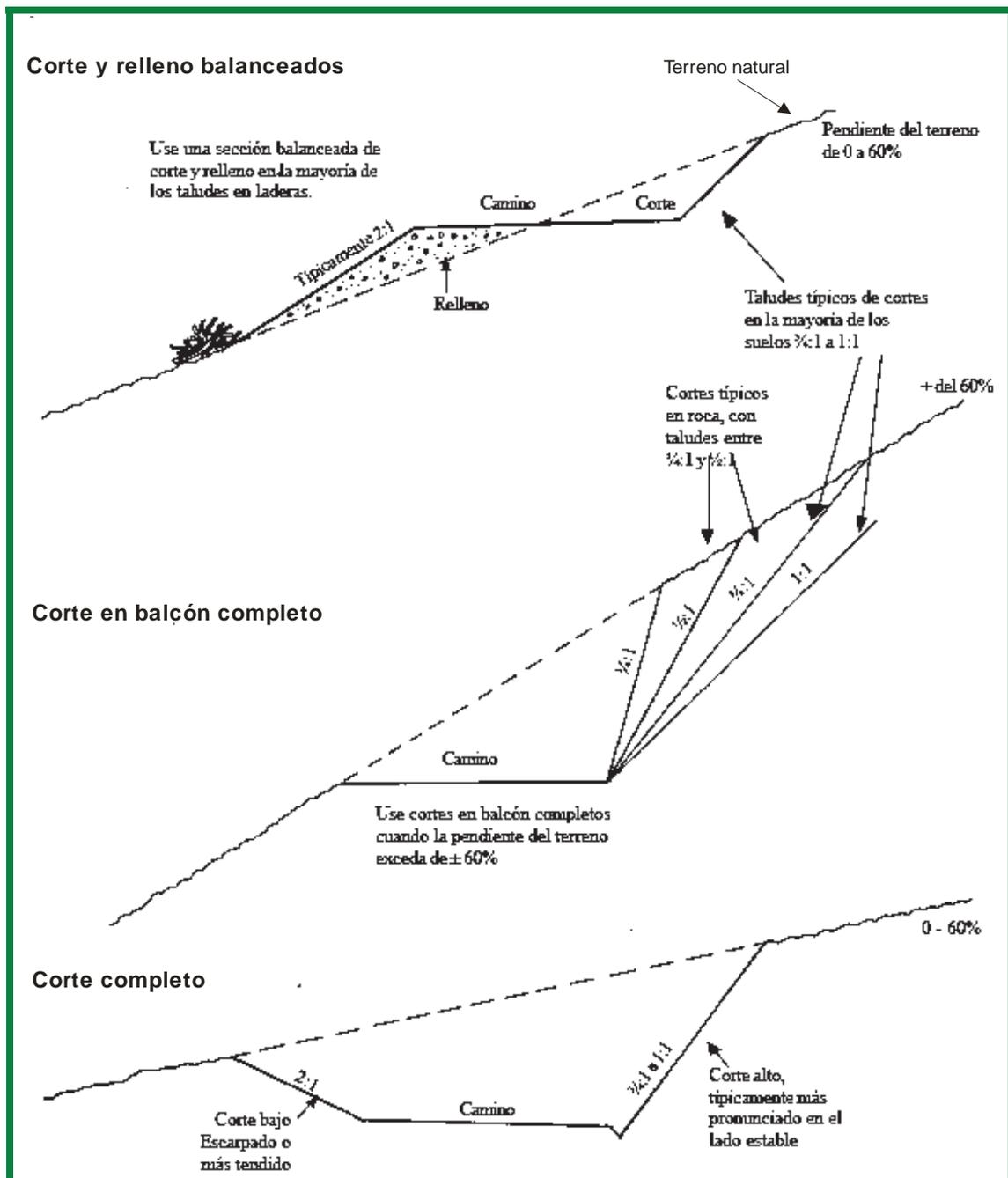


Figura 4.5.1 Opciones de diseño para taludes de corte. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Un relleno de roca puede ser estable con una pendiente de 1-1/3:1. Idealmente, los terraplenes deberían construirse con taludes de 2:1 o más tendidos para promover el crecimiento de la vegetación y la estabilización de los taludes. En la tabla 4.5.1 se presenta una gama de relaciones de talud que se usan comúnmente para los cortes y terraplenes y que son apropiados para los tipos de suelos y de rocas mencionados en la tabla.

El agua subterránea es la causa principal de falla de taludes. Las fallas de talud, o deslizamientos de tierra, suceden generalmente cuando un talud está demasiado inclinado, donde el material de relleno no está compactado, o donde los cortes en suelos naturales del lugar alcanzan el agua subterránea o penetran en zonas de material pobre. Con una buena ubicación del camino se puede con frecuencia evitar las zonas con deslizamientos de tierras y con ello reducir las fallas de talud. Cuando las fallas llegan a ocurrir, se deberá estabilizar la zona de deslizamiento removiendo el material caído, haciendo el talud más tendido, agregando drenaje, o empleando estructuras, etc. Los diseños son típicamente particulares para cada sitio y podrán requerir la participación de ingenieros expertos en geotecnia y en geología.

Las fallas que ocurren típicamente afectan las operaciones del camino y el costo de su reparación puede ser alto. Las fallas cercanas a arroyos y a cruces de canales tienen como riesgo adicional la afectación de la calidad del agua. Se cuenta con una amplia gama de medidas para la estabilización de taludes para que el ingeniero pueda resolver los problemas de estabilidad de taludes y poder atravesar una zona inestable. En la mayor parte de los trabajos de excavación y de construcción de terraplenes, mediante taludes relativamente tendidos, una buena compactación y la dotación del drenaje necesario se podrá eliminar en términos generales la mayoría de los problemas rutinarios de inestabilidad. Una vez ocurrida una falla, la medida de estabilización más apropiada dependerá de las condiciones particulares del sitio tales como la magnitud del deslizamiento, el tipo de suelo, el uso del camino, las restricciones de alineamiento, y la causa de la falla.

Condición suelo/roca	Relación de talud (Hor:Vert)
La mayoría de las rocas	1/4:1 a 1/2:1
Suelos muy cementados	1/4:1 a 1/2:1
La mayoría de los suelos locales	3/4:1 a 1:1
Roca muy fracturada	1:1 a 1 1/2:1
Suelos granulares gruesos sueltos	1 1/2:1
Suelos muy arcillosos	2:1 a 3:1
Zonas blandas con abundantes arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 1/2:1 a 2:1
Rellenos de la mayoría de los suelos	1 1/2:1 a 2:1
Rellenos de roca dura angulosa	1 1/3:1
Cortes y rellenos de baja altura (< 2-3 m de altura)	2:1 o más tendidos (para reforestación)

Tabla 4.5.1 Relaciones comunes de taludes estables, para diferentes condiciones de suelo/roca. (Ingeniería de Caminos rurales. Keller y Sherar, 2004).

Las estructuras de contención son relativamente caras pero necesarias en zonas angostas y abruptas para ganar terreno para el camino o para sostener el cuerpo del terraplén del camino sobre una ladera empinada, en lugar de hacer un corte grande del lado de la colina. También se pueden usar para la estabilización de taludes. Las estructuras de gaviones son muy populares para muros de hasta unos seis metros de altura debido sobre todo a que se usa roca disponible localmente y se necesita mucha mano de obra (foto 4.5.2).

Para el caso de muros bajos y altos en muchas zonas geográficas las estructuras de Tierra Estabilizada Mecánicamente o “Tierra Armada” son los muros menos costosos disponibles actualmente, son sencillos de construir y con frecuencia se puede usar material granular de relleno extraído en el sitio. Se construyen comúnmente usando capas de geotextiles o de malla de alambre soldado, colocadas entre capas de suelo de 15 a 45 cm de espesor con lo cual se agrega refuerzo a la tensión al suelo. Con frecuencia, los pilotes H hincados o las tablestacas hincadas, con o sin tirantes, constituyen los tipos de muro de mayor aceptación ambiental porque causan menos alteraciones locales que las estructuras de gravedad o tipo “Tierra armada”, las cuales requieren una gran excavación para su cimentación. La mayoría de las fallas de muros ocurren como resultado de una falla de la cimentación. Por lo tanto las estructuras deben colocarse sobre una buena cimentación, como puede ser roca sana o suelo firme local.



Foto 4.5.2 Gaviones como estructuras de contención de baja altura tipo “de gravedad”. (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Prácticas recomendables:

- Los taludes en roca fracturada con el lechado en dirección del deslizamiento del talud se recomiendan más tendidos o prever una periodicidad de mantenimiento más frecuente en caso de desprendimientos de roca sobre el camino.
- Usar construcción balanceada de corte y relleno en la mayoría de los terrenos para minimizar los movimientos de tierra.
- Usar un sistema constructivo a base de terrazas en terrenos abruptos (cuando la pendiente del camino es de más del 60%, ver la figura 4.5.1). Considerar la construcción de un camino angosto de un solo carril con apartaderos de paso, para minimizar la excavación.
- Construir taludes en corte en la mayor parte de los suelos usando una relación de talud en corte de 3/4:1 a 1:1 (horizontal a vertical). Dejar taludes en corte más tendidos en suelos granulares gruesos y en suelos no consolidados, en

zonas húmedas y en suelos blandos o muy arcillosos. Usar taludes en corte relativamente planos (2:1 o más tendidos) en cortes de baja altura (<2-3 metros de alto), para ayudar a promover el crecimiento de la vegetación.

- Construir taludes en cortes de roca usando una relación de talud en corte de 1/4:1 a 1/2:1, considerando algunas excepciones en casos particulares.
- Usar cortes casi verticales (1/4:1 o más parados) únicamente en roca estable o en suelos muy cementados, tales como ceniza volcánica cementada o suelo de granito intemperizado en el lugar, donde el riesgo de erosión superficial o de desmoronamiento continuo de un corte relativamente plano, sea grande y el riesgo de fallas locales en el corte empinado sea bajo. Donde se cuente con casos reales de larga duración, aplicar la experiencia local, así como ensayos y análisis ideales de materiales, para determinar el ángulo estable de corte para un tipo de suelo en particular.
- Conducir el agua superficial (escurrimiento) hacia afuera de los taludes de cortes y terraplenes.
- Colocar el desperdicio maderero de la construcción y rocas a lo largo del pie de taludes de terraplenes. No enterrar el desperdicio maderero en el terraplén.
- Deshacerse del material de excavación sobrante o no adecuado en lugares que no vayan a causar la degradación de la calidad del agua ni otros daños a los recursos naturales.
- Construir rellenos con una relación de talud de terraplén de 1-1/2:1 (horizontal a vertical) o más tendido. En la mayoría de los suelos un talud de terraplén de 2:1 o más tendido promoverá el crecimiento de vegetación. En suelos tropicales con alto contenido de arcilla dentro de zonas muy lluviosas, un talud de terraplén de 3:1 es recomendable.

- Compactar los taludes de terraplén en zonas sensibles o donde el relleno se construya con suelos erosionables o de mala calidad. Usar procedimientos específicos de construcción tales como apisonamiento con rodillos, colocación del relleno en capas (de 15 a 30 cm de espesor), o uso de equipos de compactación específicos cuando estén disponibles.
- Retirar el material orgánico superficial, colocar una terraza al pie, y construir terrazas en la superficie del terreno natural cuando las laderas tengan una inclinación de entre 40 y 60% antes de proceder a colocar el relleno sobre el suelo original con el fin de evitar una falla tipo “relleno de hendiduras” en el contacto entre el suelo nativo y el relleno. Si llegara a ocurrir una falla del relleno en un talud escarpado, hará falta para las reparaciones una estructura de contención o un relleno reforzado.
- Considerar la utilización de rellenos reforzados cuando un talud de terraplén de 1:1 se adapte al terreno natural estable. Usar rellenos reforzados como una alternativa de bajo costo en comparación con las estructuras de retención.
- Aplicar medidas físicas y biotécnicas de estabilización de taludes tales como estructuras de contención, contrafuertes, capas de maleza y drenaje, en caso necesario para lograr taludes estables. Las estructuras de contención pueden estar formadas por enrocamiento suelto, gaviones, concreto reforzado, pilotes, encofrados, tablaestacado, o muros de tierra estabilizada mecánicamente con una gran variedad de revestimientos como geotextiles, malla de alambre soldado, madera, bloques de concreto o llantas. El relleno en el respaldo del muro se compacta generalmente al 95% del peso volumétrico máximo según la norma AASHTO T-99.
- Colocar las estructuras de retención únicamente sobre buenos materiales de construcción, como puede ser roca sana o suelos firmes locales.

4.6.- BANCOS DE MATERIALES

El uso de materiales locales de costo relativamente bajo puede traer como resultado la aplicación de mayores extensiones de superficie de rodamiento y de mejor protección de taludes con roca ya que los materiales están muy a la mano y no son caros. Sin embargo, los materiales de baja calidad implicarán un mayor mantenimiento del camino y pueden tener un comportamiento pobre. En general, los bancos de préstamo y las pedreras pueden producir impactos negativos importantes, incluyendo la producción de sedimentos de un área grande desgastada por erosión, un cambio en el uso del suelo, impactos en la vida silvestre, problemas de seguridad, e impactos visuales. Es por ello que la planeación del sitio de una pedrera, su ubicación y su explotación deberían generalmente llevarse a cabo en combinación con un Análisis Ambiental para determinar la idoneidad del sitio y las limitaciones.

Se debe preparar un Plan de Desarrollo de Bancos para cualquier explotación de pedreras o de bancos de préstamo a fin de definir y controlar el uso del sitio y de los materiales que se van a extraer. En un plan típico de desarrollo se define la ubicación del depósito de materiales; el equipo de trabajo, las áreas de almacenamiento y de extracción; los caminos de acceso; los límites de la propiedad; los recursos hídricos; la geometría final del banco y de los taludes circundantes; etc. La extracción de los materiales del banco puede dar lugar a importantes cambios a largo plazo en el uso del suelo, por lo que se necesita un buen análisis del sitio.

Los depósitos fluviales de gravas o los depósitos de terrazas de ríos generalmente se usan como bancos de materiales. Idealmente, los depósitos en los arroyos o en los ríos o cercanos a éstos no deberán usarse. La extracción de grava en cauces de arroyos con corriente puede causar daños importantes a la vía fluvial, tanto en el lugar como aguas abajo (o aguas arriba) del sitio. Sin embargo, puede ser razonable retirar ciertos materiales del canal previo estudio adecuado del sistema fluvial y teniendo cuidado en la operación. Algunos depósitos en barras de grava o en terrazas pueden resultar adecuados como bancos de materiales, sobre todo si están por encima del canal activo. El equipo no se debe operar dentro del agua. La calidad del material

local puede ser variable o marginal, y para usar materiales locales con frecuencia se necesita un proceso adicional o control de calidad. Material de baja calidad se puede producir a un costo mucho menor que el de material disponible comercialmente, pero su comportamiento no será tan bueno. Se tendrán que separar las zonas con buenos materiales de las que tienen malos materiales. Sin embargo, el uso de materiales locales puede ser muy recomendable y redituable, en cuanto a costos.

Prácticas recomendables:

- Explotar localmente bancos de préstamo, pedreras y fuentes de abastecimiento de materiales en greña siempre que resulte práctico en el sitio de un proyecto. Asegurarse de que se ha llevado a cabo un Análisis Ambiental para el establecimiento de nuevas fuentes de abastecimiento de materiales.
- Usar un Plan de Desarrollo de Bancos para definir y controlar el uso de materiales locales. En un Plan de Desarrollo de Bancos se debería incluir la ubicación del sitio, la extensión de la explotación, la excavación, las áreas de almacenamiento y de trabajo, la geometría del banco, el volumen de material utilizable, las limitaciones del sitio, una vista en planta, las secciones transversales de la zona, etc. En el plan se deberían también considerar las clausuras provisionales o temporales así como las operaciones futuras.
- Preparar un Plan de Recuperación de Bancos en combinación con la planeación del banco para devolverle a la zona otros usos productivos en el largo plazo. En un Plan de Recuperación de Bancos se debería incluir información como la de conservación y reapiación de la capa vegetal, la configuración final, las necesidades de drenaje, la reforestación y las medidas de control de erosión.
- Reconfigurar, reforestar y controlar la erosión en bancos de préstamo a los lados del camino para minimizar sus impactos visuales y ambientales. De

preferencia, localizar las fuentes de abastecimiento de materiales, ya sea dentro del derecho de vía del camino o fuera de la vista de la calzada.

- Mantener el control de calidad del proyecto mediante ensayos de materiales para garantizar la producción de materiales de calidad adecuada en pedreras y en bancos de préstamo.

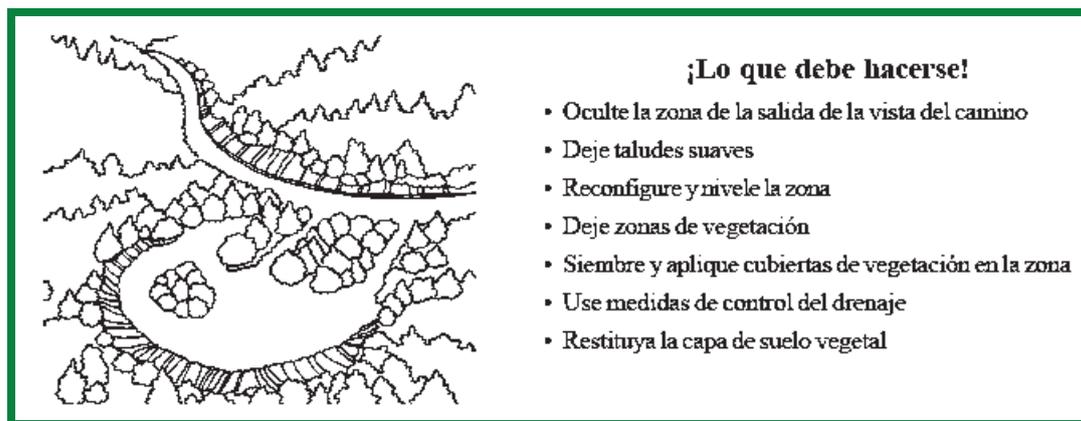


Figura 4.6.1 Buenas practicas para la explotación de pedreras a los lados del camino. (Adaptado de Visual Quality Best Management Practices for Forest Management in Minnesota, 1996).



Figura 4.6.2 Ubicación ideal y secuencia de excavación. (Adaptado de Visual Quality Best Management Practices for Forest Management in Minnesota, 1996).

4.7.- DISEÑO DE PAVIMENTOS

Los caminos rurales se construyen generalmente de materiales locales que deben soportar a vehículos ligeros, que quizá tendrán que soportar el tránsito de camiones de carga pesados. Además, deben tener una superficie de rodamiento que, al estar húmeda, proporcione una tracción adecuada a los vehículos. La superficie de los caminos con suelos locales también constituye un área expuesta que puede producir cantidades importantes de sedimentos, sobre todo si tiene roderas.

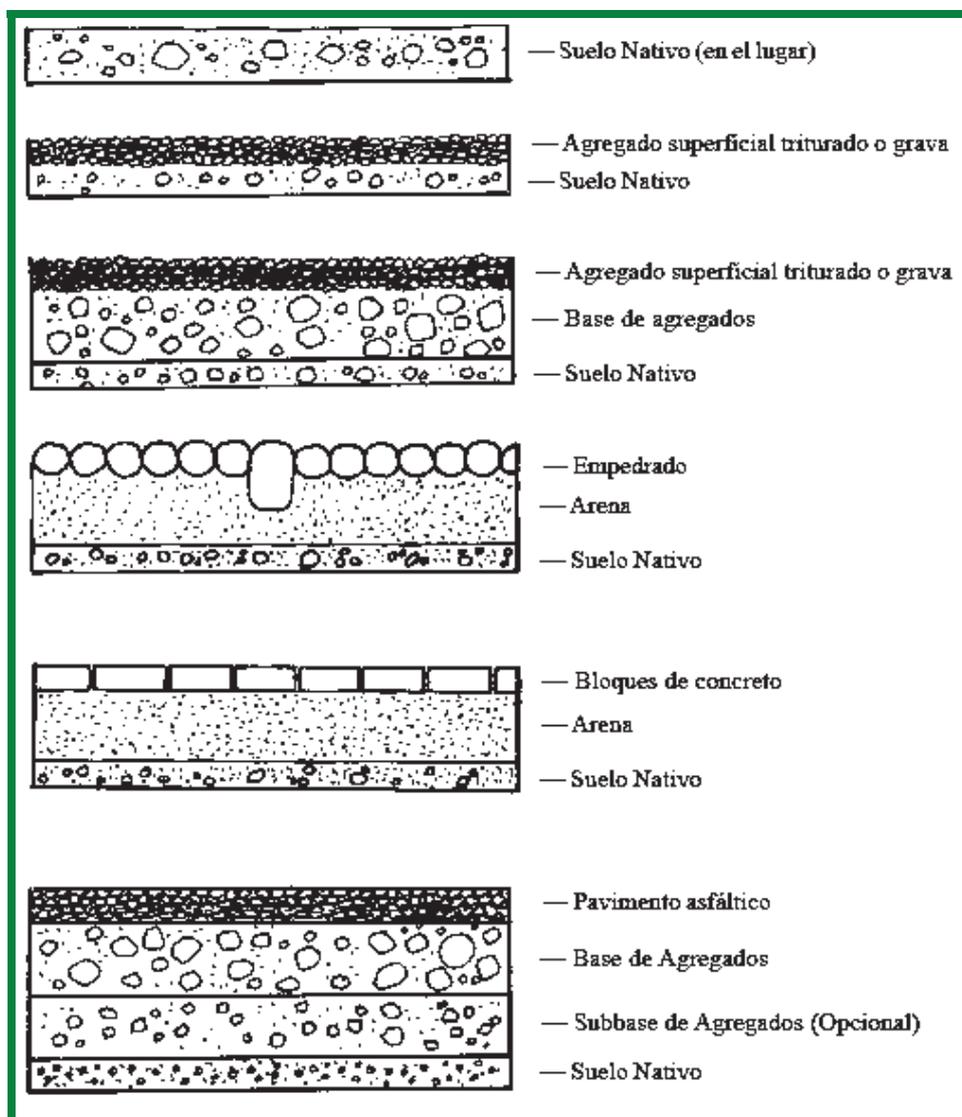


Figura 4.7.1 Tipos de revestimientos usados comúnmente para superficies de caminos rurales (Ingeniería de Caminos Rurales por Keller y Sherar, 2004).

Generalmente es recomendable, y en muchos casos necesario, agregar soporte adicional a la subrasante o mejorar la superficie natural del cuerpo del terraplén mediante materiales tales como grava, suelo rocoso grueso, agregados triturados, cantos rodados, bloques de concreto, o algún tipo de recubrimiento bituminoso como riego de sello, o inclusive un pavimento asfáltico. La superficie de rodamiento al mismo tiempo mejora el apoyo estructural y reduce la erosión de la superficie del camino. La selección del tipo de recubrimiento depende del volumen de tránsito, de los suelos locales, de los materiales disponibles, de la facilidad de mantenimiento y, a final de cuentas, del costo.

Existe una gama de opciones para mejorar la capacidad estructural de la calzada en zonas de suelos blandos o de subrasantes pobres. Entre ellas se pueden considerar generalmente las siguientes:

- Agregar material de mayor resistencia y calidad sobre el suelo blando, como puede ser una capa de grava o de agregado triturado.
- Mejorar el suelo blando en el lugar (in situ) al mezclarlo con aditivos estabilizadores tales como cal, cemento, asfalto o productos químicos.
- Cubrir o proteger el suelo blando con materiales tales como geotextiles o piezas de madera (camino de troncos).
- Remover el suelo blando o pobre y sustituirlo por un suelo de alta calidad o por material rocoso.
- Limitar el uso del camino durante periodos de clima lluvioso que es cuando los suelos arcillosos se reblandecen.
- Compactar el suelo local para aumentar su peso volumétrico y su resistencia.

- Mantener el suelo sin humedad mediante un drenaje efectivo de la calzada o encapsulando al suelo para mantener el agua alejada de él.

Se pueden usar diversos materiales para estabilización tales como aceites, cal, cementos, resinas, lignina, cloruros, enzimas y productos químicos con el propósito de mejorar las propiedades físicas del suelo en el lugar. Pueden resultar muy redituables en cuanto a costo en zonas donde el agregado u otros materiales sean difíciles de conseguir o resulten caros. El mejor material para estabilización de suelos que se puede usar depende del costo, tipo de suelo, comportamiento y experiencia local. Con frecuencia se necesitarán secciones de prueba para determinar el producto que sea el más adecuado y el más efectivo con respecto al costo. Sin embargo, para muchos estabilizadores de suelo seguirá haciendo falta un cierto tipo de superficie de rodamiento. Una superficie estabilizada de rodamiento mejora la tracción y ofrece protección contra la erosión así como un apoyo estructural.

La grava y el agregado triturado son los materiales más comunes para mejorar la superficie de rodamiento que se usan en la construcción de caminos de bajo volumen de tránsito. A veces se usan agregados pero únicamente como material de “relleno” de roderas, pero es más recomendable colocarlo como una sección estructural completa.

El agregado para la superficie de rodamiento del camino debe cumplir con dos funciones básicas:

- Debe tener calidad suficientemente alta y el grosor suficiente para proporcionar apoyo estructural para el tránsito, así como para evitar la formación de roderas.
- Debe estar bien graduado y mezclarse con suficiente cantidad de finos, de preferencia con cierta plasticidad, para evitar el desmoronamiento y la formación de ondulaciones.

El espesor necesario del agregado varía típicamente entre 10 y 30 cm, dependiendo de la resistencia del suelo, del tránsito y del clima. En las referencias selectas se pueden encontrar los procedimientos para el diseño específico de espesores de agregados, encima de suelos en algunos casos muy blandos. Cuando el valor del California Bearing Ratio (CBR) de menos de 3, el espesor de los agregados se puede reducir mediante el uso de un refuerzo de la subrasante a base de un geotextil o de una geored. Por otro lado, las capas de geotextil resultan benéficas sobre suelos blandos para separar el agregado del suelo, para mantener al agregado sin contaminación, y para alargar la vida útil del agregado.

En regiones semiáridas a desérticas, un porcentaje relativamente alto de finos, del orden del 15 al 20%, con plasticidad moderada, es lo más recomendable. En un ambiente “húmedo” muy lluvioso, tal como el de regiones tropicales, costeras, montañosas o selváticas, un porcentaje bajo de finos, comprendido entre 5 y 10%, es deseable para evitar la formación de roderas y para mantener estable a la superficie de rodamiento del camino. Idealmente el agregado para la superficie de rodamiento es duro, triturado o tamizado hasta alcanzar tamaños máximos de 5 cm y está bien graduado para lograr la densidad máxima. Contiene entre 5 y 15% de ligante arcilloso para evitar el desmoronamiento, y tiene un Índice de Plasticidad de entre 2 y 10. La capa superficial aplicada al camino debe recibir mantenimiento a fin de evitar la formación de roderas y de protegerla contra la erosión. Puede tener lugar un deterioro significativo del camino cuando no es posible controlar la ocurrencia de roderas, desmoronamientos, ondulaciones o erosión superficial. Se pueden reducir en gran medida los daños si se restringe el uso del camino durante la temporada de lluvias en caso que la operación del camino permita la aplicación de esta medida.

La compactación es quizá el método más eficiente en cuanto a costo para mejorar la calidad (resistencia e impermeabilidad) de las capas de suelo de subrasante y para mejorar el comportamiento de la capa superficial de agregados. Por lo tanto, la compactación resulta útil para proteger la inversión en los agregados para el camino, para maximizar su resistencia, para minimizar la pérdida de finos, y para evitar el desmoronamiento. Por otro lado, el comportamiento del camino ha sido excelente en

algunas regiones semiáridas mediante el uso de materiales locales mezclados, normas muy estrictas de compactación, y una membrana impermeable como puede ser un riego de sello asfáltico.

Existen diferentes métodos de diseño de pavimentos, en nuestro país los más utilizados son cuatro: el método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el del Catálogo Técnico de uso en España, el propuesto por el Instituto Norteamericano del Asfalto y, finalmente, el propuesto por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

El criterio del ingeniero no puede desarrollarse, obviamente, sin una consideración de los factores económicos involucrados, pero éstos resultan siempre de una amplitud y balance que trasciende enormemente la consideración única o preponderante del costo inicial de la misma construcción. Así, un análisis tan incompleto de los factores económicos puede y suele producir serios inconvenientes en los resultados finales de los esfuerzos de la Nación.

Más aún, la legislación y los mecanismos de contratación actuales resultan, debe reconocerse, excesivamente proclives a la aparición de nocivos aspectos en el funcionamiento de las cosas en el largo plazo, al alentar de manera exagerada el logro de un costo mínimo de inversión inicial. El pecado no es sólo mexicano, es mundial (o casi) en cierta escala y se transmite de padres a hijos, a través de libros, artículos, congresos y otros instrumentos. Es claro que nadie es partidario de gastar el presupuesto nacional en números mayores que lo necesario en cada caso, pero el gasto necesario raramente coincide con la mínima inversión inicial. Suele ser mayor, por tener que tomar en cuenta otros factores. De esta manera, el criterio del costo inicial mínimo ha llevado a México y a muchos países a infraestructuras deficientes en muchos casos; no preparadas para un futuro uso y crecimiento y, a veces, con un funcionamiento defectuoso en lo construido con alto costo y gran sacrificio.

La falla por fatiga es la que ocurre por la acción reiterada de un esfuerzo que, aplicado una sola vez, no provocaría ningún problema. Un ejemplo simple se tiene al doblar

una y otra vez un alambre y constatar que en la operación número “x” se rompe el alambre, aunque aparentemente esa acción final fue idéntica a los doblajes precedentes. Un similar efecto reiterativo tiene el tránsito al pasar una y otra vez sobre una carpeta asfáltica. Esto es una evidencia experimental para cualquiera, de dos condiciones. Primero de la intensidad de la acción reiterada, vale decir del esfuerzo aplicado cada vez y, segundo, de la magnitud de la deformación inducida en cada aplicación de la carga; también influye poderosamente la flexibilidad o rigidez de la capa del pavimento que soporta la repetición. En un pavimento, la intensidad del efecto es medida por la magnitud de la carga que se aplica a través de las llantas de un vehículo y la reiteración es medida por las repeticiones de esa carga sobre una misma zona de dicho pavimento. Como se dijo, ambas cosas han crecido mucho en la red básica pavimentada del México actual.

El efecto de deformación acumulativa resulta de la deformación que el pavimento sufre bajo la acción de la llanta que pasa. Dicha deformación se recupera parcialmente cuando la llanta deja de oprimir, pero tal recuperación nunca es total; siempre queda un remanente, que conduce a una deformación permanente, la cual dificulta la marcha de los vehículos, aumentando su costo operativo y, eventualmente, contribuye a la ruptura y agrietamiento de la carpeta asfáltica. Al agrietarse la carpeta pudiera penetrar el agua en el interior de la sección estructural, formada generalmente por materiales térreos que, de ser susceptibles, disminuirán su resistencia, creándose un efecto de cascada que llevará a una falla generalizada de la mencionada sección estructural. Se debe de tener en cuenta que en un pavimento asfáltico la capa superior (carpeta asfáltica) es la más rígida del conjunto de la sección estructural. Naturalmente, una manera de defender la carpeta asfáltica del agrietamiento producido por el efecto reiterado del tránsito es hacerla con un espesor tal que el esfuerzo aplicado resulte muy pequeño en comparación con la resistencia de la capa; es decir, construirla por arriba de lo que se llama el umbral de fatiga, pero ello llevará a la construcción inicial de carpetas de gran espesor. La falla por fatiga en la carpeta puede combatirse de dos maneras. Primero dando a la carpeta un espesor tal que el esfuerzo aplicado por el tránsito le permita aceptar todas las repeticiones con deformaciones tan pequeñas que no produzcan posibilidades de agrietamiento o de

deformación acumulativa y, segundo, apoyando esa carpeta en otras capas suficientemente resistentes y poco deformables como para lograr el mismo efecto. Estas capas de apoyo de la carpeta están formadas por materiales térreos (a veces inclusive estabilizados con cemento u otros materiales), que, si han de cumplir a conciencia su cometido, deberán ser resistentes y poco deformables, en relación a los niveles de esfuerzos que le vayan correspondiendo según su profundidad relativa; también deberán ser poco susceptibles a la acción del agua, a fin de poder mantener con el tiempo esas cualidades iniciales. Evidentemente estos materiales térreos resultan más baratos que las carpetas, de manera que suele resultar más conveniente que la sección estructural de los pavimentos tenga la suficiente resistencia y deformabilidad relativas como para poder funcionar satisfactoriamente aún con carpetas más delgadas, pero obviamente convenientes. De esta manera se logrará también una sección estructural, carpeta incluida, que pueda crecer hacia arriba en forma económica y racional, si el camino ve acrecentado el tránsito circulante, lográndose secciones estructurales en las que todo lo antes hecho sea todo aprovechable y el refuerzo necesario por el crecimiento del tránsito, sea una adición sencilla (sobrecarpeta) que no exija acciones en profundidad, siempre mucho más costosas.

Si sobre una terracería razonablemente buena se van colocando una capa de subrasante apropiada y sobre ella una subbase y una base de calidades crecientes y francamente capaces de soportar los esfuerzos que les lleguen, tanto en resistencia como en posibilidades de deformación, una carpeta asfáltica siempre costosa de espesor razonable podrá soportar los embates del tránsito del momento, con cierto margen de previsión. Cuando el tránsito crezca, en número y peso, tal como parece que ha de suceder en las carreteras mexicanas, esa sección estructural podrá reforzarse simplemente por adiciones sucesivas en la superficie del pavimento, sin necesidad de incurrir en mucho más costosas operaciones en las profundidades de la sección estructural que, de no hacerse, conducirán a un rápido agrietamiento y deformación excesiva al añadido superior que se haya colocado y a la continua necesidad de reiterar las operaciones de refuerzo una y otra vez, para verlas destruirse en muy cortos lapsos o a padecer, como alternativa una carretera en mal

estado superficial permanente, con lo que ello significa en los costos de operación del transporte, de costo relativo muy superior al costo de construcción, a lo largo del tiempo.

La información experimental obtenida hasta la fecha se ha utilizado fundamentalmente de tres formas. Se obtienen parámetros de comportamiento de los materiales, que introducidos en alguna relación previamente obtenida, que a su vez contenga alguna ecuación, permitan efectuar cálculos útiles para resolución de una pregunta específica. Una segunda utilización estriba en ir obteniendo un sentimiento experimental variado en relación a los fenómenos estudiados, con la finalidad de ir obteniendo conclusiones de carácter cada vez más general. Existe además una tercera manera de utilizar la información generada en el laboratorio, que es particularmente frecuente en la actual tecnología de pavimentos. Se trata de correlacionar la respuesta experimental de un material manipulado de una cierta manera con una tecnología de laboratorio, con el comportamiento observado de estructuras construidas en las obras reales, de manera que un cierto valor específico obtenido al aplicar la tecnología de laboratorio se pretende relacionar con un cierto nivel de comportamiento de una obra o parte de ella en el campo de la realidad, tratando inclusive de establecer correspondencia entre la escala de esos valores en el laboratorio y en la obra.

Dentro de los costos del pavimento estará regida la calidad y volumen de los materiales a emplearse, sin menospreciar el periodo de ejecución de los trabajos.

Prácticas recomendables:

- Utilizar el método de diseño de pavimentos del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Dispav-5).
- Hacer un análisis del tráfico tomando en cuenta las condiciones de la zona y el tránsito inducido y generado.

- Especificar la calidad de los materiales a utilizarse en cada capa de la estructura del pavimento.
- Tomar en cuenta los resultados obtenidos de las muestras de suelo extraídas del camino para ingresarlos al programa.
- Ubicar y caracterizar los bancos de materiales más cercanos.
- Considerar las posibles capas de revestimiento que puede tener el camino previamente a la construcción. En esta parte se refiere al posible material de revestimiento previamente colocado en el camino a través del tiempo.
- Hacer recomendaciones sobre los equipos de construcción a utilizarse en la construcción del pavimento.

4.8.- ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos es parte fundamental del proyecto ya que un mal planteamiento de operaciones junto con una base de insumos no actualizada arroja datos erróneos que en muchos casos se traducen en obras inconclusas e inoperantes. En el caso de elaboración de presupuestos para concursos de obra pública se deben tomar en cuenta diversos factores como pueden ser: indicadores económicos recientes, el salario mínimo vigente, establecer un calendario laboral real, entre otros no menos importantes.

A continuación se presenta una serie de prácticas recomendables para la elaboración de presupuestos con la ayuda de un programa de cómputo especializado en el análisis de precios unitarios.

Prácticas recomendables

- Utilizar un programa de precios unitarios con una base de datos actualizada para tener certidumbre de los insumos del presupuesto. En este caso se recomienda utilizar Neodata 2008.
- Crear un archivo nuevo y llenar los campos de datos del presupuesto como son: datos de la empresa, datos de la obra, etc.
- Utilizar las matrices precargadas, previa evaluación del calculista o en su caso crear nuevas matrices, modificar y ajustar rendimientos considerando experiencias propias.
- Calcular el presupuesto para obtener el costo directo. En este punto se debe considerar: el tipo de moneda a utilizarse y el tipo de explosión de insumos.
- Calcular los indirectos considerando: el porcentaje de indirectos, financiamiento, utilidad y cargos adicionales.

- Volver a calcular el presupuesto seleccionando la opción de mostrar errores potenciales.
- Calcular el Factor de Salario Real (Fasar). Ajustar el riesgo de trabajo de la empresa, determinado y avalado por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Adicionalmente se tiene que verificar el salario mínimo vigente en la región donde se lleve a cabo la obra.
- Volver a calcular el presupuesto para integrar el fasar en el análisis de costos.
- Definir la ruta crítica, considerando lo siguiente: establecer la fecha inicial y final, definir la periodicidad de ejecución, definir el calendario laboral, determinar la duración de cada concepto y definir la fecha de comienzo, definir las actividades predecesoras y sucesoras en el diagrama PERT y calcular la ruta crítica seleccionando todas las opciones de calculo que muestra la ventana.
- Calcular de nuevo el presupuesto marcando la opción de calcular el programa de suministros y el programa de suministros por partida.
- Analizar el sobrecosto, en caso de que el presupuesto sea para concurso se debe ingresar el factor para la obtención del SECODAM ahora llamado SFP. En esta parte se debe ingresar el porcentaje de utilidad propuesta, ingresar la tasa de interés según el indicador económico con la fecha correspondiente, colocar un segundo anticipo si la obra rebasa más de un ejercicio presupuestal estableciendo el importe del primer ejercicio, determinar el modelo del cálculo del financiamiento y el modelo de cargos adicionales, seleccionar la forma de presentación del programa de personal técnico, ajustar según corresponda los datos de personal de oficina de campo y oficina central, establecer los gastos de administración de oficina central y oficina de campo.

- Calcular el financiamiento considerando: el periodo de cobro de la primera estimación y segundo anticipo si es el caso, verificar el anticipo a proveedores si aplica.
- Determinar los porcentajes en las líneas de pie de los indirectos.
- Calcular nuevamente el presupuesto para integrar los costos indirectos.

Capítulo 5 **EJEMPLO DE APLICACIÓN**

5.1.- PLANEACIÓN

La buena planeación de caminos va implícita con la cantidad de información disponible en la zona de estudio, permitiendo elaborar proyectos que cumplan con las necesidades reales del usuario. El camino a la localidad del Guayabo se seleccionó por ser un camino rural cercano a la ciudad de Apatzingán, La construcción de este camino presenta un beneficio social, mejorando la calidad de vida de los habitantes en las zonas aledañas, además de un beneficio económico reduciendo los costos de transporte para todos los usuarios.

En el caso particular del camino a la localidad del Guayabo, municipio de Apatzingán, Michoacán, se aprecia que ya existe un camino de terracería hecho algunos años atrás, el cual sirve de base fundamental para el trazado del nuevo camino. Dentro de las modernizaciones de caminos rurales es común encontrar que el nuevo trazo se adentre en las propiedades ejidales o particulares aledañas al camino. La afectación de propiedades puede representar un problema grave, ya que si se procede a construir el camino sin tener liberado totalmente el derecho de vía puede llegar a cancelarse la construcción del camino por un problema de tipo meramente social, por esta razón se debe tratar de no afectar propiedades en la medida de lo posible o tener una buena comunicación con el ejido y los dueños de las tierras afectadas.

El camino al Guayabo está limitado por el cerro de Ramírez al norte y el Río Grande al Sur, estas características representan ventajas en el sentido de la obtención de materiales pétreos para la construcción de los pavimentos, ya que se puede obtener material triturado del cerro o se puede triturar y/o cribar material del río.

Las zonas de cultivo se localizan básicamente al Sur del camino, representando una superficie cultivable de aproximadamente 2066 ha., de las cuales el 40 % están en producción destacando el limón con aproximadamente un 25 % y el restante 15 % de jitomate, plátano, papaya, maíz, sorgo y melón. La población en la localidad del

Guayabo es de 302 habitantes. Las localidades aledañas son: El Alcalde con 446 habitantes, El Mirador con 328 habitantes, El Morado con 256 habitantes y Cueramato con 135 habitantes, según datos del INEGI, (2005).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentario y Pesquero (SIAP) la producción promedio de jitomate es de 32 t. por ha., la del melón es de 27 t. por ha., la del limón es de 12 t. por ha., la de la papaya es de 35 t. por ha., la del maíz es de 3.5 t. por ha., la de el plátano es de 26 t. por ha., la del sorgo es de 3.6 t. por ha.



Foto 5.1.1 Superficie de cultivo aledaña al camino.

Tomando en cuenta las prácticas recomendables de planeación en el capítulo 4, se considera construir dos carriles de circulación con un ancho de calzada de 6.5 m. de superficie de rodamiento, considerando una raya separadora de sentidos de circulación de color amarillo retrorreflejante de 10 cm. y dos rayas de color blanco retrorreflejante de 10 cm. en la orilla derecha del sentido de circulación.

Se utiliza el programa Google Earth para visualizar toda la zona con vistas aéreas de gran calidad para determinar el mejor trazo minimizando el número de cruces de arroyos, tomando en cuenta las zonas protectoras de aguas para evitar que cuando el camino siga el mismo curso del arroyo no estén demasiado cerca, además de localizar posibles bancos de materiales.

Actualmente la mayoría de la producción agrícola aledaña al camino se transporta en vehículos tipo A'2 y C2, para el transporte de pasajeros se utilizan los vehículos particulares en su mayoría vehículos tipo A.

Se realizó una encuesta a los usuarios del camino, el mismo día que se procedió a extraer las muestras de suelo para analizarlas en el laboratorio, la cual reveló el interés por parte de los usuarios a que se realice la construcción, la disposición de facilitar información de los propietarios de los predios colindantes, y la posibilidad de proponer en la asamblea ejidal las posibles inconformidades para tratar de ayudar a resolver cualquier asunto relacionando con el camino.

5.2.- PROYECTO GEOMÉTRICO

Para realizar el proyecto geométrico se utilizó un GPSmap 60cs con antena externa, con el cual se recabaron todos los puntos importantes en el camino, para posteriormente ser descargados en un sistema de cómputo.

El proyecto geométrico para este camino se realizó sobre la plataforma del programa AutoCAD, donde se descargó toda la información relacionada con la topografía del terreno, cartas topográficas y fotos aéreas del INEGI. Para descargar todos los puntos marcados por el GPS se utilizó el programa CivilCAD para facilitar la manipulación de todos los datos obtenidos, para insertar las cartas topográficas y para las fotos aéreas se usó el programa Autodesk Map, este programa reconoce las coordenadas geográficas de las cartas topográficas y de las fotos aéreas colocándolas en orden. El tipo de archivo que se inserta en el caso de las cartas topográficas puede ser Imagen GIF o Archivo de Microsoft Office Document Imaging, para las fotos aéreas el tipo de archivo para insertar debe tener la extensión .BIL.

Se separaron en capas los diferentes tipos de información, en el caso de los puntos topográficos, se creó una capa para la ruta (track) creada automáticamente por el GPS, y otra serie adicional de puntos marcados por su importancia ingenieril. Para mayor información ver las prácticas recomendadas de proyecto geométrico en el capítulo 4.

El programa Google Earth sirve de apoyo ya que brinda información reciente de la zona en estudio con mayor calidad y resolución además de proporcionar datos de elevación del terreno, considerando tres dimensiones.

A continuación se presentan una secuencia de imágenes de Google Earth y otras extraídas del archivo creado con toda la información necesaria para el trazado del camino.



Foto 5.2.1 Fotografía aérea donde se muestra el inicio del camino al Guayabo.

El programa Google Earth permite reconocer la zona en estudio antes de realizar el recorrido en el camino, permitiendo obtener información adicional importante de forma sencilla. En la foto 5.2.1 se pueden apreciar una gran cantidad de rasgos físicos como son el trazo del camino, zonas de cultivo, afluentes, zonas áridas etc.

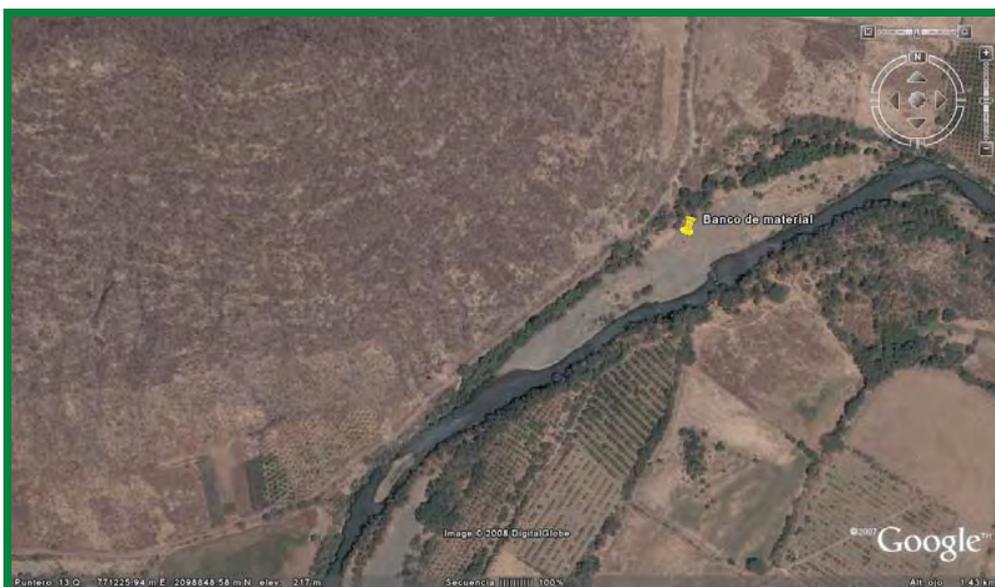


Foto 5.2.2 Fotografía aérea donde se muestra la localización de un banco de material sobre la playa de un río.

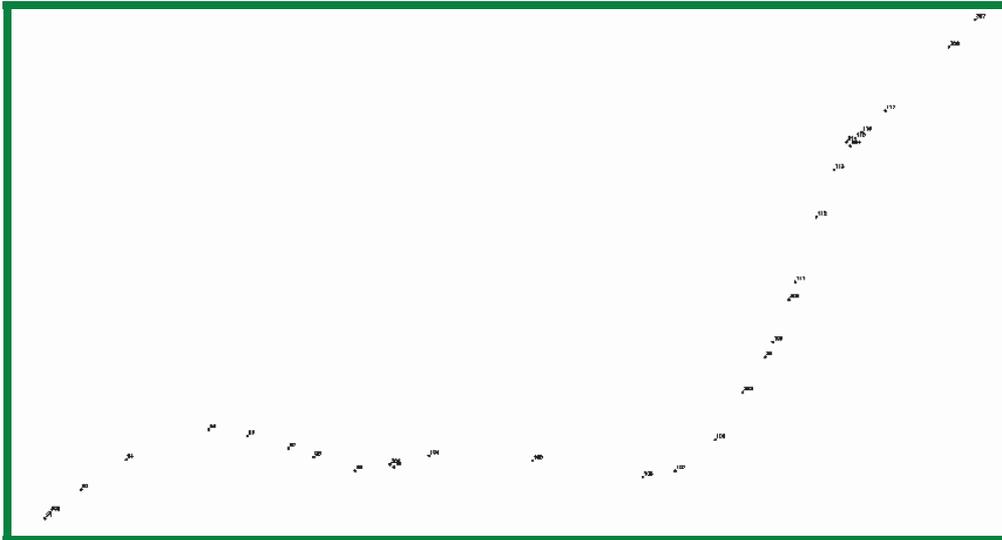


Figura 5.2.1 Puntos tomados por el GPS y descargados al programa CivilCAD.

Una vez recabados los puntos con el sistema GPS, se procede a importarlos al programa CivilCAD, para ser analizados y complementados con toda la información de campo y fotografías aéreas, como se muestra en la figura 5.2.1 y foto 5.2.3.

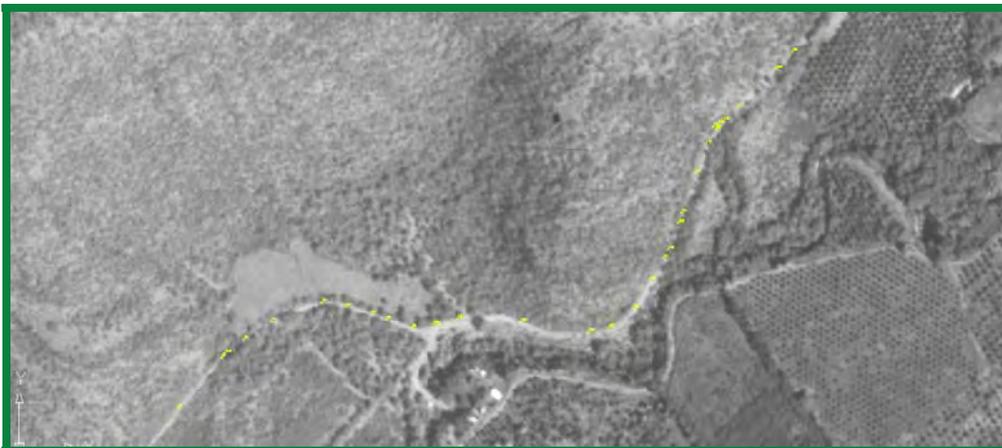


Foto 5.2.3 Fotografía aérea en la que se muestran los puntos registrados por el GPS en color amarillo.

La ruta de puntos automática (track), los puntos adicionales marcados en zonas de importancia ingenieril, las fotografías aéreas, las cartas topográficas, el trazo del camino, etc., están separados por capas para facilitar su manipulación.

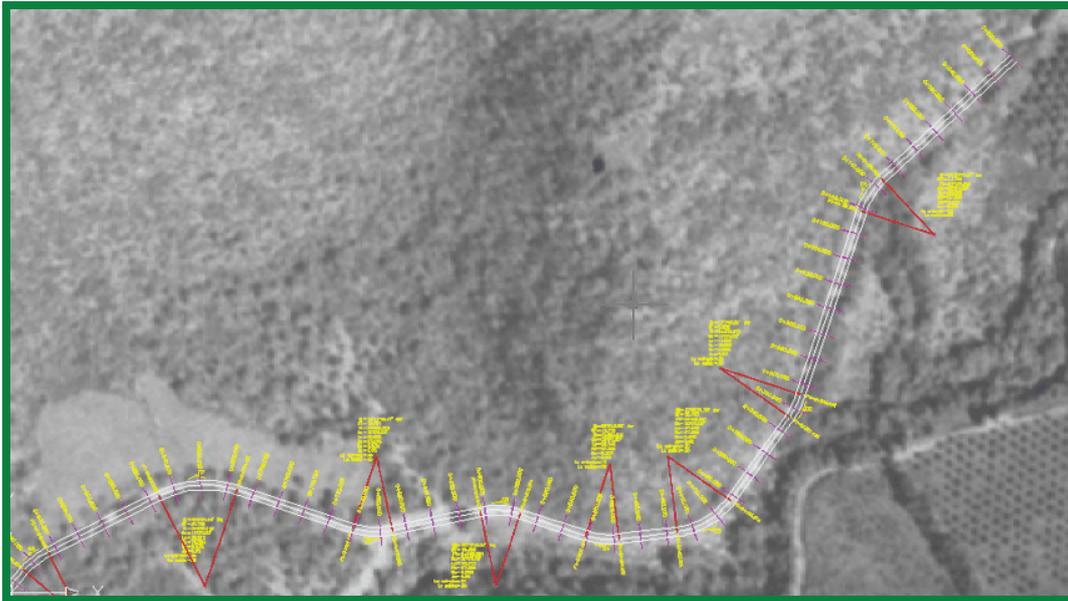


Foto 5.2.4 Trazo del camino sobrepuesto en una fotografía aérea.

Con la información importada al programa CivilCAD, se procede a realizar un trazo adecuándose a las necesidades del proyecto, calculando los grados de curvatura de las curvas horizontales, áreas de afectación en los predios colindantes, cruces de arroyos o escurrimientos superficiales de los cuales se puede calcular la superficie de la cuenca.

Se recomienda antes de iniciar los trabajos de construcción verificar toda la topografía del camino, dejando bancos de nivel y referencias topográficas en cada uno de los puntos necesarios sobre el trazo del camino.

5.3.- ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La inspección de campo junto con la ayuda obtenida de las cartas topográficas y las fotografías aéreas facilitan la identificación de los cruces hidráulicos, lo cual nos lleva a analizar el ubicado en el km. 4 + 820, de la siguiente manera.

Se procede a realizar el cálculo del gasto hidráulico empleando la fórmula racional:

$$Q = \frac{CiA}{362}$$

Q = Caudal (escurrimiento), en metros cúbicos por segundo (m³/s).

C = Coeficiente de escurrimiento.

i = Intensidad promedio de lluvia para la frecuencia seleccionada y para una duración igual al Tiempo de Concentración, en milímetros por hora.

A = Área de la cuenca de captación, en hectáreas.

C = 0.45 (Valor obtenido de la tabla 4.3.2).

i = 150 mm/h (Valor obtenido de la figura 4.3.1).

A = 101 ha. (Valor obtenido de la 5.3.1).

$$Q = \frac{0.45 * 150 * 101}{362}$$

Q = 18.83 m³/s

Procediendo a analizar el gasto con la fórmula de Manning:

$$Q = VA$$

Donde:

Q = descarga, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

V = velocidad promedio del flujo, en metros por segundo (m/s).

A = área de la sección transversal, en metros cuadrados (m²).

Para calcular la velocidad promedio del flujo:

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

Donde:

V = velocidad promedio del flujo (metros/segundo).

n = coeficiente de rugosidad (usualmente entre 0,04 - 0,07 para canales naturales).

S = gradiente del canal (metros/metro).

R = radio hidráulico (metros) = **A/P**.

Donde **A** y **P** son:

A = área de la sección transversal del canal.

P = perímetro mojado.

n = 0.035 (Valor obtenido de acuerdo a lo indicado en el capítulo 4, pag. 107).

R = 0.6 m. (Valor obtenido de acuerdo con la foto 5.4.1).

S = 0.07 (Valor obtenido en campo con ayuda del GPS).

$$V = \frac{1}{0.035} (0.6^{\frac{2}{3}}) (0.07^{\frac{1}{2}})$$

$$V = 5.37 \text{ m/s.}$$

Se procede a calcular el gasto:

$$Q = (5.37 \text{ m/s}) (3 \text{ m}^2).$$

$$Q = 16.11 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Por lo tanto se determina tomar como gasto hidráulico el que resulta de aplicar la fórmula del método racional, el cual es de $18.83 \text{ m}^3/\text{s}$.

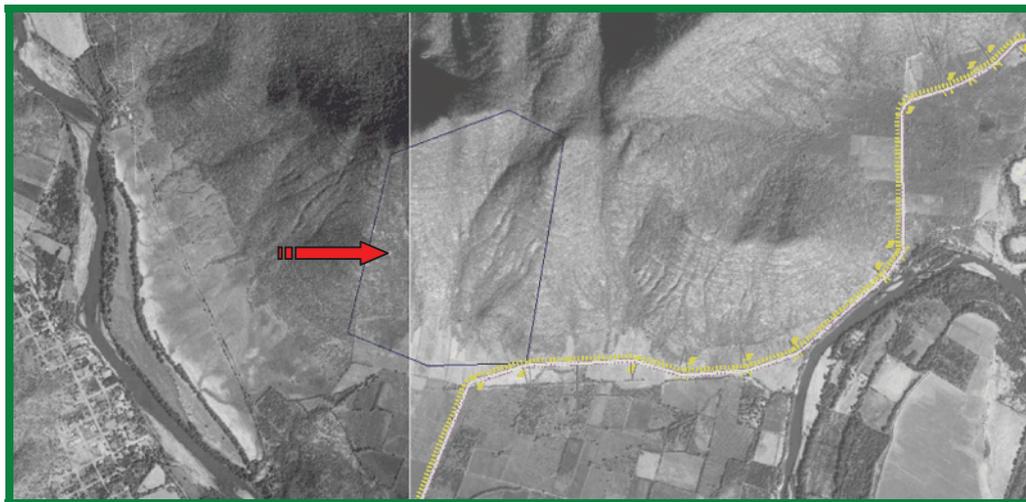


Foto 5.3.1 Cuenca de 101 ha., con escurrimiento localizado en el km. 4+820.

5.4.- DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE

Considerando que la cuenca que se forma en el km. 4 + 820, no sobrepasa las 120 ha. de extensión, se procede a tomar el dimensionamiento de la estructura de drenaje de la tabla 4.4.4.1 para un coeficiente de escurrimiento de 0.45, por medio de la interpolación de valores. El resultado que arroja la interpolación de valores para un $C=0.45$, es un diámetro de tubo circular de 94.5". Como este diámetro no está disponible se toma el de 96", indicado en la tabla 4.4.4.1 del capítulo 4.



Foto 5.4.1 Cruce hidráulico en donde se aprecia la cantidad de escombros arrastrados hacia el camino.

El recorrido del camino es fundamental para determinar las condiciones particulares del cruce hidráulico, ya que se tienen que tomar en cuenta diversos factores como son: la vegetación, el tipo de suelo, la pendiente, y sobre todo los rastros dejados por las últimas avenidas pluviales. Por lo general en nuestra entidad federativa no se cuenta con registros de precipitación pluvial en todas las zonas, por lo tanto es recomendable preguntar a los usuarios del camino sobre el alcance de los cruces hidráulicos en temporada de lluvias.

5.5.- ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico es fundamental para el diseño del pavimento ya que éste nos permite tener una referencia básica para hacer el cálculo de los espesores de cada capa que se colocará sobre el terreno natural además, nos permite clasificar el suelo y conocer sus características mecánicas.

Las muestras de suelo se obtuvieron el mismo día que se realizó el recorrido del camino, se tomó en cuenta la capa de material de revestimiento extraída de río, que se encuentra sobre el camino.

De los sondeos realizados se analizó la capa de revestimiento y el terreno natural. La capa de revestimiento es variable en todo el camino, presentando mayor espesor en los tramos bajos donde existe mayor humedad, debido a los mantenimientos llevados a cabo por los propios usuarios a través del tiempo.



Foto 5.5.1 Parte baja del camino con zonas de riego frecuentes a ambos lados.



Foto 5.5.2 Sondeo realizado en la zona con mayor espesor de revestimiento del camino.



Foto 5.5.3 Granulometría del material extraído del camino.



Foto 5.5.4 Debido a la naturaleza del material se procede a separar el material retenido en la malla de 3/8" con el uso de un mazo.



Foto 5.5.5 Material retenido en la malla # 4, posteriormente separado por lavado.

El resultado de la granulometría del terreno natural arroja un porcentaje de material que pasa la malla # 4 del 89 %. El valor obtenido de límite líquido es 41.75 %, límite

plástico es 19.40% y el índice plástico es 22.35%. De acuerdo con la carta de plasticidad de clasificación de suelos de partículas finas el suelo analizado es una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL). Este material presenta una contracción volumétrica del 16.24 % y una contracción lineal del 12.2 %. Para mayor información ver los manuales de métodos de muestreo y prueba de materiales M-MMP-1-01, M-MMP-1-06-03, M-MMP-07-03 y M-MMP-09-06.



Foto 5.5.6 Procedimiento para conocer el límite líquido, en la copa de Casagrande.



Foto 5.5.6 Moldes rellenos de material tamizado por la malla # 40, después de ser sometidos al horno para conocer la contracción lineal y volumétrica.

El Valor Relativo de Soporte Estándar (CBR) obtenido en el laboratorio para el terreno natural es del 5%, presentando una expansión a los cuatro días de saturada la muestra del 5.2 %. El CBR obtenido por el material de revestimiento es del 70%, presentando una expansión a los cuatro días de saturada la muestra del 0.9 %.

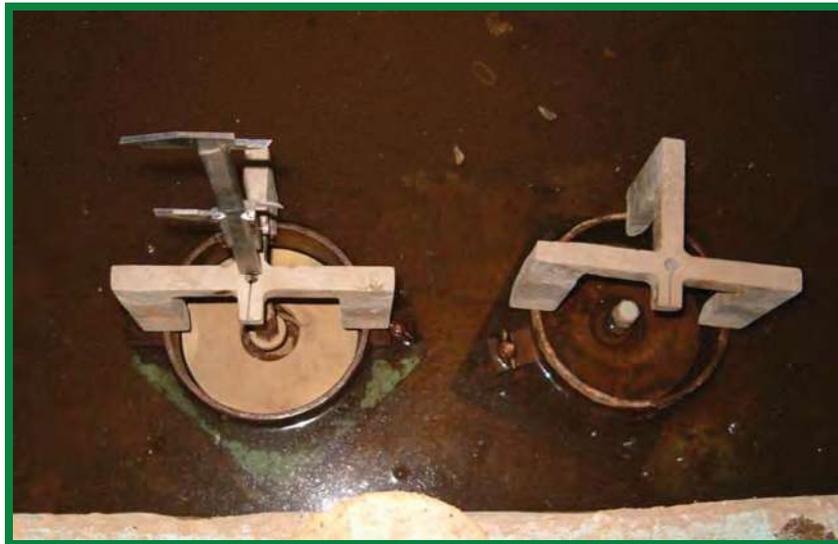


Foto 5.5.7 Muestras de suelo en proceso de saturación.



Foto 5.5.8 Muestra de suelo sometida a penetración.

5.6.- BANCOS DE MATERIALES

Con apoyo de Google Earth y el recorrido del camino se localizó en el km. 2+840 DI 100 m., una playa de río, en la que se puede extraer material para ser utilizado en la construcción del camino. Se determina el tratamiento de cribado y/o triturado para la colocación de este material en las capas del pavimento.

Se debe realizar un estudio de calidad de los materiales del banco, para de esta manera determinar si cumple con las especificaciones necesarias para cada capa del pavimento. En caso de no cumplir con las especificaciones de calidad se debe localizar otro banco de materiales.



Foto 5.6.1 Banco de material localizado en la playa de un río.

La calidad de las capas colocadas en un camino es de mayor a menor tomando como referencia inicial la superficie de rodamiento del camino. En caso de encontrar una misma calidad en el banco de material y ésta sea alta (calidad de base), no es necesario mezclar con materiales de menor calidad para cumplir con lo estipulado en los requerimientos de las capas inferiores.

5.7.- DISEÑO DE PAVIMENTO

Con la ayuda del programa Dispav-5, se procede a realizar el diseño de la estructura del pavimento. Este programa corre inicialmente con pantalla completa, lo que ocasiona dejar de ver todas las demás ventanas que estén en uso. Se puede modificar esta opción de pantalla dando clic con botón sobre la ventana minimizada en propiedades → opciones de pantalla → ventana → guardar propiedades para todas las ventanas.

El TDPA empleado en este ejercicio se justificó tomando en cuenta las 2066 hectáreas circundantes al camino, con una producción promedio de 20 t. por ha. Lo que arroja un total de 41,320 t. de producción en la zona. Esto equivale a un TDPA de 300 vehículos con un 15% de vehículos pesados, considerando que se necesitan 16.2 vehículos tipo A² y 6.3 vehículos tipo “C2” diariamente para sacar toda la producción.

Los pasos para el cálculo de la estructura del pavimento son los siguientes:

- Diseñar de acuerdo con los lineamientos fijados.
- Se selecciona la opción de conservar un nivel de servicio alto al final de la vida del proyecto.
- Introducir el tránsito de proyecto a partir del tránsito mezclado.
- TDPA en el carril de proyecto: 150 vehículos. Con el 15% de vehículos pesados.
- Tasa de crecimiento anual del tránsito: 5 %.
- Periodo de proyecto: 20 años.
- Se seleccionan camino tipo “C”.

- Automóviles tipo “A”: 85%.
- Automóviles tipo “B2”: 7.5%. En este caso se modificarán las condiciones de carga en los dos ejes y la presión de inflado de las llantas para simular un camión ligero tipo “A’2”, ya que el programa omite este tipo de vehículos.
- Se emplea un porcentaje de vehículos cargados del 100%, ya que en teoría todos los vehículos extraen la producción de la zona, hacia las ciudades.
- Se modifica el autobús tipo “B2”, de la siguiente manera: se coloca una carga de 2 t. en el eje 1 y 4 t. en el eje 2. La presión de inflado se modifica a 3.5 kg/cm² en todas las llantas.
- En el camión tipo “C2” no se hacen modificaciones.
- Se acepta la sugerencia para emplear el tránsito de proyecto determinado a 15 y 90 cm., para diseño por fatiga y deformación permanente, respectivamente.
- Se selecciona la opción de calcular el pavimento con todas la capas.
- Se propone un VRS de 100% para la base, 70% para la subbase, 30% para la subrasante y el 5% obtenido de las pruebas de laboratorio para el terreno natural.
- Se propone un módulo re rigidez de la carpeta de 30,000. Los módulos de las otras capas se calculan por la fórmula que da automáticamente el programa, se procede de la misma forma con las relaciones de poisson.
- Se acepta el nivel de confianza sugerido de 85%. No se hacen modificaciones de capas y se procede con el cálculo.

- El programa muestra el espesor de cada capa con la opción de ser modificadas a criterio del proyectista, solamente hay que tener cuidado de el diseño sea adecuado por deformación y fatiga.

El resultado del cálculo de la estructura del pavimento se muestra a continuación directamente de la pantalla del programa:

```

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO
Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño : 85 %

      Capa      H      VRSz      E      V      Vida previsible
              cm      %      kg/cm2      Def      Fatiga
Carpeta      5.0      100.0      30000      0.35      1.7
Base granular 20.0      70.0      2544      0.45      0.8
Sub-base     20.0      30.0      1406      0.45      9.6
Subrasante   40.0      5.0      401      0.45      1.8
Terracería   Semi-inf

      Vida previsible      Tránsito proyecto
Deformación      0.8      0.6
Fatiga           1.6      0.3

La vida previsible es mayor que el tránsito de proyecto.
Tolerancia = Tránsito de proyecto +/- 10%.

Tiene usted cuatro opciones:      1. cambiar módulo de carpeta
                                    2. cambiar espesores
                                    3. emplear base asfáltica.
                                    4. salir del programa

Introduzca el número que corresponde a su opción: _
    
```

Figura 5.7.1 Pantalla de resultados obtenida directamente del programa Dispav-5.

En resumen las capas analizadas con el programa dispav-5, arrojan los siguientes espesores:

CAPA	ESPESOR (cm)	VRS (%)
Carpeta	5	
Base granular	20	100
Sub – base	20	70
Subrasante	40	30
Terracería	Semi- infinita	5

Tabla 5.7.1 Espesores de capa y valores relativos de soporte.

Dentro del procedimiento constructivo se puede apreciar que existen diferentes equipos para compactación de suelos. Los compactadores por amasado son los

rodillos pata de cabra, estos compactadores concentran su peso la relativamente pequeña superficie de un conjunto de puntas, ejerciendo grandes presiones estáticas en las zonas donde estos puntos penetran en el suelo. Conforme se van dando pasadas y el material se va compactando, las patas profundizan cada vez menos en el suelo, y llega un momento en que ya no se produce ninguna compactación adicional. En una profundidad promedio de 6 cm., la superficie queda distorsionada, la cual se compacta con la siguiente capa que se coloque. Los rodillos más usuales tienen vástagos de 20 a 25 cm. de longitud y se usan para compactar capas de suelo de alrededor de 30 cm. de espesor.

Los compactadores de rodillos lisos tienen su campo de aplicación en los materiales que no requieren concentraciones elevadas de presión. El efecto de la compactación de los rodillos lisos se reduce considerablemente a medida que se profundiza en la capa que se compacta, y el efecto de la compactación se produce de arriba hacia abajo por lo tanto, no se recomienda compactar capas mayores de 20 cm.

La carpeta asfáltica es la última capa colocada sobre la estructura, lo cual denota sensación de calidad en el pavimento en general caso de estar bien colocada, o en caso contrario indicios de fallas en toda la estructura, por esta razón se requiere de especial atención.

Dentro de los aspectos claves para la pavimentación uniforme son la velocidad y la distribución de material en la plancha de la pavimentadora. Cuando la velocidad y el corte de la pavimentadora son constantes, el espesor del material que pasa por debajo de la plancha permanecerá constante. Cuando existe un incremento de velocidad el ángulo de ataque decrece junto con el espesor de la capa. Cuando baja la velocidad de la pavimentadora aumenta el ángulo de ataque junto con el espesor de la capa.

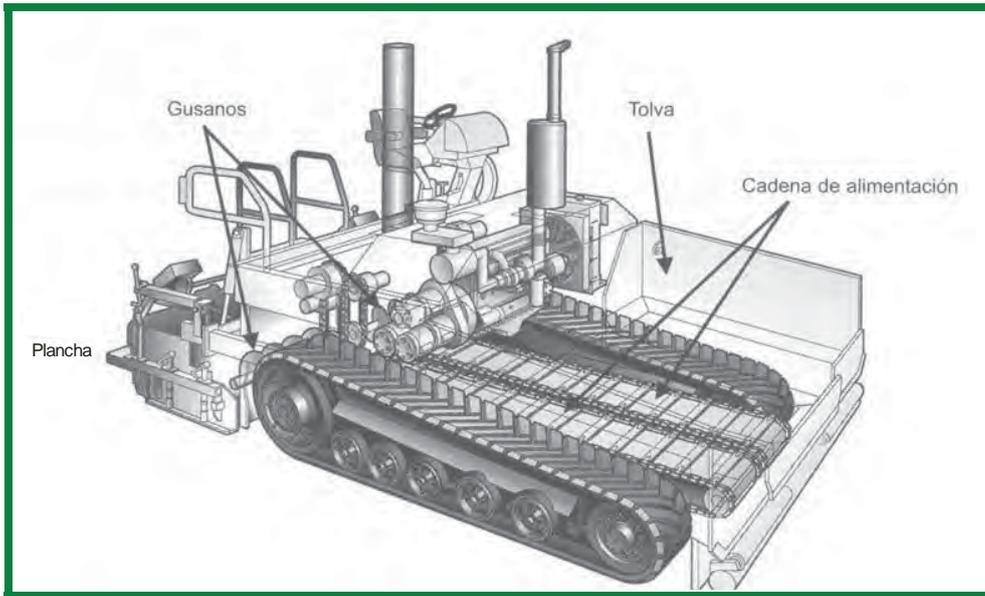


Figura 5.7.2 Componentes de una pavimentadora. (Calidad en la operación de máquinas pavimentadoras, 2005).

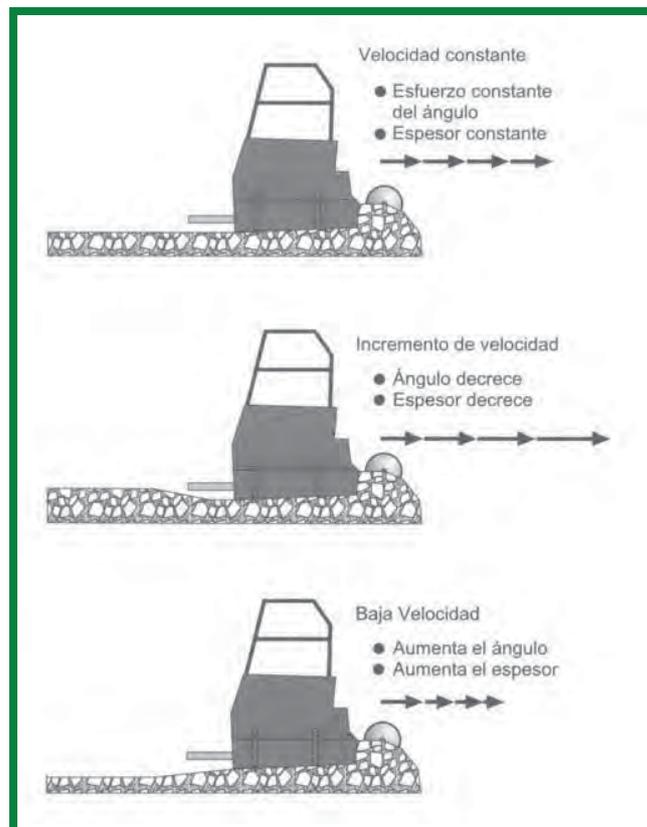


Figura 5.7.3 Como afecta la velocidad de la pavimentadora al espesor de la mezcla. (Calidad en la operación de máquinas pavimentadoras, 2005).

La distribución de material en la plancha de la pavimentadora es fundamental, cuando existe una correcta alimentación en la tolva de la pavimentadora, el nivel debe estar a la mitad del gusano, con una resistencia y espesor constante. Cuando se presenta una baja alimentación baja la resistencia y el espesor de la capa. Cuando existe una alimentación en demasía incrementa la resistencia y el espesor de capa.

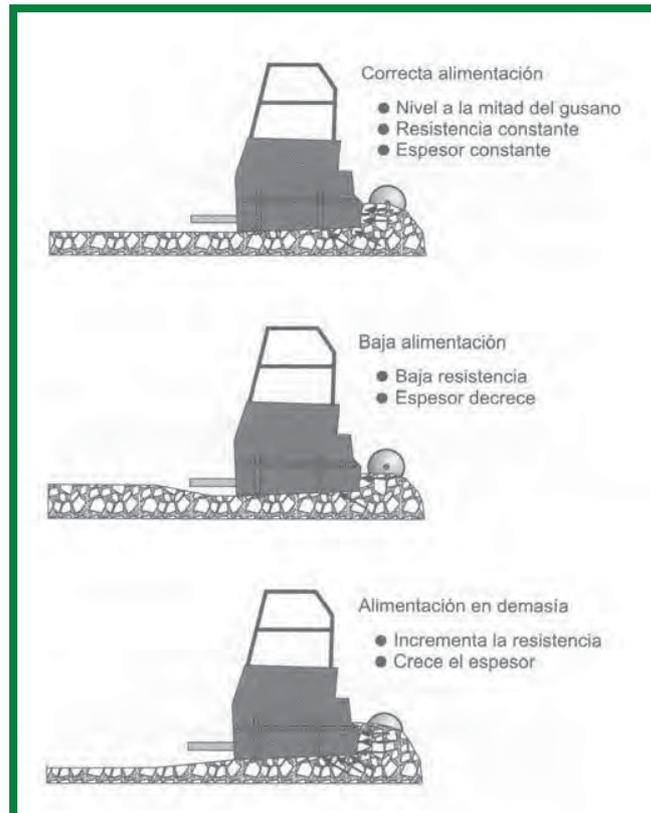


Figura 5.7.4 Efectos de la alimentación de material en el espesor del pavimento.
(Calidad en la operación de máquinas pavimentadoras, 2005).

El rodillo compactador resulta de gran importancia en la compactación de mezclas asfálticas. Existen cuatro tipos básicos de compactadores autopropulsados que se usan normalmente para alcanzar la densidad satisfactoria de los materiales bituminosos. Los cuales son: el compactador de rodillo estático, rodillo compactador de llantas de neumático, rodillos vibradores (vibro-compactadores) y una combinación de rodillos.

El compactador de rodillo estático fue el equipo estándar para la compactación del pavimento asfáltico. Estos rodillos pueden ser utilizados para la última pasada después de que la compactación vibratoria ha alcanzado la densidad deseada. Su efecto compactador suaviza y elimina las marcas de los rodillos anteriores. La última pasada debe hacerse mientras el tendido está lo suficientemente caliente para permitir un pequeño movimiento de las partículas y poder borrar irregularidades.

Los rodillos de neumáticos se utilizan para la compactación intermedia. Estos rodillos también son usados para dar la condición de terminación a la superficie asfáltica, debido al efecto que dejan las llantas de hule. Las últimas rodadas con un rodillo neumático no incrementan notablemente la densidad sobre el nivel alcanzado por la compactación con placa de acero o por vibración, pero sí incrementa la textura de la superficie.

Los rodillos vibratorios de doble tambor o vibro-compactadores pueden ser utilizados en todas las etapas de compactación de la mezcla: amasado, intermedio y final. En estos rodillos la fuerza centrífuga es creada por un peso o pesos rotando dentro de los tambores. Esto genera una serie de impactos que transmiten energía de compactación al tendido. A la distancia que el tambor se mueve arriba y abajo se le denomina amplitud. A mayor amplitud, mayor es la energía de compactación. Al número de impactos del tambor por minuto se le llama frecuencia. A mayor frecuencia, mayor es el esfuerzo de compactación.

Los rodillos combinados usan un tambor vibrador más tres o cuatro llantas neumáticas localizadas en la parte trasera de la máquina. Éstos tratan de juntar las técnicas compactadoras de rodillos vibradores y los rodillos de llanta neumática. El uso de rodillos combinados reduce el requerimiento de equipo en trabajos con métodos específicos donde ambos (vibrador y neumático) sean especificados o donde no exista control de altas especificaciones.

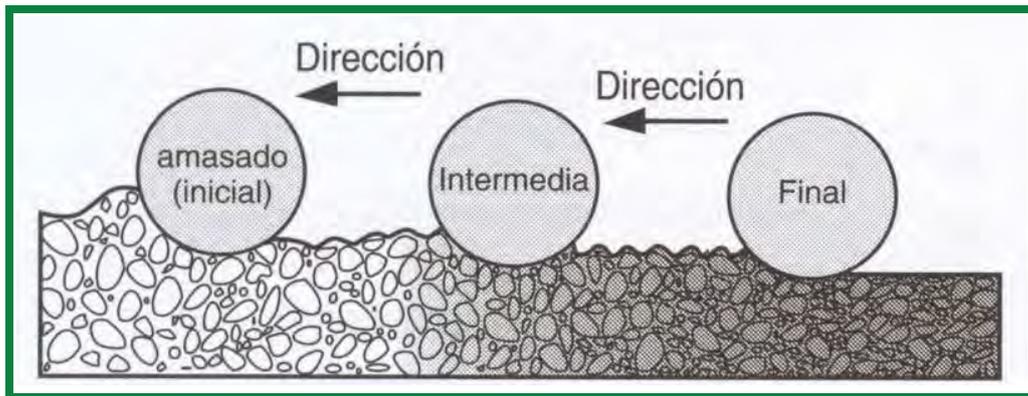


Figura 5.7.5 Fases de la compactación en concreto asfáltico. (Calidad en la operación del compactador de rodillo, 2005).

5.8.- ANÁLISIS DE COSTOS

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), tiene a disposición de sus afiliados y del público en general una serie de catálogos de costos y precios unitarios que sirven de referencia para cualquier análisis de costos.

Los costos que se presentan en los catálogos se refieren a condiciones medias de trabajo además, existen múltiples variables que se pueden presentar: clima, zona, terreno, productividad, tecnología, administración, procedimientos constructivos y materiales, entre otras, que pueden modificar los resultados, por lo que en situaciones particulares se deberán analizar las condiciones específicas que prevalezcan.

Una vez obtenidos los volúmenes de las capas analizadas con el programa Dispav-5 y el proyecto geométrico se procede a utilizar el programa Neodata 2008 para calcular el costo. La ubicación del banco de materiales resulta de gran importancia para calcular el costo de los acarrees.

En el km. 2+840 DI 100 m., se localiza el banco de materiales. El volumen necesario compactado para conformar la subrasante es de 16,580 m³, para la sub – base 8,290 m³, para la base 8,290 m³ y para la carpeta asfáltica 2,041 m³.

Se recomienda utilizar un compactador vibratorio de suelos CS-563, para compactar el terreno natural, la subrasante, la sub – base y la base hidráulica. Para compactar la carpeta asfáltica se recomienda un compactador vibratorio de asfalto CB-534, en caso de requerir mayor calidad en la textura de la superficie asfáltica se recomienda emplear el compactador de neumáticos PS-150.

Una vez tomados en cuenta todos los conceptos que interfieren en la construcción del camino se procede a seguir las prácticas recomendadas para análisis de costos en el capítulo cuatro. Se debe poner especial atención a los rendimientos que se ingresan al programa y a los acarrees de materiales en el primer kilómetro y subsecuentes.

A continuación se muestran algunos conceptos con su costo directo, considerando los materiales puestos en obra además de un 30% de reducción en las capas no estabilizadas y 40% en la carpeta asfáltica. Los costos mostrados pueden disminuir considerablemente en caso de que el banco de materiales no cobre por la extracción.

- Formación y compactación de sub-rasante con material de banco, al 100 % de su pvsm, incluye: acamellonado, extendido del material, incorporación de agua, homogenizado, compactado en capas de 20 cm de espesor, maquinaria, mano de obra, equipo, herramienta. Costo directo \$96.19 por m³.
- Formación y compactación de sub-base al 100 % de su pvsm, incluye: suministro de materiales, acamellonado, extendido del material, incorporación de agua, homogenizado, compactado en capas de 20 cm. de espesor, maquinaria, mano de obra, equipo y herramienta. Costo directo \$113.49 por m³.
- Formación y compactación de base al 100 % de su pvsm, incluye: suministro de materiales, acamellonado, extendido del material, incorporación de agua, homogenizado, compactado en capas de 20 cm. de espesor, maquinaria, mano de obra, equipo y herramienta. Costo directo \$126.49 por m³.
- Riego de impregnación a base de emulsión asfáltica para impregnación, a razón de 1.50 l/m², incluye: suministro de materiales, acarreo, maquinaria, mano de obra, equipo y herramienta. Costo directo \$5.70 por m².
- Riego de liga a base de emulsión asfáltica de rompimiento rápido, a razón de 0.70 l/m², incluye: barrido de la superficie, suministro de materiales, acarreo, maquinaria, mano de obra, equipo y herramienta. Costo directo \$3.61 por m².
- Carpeta de 5 cm de espesor de concreto asfáltico en caliente, Incluye: suministro y elaboración en planta de mezcla asfáltica, acarreo, tendidos, compactación, maquinaria, mano de obra, equipo y herramienta. Costo directo \$52.90 por m².

CAPA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO DIRECTO	TOTAL
Subrasante	M ³	16,580	\$96.19	\$1,594,830.20
Sub - base	M ³	8,290	\$113.49	\$940,832.10
Base	M ³	8,290	\$126.49	\$1,048,602.10
Riego de impregnación	M ²	41,448	\$5.70	\$236,253.60
Riego de liga	M ²	41,448	\$3.61	\$149,627.28
Carpeta asfáltica	M ²	41,448	\$52.90	\$2,192,599.20
Gran total				\$6,162,744.48

Tabla 5.8.1 Resumen aproximado de costos directos.

CONCLUSIONES

Los recursos económicos disponibles de cualquier obra de infraestructura son limitados, por lo cual se deben proporcionar mayores beneficios en razón de la cantidad de recursos invertidos. La buena planeación y administración de recursos dan como resultado un incremento en la cantidad de obra a ejecutarse, sin dejar atrás la calidad. Es necesario hacer uso de las nuevas tecnologías para facilitar la elaboración de proyectos que satisfagan las metas para las cuales son concebidos.

Como resultado de la información bibliográfica se obtuvieron diferentes fuentes de información que abordan una gran variedad de temas, los cuales ayudaron a la elaboración de este manual de prácticas recomendables en los aspectos fundamentales de un camino rural. Sin embargo, se puede apreciar que no existe un manual que integre de forma práctica las herramientas disponibles relacionadas con los proyectos para caminos rurales. La necesidad de un manual de este tipo se encuentra presente en una gran parte de los municipios de nuestro estado.

Para plasmar de mejor manera a los caminos rurales se aborda la clasificación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de acuerdo a su TDPA, a su tipo y a su jurisdicción, además de su definición e importancia de acuerdo Keller y Sherar, 2004. Por lo anterior podemos denotar que existen dos tipos de caminos rurales: los que tienen como capa de rodamiento una terracería revestida y los pavimentados. Tienen una geometría definida por la velocidad de proyecto y por la clasificación tipo "C o D" de acuerdo con la SCT.

Las herramientas disponibles para elaborar un proyecto de un camino rural son amplias, por lo tanto se procedió a seleccionar una serie de ellas para hacer un ejemplo de aplicación en el que se integró toda la información obtenida de forma práctica. El uso de estas herramientas permite analizar diferentes alternativas en poco tiempo dando la posibilidad de tomar la opción que mejor se adapte para satisfacer las condiciones a las que está expuesto el camino.

El ejemplo de aplicación contempla las prácticas recomendadas en la elaboración de proyectos para caminos rurales, mostrando de forma más específica cada una de las etapas del proyecto con la secuencia y herramientas utilizadas.

La temporada de lluvias resulta el peor enemigo de la mayoría de los caminos por esta razón las recomendaciones dadas en la parte de drenaje van acompañadas de una serie de imágenes y amplia información, dejando claro que es fundamental tomar en cuenta todos los aspectos relacionados con la hidrología de los caminos.

La elaboración del proyecto geométrico de un camino con la metodología tradicional necesita de muchas horas de trabajo ya que es necesario tener una serie de formularios para calcular volúmenes de movimientos de tierras, además, de calcular los diferentes tipos de curvas que componen el camino. El GPS, el programa Google Earth, las cartas topográficas y las fotos aéreas manipuladas con la ayuda de AutoCAD y CivilCAD son herramientas e información de gran importancia que sirve para conocer e interpretar la zona en estudio con mayor grado de detalle, colaborando en la reducción de los tiempos de trabajo.

Es necesario contar con información referente al tipo de suelo donde se pretende construir, para esto resultan indispensables los resultados de las pruebas realizadas a las muestras de suelo extraídas del camino, ya que estos datos son requeridos para elaborar el diseño del pavimento en el programa Dispav- 5, con el cual se determinó el espesor de cada capa para posteriormente analizar el costo aproximado.

No es difícil apreciar que existe una gran cantidad de herramientas e información disponibles de mucha utilidad que pueden ser enfocadas a diferentes áreas facilitando la toma de decisiones. El analizar toda la zona en estudio con fotografías aéreas, cartas topográficas, el programa Google Earth y datos estadísticos brindan la posibilidad de crear una base de datos para cada municipio o alguna otra entidad ayudando a definir las mejores áreas para hacer inversiones en infraestructura.

Resulta muy importante y de gran utilidad contar con un departamento de planeación en los H. Ayuntamientos Municipales, encargado de analizar las peticiones de los ciudadanos con un carácter técnico para que de este modo solo las propuestas más viables tomando en cuenta los beneficios sociales y económicos se lleven a cabo. De la misma forma evaluar cualquier propuesta proveniente de los funcionarios públicos que esté relacionada con obras de infraestructura.

Como conclusión final podemos decir que el fundamento de este manual radica en ayudar a todos los interesados a proyectar mejores caminos rurales, considerando las prácticas recomendables en cada una de las etapas del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio F. (2003), "Fundamentos de hidrología de Superficie" Editorial Limusa, México D. F.

Arroyo J., Torres G.(2003), "Metodología de evaluación social de proyectos de caminos rurales en México", Publicación técnica No. 234, Sanfandila Querétaro.

Corro S. y Prado G. (1999), "Diseño estructural de pavimentos asfálticos, incluyendo carreteras de altas especificaciones" Dispav-5 versión 2.0, series del Instituto de Ingeniería de la UNAM CI-8, México D. F.

Crespo C. (2004), "Vías de comunicación", Editorial Limusa, México D. F.

Garber N. y Hoel L. (2005), "Ingeniería de tránsito y carreteras", Editorial Thomson, México D. F.

Gieck K. y Gieck R. (2003), "Manual de formulas técnicas", Editorial Alfaomega, México D. F.

González L., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C. (2004), "Ingeniería Geológica" Editorial Prentice Hall, Madrid (España).

Keller G. & Sherar J. (2004), "Ingeniería de caminos rurales", Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales, Instituto Mexicano del Transporte, México D. F.

Keller G., Bauer G., Aldana M. (1995), "Caminos rurales con impactos mínimos", U.S.D.A., Forest Service, International Programs, USAID, and Programa de Caminos Rurales, Guatemala (Guatemala).

Kraemer C., Pardillo J., Rocci S., Romana M., Sánchez V., Del Val M. (2003), "Ingeniería de carreteras", Editorial McGraw Hill, Madrid (España).

Micro Regiones (2004), "Programa de caminos rurales y alimentadores obras a contrato" Unidad General de Micro Regiones, México D. F.

National Asphalt Pavement Association (2005), "Calidad en la operación del compactador de rodillo", serie informativa 121, Lanham, MD (USA).

National Asphalt Pavement Association (2005), "Calidad en la operación de máquinas pavimentadoras", serie informativa 125, Lanham, MD (USA).

Neodata (2008), "Manual de precios unitarios" México D. F.

Olivera F. (2004), "Estructuración de vías terrestres", segunda edición, Editorial CECSA, México D. F.

Reyes A. (1988), "Administración de Empresas" Teoría y Práctica, Editorial Limusa, México D. F.

Rico A. y Del Castillo H. (2005), "La ingeniería de suelos", Editorial Limusa, México D. F.

Schall J.D., Richardson E.V. (1997), "Introduction to highway hydraulics. Hydraulic Design" Series No. 4. Pub. No. FHWA-HI-97-028., Department of Transportation, Federal Highway Administration., Washington, DC (USA).

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1977), "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", México D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2004), "Reglamento de Tránsito en Carreteras Federales" Editorial PAC, México D. F.

Torres G., Hernández S., Pérez J., Lelis M. (2002), "Modernización de caminos rurales: la evaluación económica como herramienta en la toma de decisiones", Publicación técnica No. 216, Sanfandila Querétaro.

Torres G., Islas V., Lelis M. (2000), "Criterios que intervienen en la metodología de evaluación económica de rehabilitación de caminos rurales", Publicación técnica No. 147, Sanfandila Querétaro.

Referencias en Internet

<http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=546> (fecha de consulta Diciembre 2007).

http://earth.google.es/product_comparison.html (fecha de consulta Febrero 2008).

<http://es.wikipedia.org/wiki/AutoCAD> (fecha de consulta Febrero 2008).

http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global (fecha de consulta Febrero 2008).

<http://www.imt.mx> (fecha de consulta Febrero 2008).

<http://www.siap.gob.mx/> (fecha de consulta Febrero 2008).

<http://www.arqcom.com.mx> (fecha de consulta Marzo 2008).

<http://www.fhwa.dot.gov/bridge> (fecha de consulta Marzo 2008).

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp?s=est&c=10395> (fecha de consulta Marzo 2008).

<http://www.precisiantopografica.com/frameset.htm> (fecha de consulta Marzo 2008).

<http://www.neodata.com.mx> (fecha de consulta Abril 2008).

<http://www.sre.gob.mx/cila/> (fecha de consulta Abril 2008).