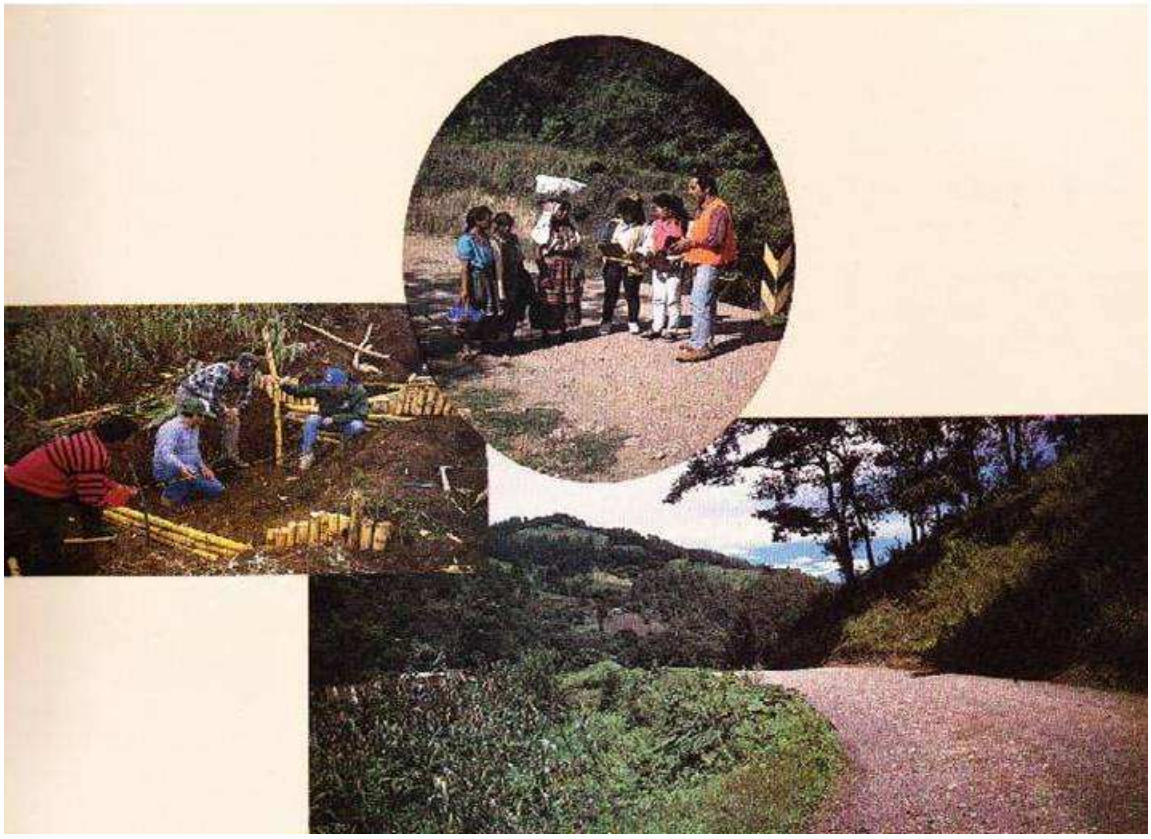
CAMINOS RURALES CON IMPACTOS MÍNIMOS

Un Manual de Capacitación con Énfasis Sobre Planificación Ambiental, Drenajes, Estabilización de Taludes y Control de Erosión



CAMINOS RURALES
CON IMPACTOS MÍNIMOS

Un Manual de Capacitación con Énfasis Sobre Planificación Ambiental, Drenajes, Estabilización de Taludes y Control de Erosión

Escrito por:

Ing. Gordon Keller, P.E.
Ing. Geotécnico, Servicio Forestal de los Estados Unidos

Ing. Gerald P. Bauer
Asesor Técnico del Medio Ambiente, AID

Ing. Mario Aldana
Delegado Regional, Programa de Caminos Rurales, DGC

Dibujos por:

Arq. José Ricardo Vásques
Dibujante Técnico, Programa de Caminos Rurales

Prof. Carlos Daniel López Marizuya
Dibujante Técnico, Programa de Caminos Rurales

Arq. Flor de María Argueta
Consultor de Arquitectura

Ciudad de Guatemala, Guatemala
América Central

MA-GEN-003

SEPTIEMBRE 1995

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

CAMINOS RURALES
CON IMPACTOS MÍNIMOS

Un Manual de Capacitación con Énfasis Sobre Planificación Ambiental, Drenajes, Estabilización de Pendientes y Control de Erosión

CONTENIDO

Página

Agradecimiento ..... *xix*

Sobre los Autores ..... *xx*

Prefacio Español ..... *xxi*

Prefacio Inglés ..... *xxix*

1. Introducción

1.1. La Descripción de Caminos Rurales 1-1
(Overview of Rural Roads) 1-7

1.2. Cómo Reducir al Mínimo los Impactos de los Caminos Rurales 1-5
(Minimizing Rural Road Impacts) 1-11

2. El Proceso de Análisis de Impacto Ambiental (o Evaluación Ambiental)

2.1. Introducción 2-1

2.2. El Equipo Interdisciplinario 2-9

2.3. El Proceso de la Evaluación Ambiental 2-11

2.4. El Reporte de la Evaluación Ambiental 2-17

2.5. Leyes y Reglamentos Ambientales 2-25

Página

3. Consideraciones de Diseño y Mantenimiento Básico de Caminos Rurales

3.1. Introducción 3-1

3.2. Planeación y Localización 3-3

3.3. Levantamiento y Diseño 3-9

3.4. Construcción 3-21

3.5. Mantenimiento 3-23

3.6. Cierre y Eliminación de Caminos 3-25

4. Hidrología Aplicada en Drenajes Menores

4.1. Introducción a la Hidrología 4-1

4.2. El Ciclo Hidrológico 4-3

4.3. Método Racional: Fórmula para Calcular Escorrentía Superficial de una Cuenca Hidrográfica 4-11

4.4. Método de Talbot: Fórmula para Estimar el Área de Descarga a Aplicarse en una Estructura de Drenaje 4-29

5. Información General Sobre Diseño Hidráulico, Zampeado, Filtros y Geotextiles

5.1. Fórmula de Manning para Calcular Velocidad de Descarga de Alcantarillas, Drenajes Naturales y Tuberías 5-1

5.2. Diseño con Roca para Protección de Socavación y la Erosión (Revestimiento de, Zampeado) 5-23

5.3. Conceptos Sobre Filtros de Agregados y Geotextiles 5-33

5.4. Uso y Función de Geotextiles 5-45

Página

6. Puentes e Hidrológicos de Drenajes Mayores

6.1. Introducción 6-1

6.2. Selección del Sitio 6-5

6.3. Estudios Hidrológicos de Drenajes Mayores 6-15

6.4. Diseño Hidráulico 6-17

6.5. Otros Aspectos de Diseño 6-19

7. Travesías de Agua de Bajo Nivel (Badenes)

7.1. Introducción 7-1

7.2. Selección 7-5

7.3. Tipos de Estructuras 7-9

7.4. Hidrológicos y Diseño Hidráulico 7-19

7.5. Construcción 7-21

8. Uso de Nomogramas para Determinar Capacidad de Alcantarillas y Canales

8.1. Introducción 8-1

8.2. Escurrimiento en Alcantarillas con Control de Entrada 8-5

8.3. Escurrimiento en Alcantarillas con Control de Salida 8-13

8.4. Escurrimiento en Canales 8-17

9. Consideraciones Generales de Drenaje para Caminos Rurales

9.1. Un Resumen de Sistemas de Drenajes para Caminos 9-1

Página

9.2. Instalación y Uso de Alcantarillas 9-9

9.3. El control de la Entrada y Salida de Agua 9-29

9.4. El control de Erosión en la Superficie del Camino 9-39

9.5. Cruces en Áreas Inundadas y Cenagosas 9-59

9.6. Subdrenaje 9-65

10. Estabilización de Cortes, Rellenos y Derrumbes

10.1. Cortes de Taludes 10-1

10.2. Taludes de Rellenos 10-17

10.3. Métodos de Estabilización de Taludes 10-29

10.4. Tipos y Usos de Muros de Contención 10-49

11. Control de Erosión: Métodos Físicos, Vegetativos y Biotécnicos

11.1. Introducción a la Erosión 11-1

11.2. Métodos Físicos para el Control de Erosión 11-13

11.3. Métodos Vegetativos para el Control de Erosión ... 11-31

11.4. Medidas Biotecnológicas para la Estabilización de Taludes 11-47

11.5. Aplicaciones Especiales 11-71

12. Control de Cárcavas

12.1. Introducción 12-1

12.2. Diseño de Diques y Estructuras para el Control de Cárcavas 12-7

Página

12.3. Tipos de Diques y Estructuras 12-15

12.4. Construcción de Estructuras 12-27

13. Uso de Materiales

13.1. Introducción a los Materiales 13-1

13.2. Propiedades de Agregado 13-5

13.3. Estabilización de Suelos 13-11

13.4. Canteras, Bancos de Préstamos y Relaciones de Volumen en Materiales 13-19

13.5. Compactación 13-29

13.6. Pruebas, Propiedades y Clasificación de Suelos 13-41

Glosario G-1

Bibliografía B-1

LISTA DE SUPLEMENTOS

1-1 Diseño de Drenajes y Conservación de Suelos - Vista General 1-13

3-1 Los Diez Mandamientos del Diseño de Un Camino 3-27

3-2 Reconformación de Caminos con Grava 3-30

13-1 Clasificación de Suelos en el Campo 13-57

Página

LISTA DE APÉNDICE

1. Ejemplo de Curso Corto sobre Consideraciones Ambientales en el Diseño, Mejora y Mantenimiento de Caminos Rurales A1-1

2. Reglamentos Ambientales de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional A2-1

3. Aspectos Hidrológicos Básicos A3-1

4. Muro de Contención de Malla de Alambre Soldado: Guía para la Construcción A4-1

5. Usos de Geotextiles para Estabilizar y Construir Carreteras sobre Subrasante de Suelos Blandos A5-1

6. Normas para el Control de Sedimentación en los Caminos Madereros Secundarios A6-1

LISTA DE TABLAS

2.1.1. Beneficios principales de un programa de evaluación ambiental 2-8

2.3.1. Un proceso de evaluación ambiental de siete pasos y los resultados asociados 2-15

2.4.1. Ejemplo de los contenidos de un reporte de evaluación ambiental 2-19

2.4.2. Ejemplo de los contenidos de un reporte de evaluación ambiental hecho por El Programa de Caminos Rurales, Guatemala 2-20

2.4.3. Plan de mejoramiento de un camino rural 2-21

2.5.1. Lista de algunas leyes y reglamientos importantes que aplican a proyectos que reciben financimiento de AID 2-31

		Página
3.3.1.	Comparación de normas típicas para caminos rurales y terciarios	3-20
4.3.1.	Método Racional: valores de coeficiente de escorrentía "C"	4-20
5.1.1.	Fórmula de Manning: Coeficiente de Rugosidad "n" para ríos y otros canales naturales	5-9
5.1.2.	Fórmula de Manning: Coeficiente de Rugosidad "n" para canales y tuberías	510
5.2.1.	Clasificación y graduacion del zampeado por el peso y tamaño de la piedra	5-31
5.3.1.	Criterio mínimo para uso de geotextil	5-42
5.3.2.	Graduaciones de material de filtrante típico con agregados bien graduado	5-43
5.3.3.	Graduaciones de agregados de filtrantes uniformes y gruesos usados con geotextil	5-43
5.4.1.	La función y exigencias impuestas por los geotextiles	5-51
6.2.1.	Algunos tipos de cruces y sus problemas	6-12
6.2.2.	Datos básicos	6-13
6.5.1.	Guía para revisar propuestas para la construcción de puentes	6-25
6.5.2.	Relaciones cualitativas de los cambios en la configuración de un río y sus efectos	6-26
7.1.1.	Factores a considerar en la ubicación, diseño, y construcción de travesías	7-3
9.4.1.	Valores máximos de velocidades no erosionables en cunetas	9-57

		Página
9.4.2.	Espaciamiento requerido de los desagües transversales para evitar erosión en canales o producir cárcavas mayores de 2.5 centímetros en caminos secundarios	9-58
10.1.1.	Pendientes típicas de cortes en roca madre	10-13
10.1.2.	Pendientes típicas de cortes en suelos (cortes hasta 10-15 m de altura)	10-14
10.1.3.	Cortes en granito descompuesto	10-15
10.2.1.	Pendientes típicas de rellenos y terraplenes	10-27
10.2.2.	Ángulo de Fricción de los suelos para diseño preliminar	10-28
10.4.1.	Tabla para diseño basada en el "Método Simplificado CTI" para muros reforzados con geosintéticos	10-66
10.4.2.	Propiedades y fuerza de suelo y roca	10-68
10.4.3.	Capacidad permisible de soporte (presión de apoyo) para diferentes tipos y consistencias de suelos y roca (típicamente usados para cimientos de empedrados)	10-69
11.1.1.	Efectos de la lluvia en la erosión de terrenos y principales parámetros que afectan el fenómeno de erosión por lluvia	11-12
11.2.1.	Sumario de medidas físicas para el control de erosión	11-25
11.2.2.	Listado de cubiertas protegidas y las cubiertas de retención de humedad	11-29
11.3.1.	Sumario de medidas vegetativas y biotécnicas para el control de la erosión	11-40
11.3.2.	Lista de especies de árboles, arbustos y gramíneas que se pueden usar para control de erosión	11-41

		Página
11.3.3.	Ejemplo de un plan de control de erosión y de revegetación de proyectos de caminos rurales	11-44
13.2.1.	Requisitos y granulometría de materiales de caminos rurales	13-10
13.5.1.	Propiedades típicas de materiales compactados	13-38
13.6.1.	Sistema Unificada de Clasificación de Suelo (Unified Soil Classification [USC])	13-53
13.6.2.	Características y valores del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para construcciónes con suelos	13-54

LISTA DE FIGURAS

2.1.1.	Procedimiento para evaluación y planificación de los proyectos de caminos rurales	2-7
3.2.1.	Sistema de clasificación de caminos	3-7
3.3.1.	Términos utilizados para definir un camino rural	3-17
3.3.2.	Secciones transversales típicas de caminos rurales	3-18
3.3.3.	Dimensiones de la sección típica del camino principal (terciario) y del camino rural	3-19
4.2.1.	El ciclo hidrológico	4-7
4.2.2.	La influencia de la vegetación en el agua - disposición de la lluvia	4-8
4.2.3.	La influencia de la vegetación en el agua - abastecimiento de los ríos	4-9
4.3.1.	Tiempo de concentración (Tc) de cuencas pequeñas	4-17

		Página
4.3.2.	Curva de intensidad de lluvia representando un clima semi-tropical de Quetzaltenango, Guatemala	4-18
4.3.3.	Curva de intensidad de lluvia representando un clima árido de Auquile, Bolivia	4-19
4.3.4.	Esquema de una cuenca hidrográfica	4-21
4.3.5.	Esquema de una camino rural	4-25
4.4.1.	Nomograma para resolver la Fórmula de Talbot (Sistema Métrico)	4-33
4.4.2.	Nomograma para resolver la Fórmula de Talbot (Sistema Americano)	4-34
4.4.3.	Mapa topográfico Mizque, Bolivia - Estación de Control "Pojo"	4-38
4.4.4.	Mapa topográfico Mizque, Bolivia - Estación de Control "Pojo" con la cuenca hidrográfica identificada	4-39
5.1.1.	Nomograma para resolver la Fórmula de Manning en el Sistema Métrico	5-7
5.1.2.	Nomograma para resolver la Fórmula de Manning en el Sistema Americano	5-8
5.2.1.	Tamaño de roca para resistir desplazamientos para varias velocidades de agua y pendientes de taludes	5-27
5.2.2.	Clasificación del zampeado	5-28
5.2.3.	Gráfica de conversión: tamaño de piedra-peso	5-29
5.2.4.	Uso del zampeado para proteger las orillas de los cauces	5-30
5.3.1.	Requisitos granulométricos para filtros	5-39

		Página
5.3.2.	Concepto del uso de filtros con agregados y geotextiles	5-40
5.3.3.	Graduaciones y permeabilidades típicas de varios agregados uniformes y varios materiales de filtros	5-41
5.4.1.	Funciones principales del geotextil dependiendo de la aplicación	5-49
5.4.2.	Aplicaciones típicas de los geotextiles	5-50
6.1.1.	Esquema de los procesos de diseño para puentes	6-3
6.2.1.	Ejemplos de situaciones comunes que necesitan puentes	6-9
6.2.2.	Ejemplo de la relación entre la dinámica de los ríos y la ubicación de puentes	6-10
6.2.3.	Evaluación del sitio de un puente	6-11
6.5.1.	Problemas potenciales de erosión y socavación	6-23
6.5.2.	Términos técnicos de socavación de un puente	6-24
7.2.1.	Travesías de agua de bajo nivel en varias formas de drenajes (badenes, cajas, puentes, vados, y otros)	7-7
7.3.1.	Badén simple: reforzado en cauce natural	7-11
7.3.2.	Badenes simples mejorados	7-12
7.3.3.	Tipos de badenes mejorados (sin tuberías) en cauces erosionables y firmes	7-13
7.3.4.	Sección típica de badén de concreto	7-14
7.3.5.	Sección típica de un badén mejorado de concreto con tubería	7-16
7.3.6.	Puente de agua de bajo nivel	7-17

		Página
8.1.1.	Escurrimiento con control de entrada y salida	8-3
8.2.1.	Altura a la entrada para alcantarillas de cajón de concreto con control de entrada	8-9
8.2.2.	Altura a la entrada para alcantarillas de tubos de concreto con control de entrada	8-10
8.2.3.	Altura a la entrada para alcantarillas de tubos circulares de metal corrugado, con control de entrada (Sistema Métrico)	8-11
8.2.4.	Altura a la entrada para alcantarillas de tubos circulares de metal corrugado, con control de entrada (Sistema Americano)	8-12
8.3.1.	Altura de carga (H) para alcantarillas de tubos circulares estándares, de metal corrugado, con escurrimiento lleno, n = 0.024, con control de salida	8-15
8.4.1.	Flujo de un canal trapezoidal con 61 centímetros de fondo y lados de 2:1	8-19
8.4.2.	Capacidad de flujo para canales cubiertos con gramíneas, con pendientes de 2:1 y ancho de 4 pies (Sistema Americano)	8-20
9.1.1.	Sumario de tipos de estructuras y medidas de control de erosión de drenaje superficial	9-7
9.2.1.	Tipos comunes de alcantarilla y materiales	9-13
9.2.2.	Localización y alineamiento de la alcantarilla	9-14
9.2.3.	Instalación de tubería	9-16
9.2.4.	Cuatro tipos de entradas estándares	9-18
9.2.5.	Detalles de instalación de tubería	9-19
9.2.6.	Alcantarilla con muros sencillos y gabacha	9-21
9.2.7.	Entrada y protección de arcos de bóveda	9-22

		Página
9.2.8.	Diseño de rejilla contra basura para entradas de tuberías pequeñas y medianas	9-23
9.2.9.	Instalación de tubería en un relleno	9-25
9.3.1.	Tipos de estructuras de entrada en pozo	9-33
9.3.2.	Tipos de de revestimiento para desagües o cunetas	9-35
9.3.3.	Tipos de desagües revestidos para terrenos inclinados	9-36
9.3.4.	Drenaje de tubería flexible	9-37
9.4.1.	Velocidades de escorrentía (para el método tierras altas) para estimar el tiempo de viaje de flujo y movimiento potencial de suelos	9-43
9.4.2.	Control de erosión de la superficie del camino - capas de rodamiento comunes para caminos	9-44
9.4.3.	Ejemplos de drenajes de superficie del camino	9-45
9.4.4.	Diseños de desagües transversales típicos	9-47
9.4.5.	Factores que ocasionan erosión en la superficie del camino	9-50
9.4.6.	Desnivel del peralte hacia afuera de un camino	9-51
9.4.7.	Tipos de cunetas con peralte hacia adentro	9-52
9.4.8.	Bordillos y salidas de desagüe para proteger los rellenos	9-53
9.4.9.	Desviaciones de agua en pendientes onduladas	9-54
9.4.10.	Desviaciones de agua - desagües transversales construidos (badenes)	9-54
9.4.11.	Vista de un "gancho" con patrones de drenaje	9-55
9.4.12.	Barreras típicas (de tierra y tocones)	9-56

		Página
9.5.1.	Ejemplo típico para manejo de agua para caminos en praderas y áreas húmedas	9-61
9.5.2.	Camino cruzando un área húmeda - método incorrecto	9-62
9.5.3.	Camino cruzando un área húmeda - método correcto	9-63
9.5.4.	Modificación a la entrada del desagüe transversal para recrear el área húmeda	9-64
9.6.1.	Instalación típica de subdrenaje	9-69
9.6.2.	Zona granulométrica del drenante único utilizado en carreteras	9-70
9.6.3.	Tipos de subdrenes	9-71
9.6.4.	Ejemplo de diseño de subdrén	9-73
9.6.5.	Ejemplo de diseño de capa de filtro (colchón filtrador)	9-74
10.1.1.	Tipos frecuentes de movimientos en fallas de taludes	10-7
10.1.2.	Soluciones para cortes en roca dura y fracturada	10-8
10.1.3.	Cortes típicos en taludes de suelo	10-9
10.1.4.	Problemas y soluciones en cortes verticales	10-10
10.1.5.	Aplicaciones especiales en cortes	10-11
10.1.6.	Acciones que pueden hacer un corte inestable (en lecho de roca estratificada)	10-12
10.2.1.	Construcción de rellenos	10-21
10.2.2.	Impacto de falla de un relleno	10-22
10.2.3.	Rellenos sobre pendientes muy inclinadas	10-23

		Página
10.2.4.	Gráfica para estimar ángulos de fricción de suelos	10-24
10.2.5.	Cuadro comparativo de pendientes, grados y por ciento	10-25
10.2.6.	Distancia longitudinal para taludes de rellenos, usando rellenos de 1.5:1 (en pies)	10-26
10.3.1.	Aplastamiento y regraduación en taludes de cortes y rellenos	10-35
10.3.2.	Ajustando la plataforma de un camino para mejorar su estabilidad	10-36
10.3.3.	Aplanando el talud de corte y otras reparaciones para estibilizar un derrumbe	10-37
10.3.4.	Opciones de subdrenaje para estabilizar los rellenos	10-38
10.3.5.	Uso y instalación de subdrenes horizontales para estabilización de cortes, laderas y derrumbes	10-39
10.3.6.	Estabilización de cortes con estructuras	10-41
10.3.7.	Estabilización de dezlisamientos y fallas de rellenos con estructuras	10-42
10.3.8.	Uso de los gaviones en estabilización de taludes	10-43
10.3.9.	El uso de vegetación para estabilización de taludes	10-44
10.3.10.	Métodos de estabilización de taludes con vegetación	10-45
10.3.11.	Ejemplo de un método para estimar estabilidad de cortes usando data del campo	10-47
10.4.1.	Tipos comunes de estructuras de retención	10-55

		Página
10.4.2.	Tipos de muros de suelo reforzado mecánicamente con diferentes tipos de fachadas	10-56
10.4.3.	Construcción típica de un muro de piedra	10-57
10.4.4.	Muros de gaviones con diferentes arreglos de canastas	10-58
10.4.5.	Tablas de diseño estándar para muros de gaviones hasta un altura de 20 pies con rellenos planos o pendientes moderadas 1 1/2:1)	10-59
10.4.6.	Diseño simple de muros de retención de gravedad	10-61
10.4.7.	Ejemplo de uso de Tabla 10.4.1. para el diseño de muros de suelo reforzado con geotextil	10-63
10.4.8.	Sección transversal de construcción de un muro de suelo reforzado con geotextil	10-64
10.4.9.	Secuencia de la construcción de un muro de suelo reforzado con geotextil	10-65
11.1.1.	Tipos de erosión	11-9
11.1.2.	Ejemplo de una cortina rompeviento para protección de la erosión en la ladera de un camino rural y un área de cultivos	11-10
11.1.3.	Efectos del clima y la protección de erosión con residuos vegetales, ejemplo de un área al lado de un camino rural y bajo cultivación	11-11
11.2.1.	Diseño de cortacorrientes	11-19
11.2.2.	Bordos y barreras en contorno	11-20
11.2.3.	Dique de contención de trozas de madera	11-21
11.2.4.	Dique de contención o "cerca" de paca de paja	11-22
11.2.5.	Dique de contención de piedra	11-23

		Página
11.2.6.	Zanjas de infiltración	11-24
11.3.1.	Ejemplo de la diferencia en el desarrollo de las raíces de varias especies de plantas creciendo en los mismos tipos de suelo	11-37
11.3.2.	Los pasos para sembrar árboles en una pendiente para control de erosión	11-38
11.3.3.	Uso típica de vegetación típica para disipar escorrentía superficial y reducir el impacto de las gotas de lluvia	11-39
11.4.1.	Técnica de estacas vivas	11-53
11.4.2.	Técnica de bultos de ramas	11-55
11.4.3.	Técnica de capas de ramas	11-57
11.4.4.	Técnica de recortes de ramas	11-59
11.4.5.	Técnica de reparación de cárcava con vegetación	11-61
11.4.6.	Técnica de muro cribado vivo	11-63
11.4.7.	Técnica de gaviones con vegetación	11-65
11.4.8.	Técnica de muro de roca con vegetación	11-67
11.4.9.	Técnica de vegetación sembrada entre piedras	11-69
11.5.1.	Recuperación de caminos cerrados o abandonados	11-75
11.5.2.	Ejemplos de desviadores de agua pernamente para caminos recuperados	11-76
11.5.3.	Recuperación y relleno de un corte de camino	11-77
12.1.1.	Formación y forma de cárcavas	12-5
12.2.1.	Construcción de diques de contención	12-11
12.2.2.	Espaciamiento de diques de contención	12-12

		Página
12.2.3.	Detalle de diques de contención de piedras	12-13
12.3.1.	Características de los diques de contención hechos con piedras o mampostería	12-19
12.3.2.	Barrera de piedra en zona de mina	12-20
12.3.3.	Barrera de mampostería	12-21
12.3.4.	Barrera de matorral (tipo de una hilera de postes)	12-22
12.3.5.	Barrera de malla de alambre	12-23
12.3.6.	Protección de matorral para cabecera de cárcava	12-24
12.3.7.	Barrera de piedra para cabecera de cárcava	12-25
12.3.8.	Detalles de construción de estructuras para estabilizar cabeceras de cárcavas	12-26
13.2.1.	Requisitos y granulometría de materiales de caminos rurales	13-9
13.3.1.	Caminos de empedrado y adoquín	13-17
13.4.1.	Ejemplo - Plan operativo de banco de préstamo o cantera	13-25
13.4.2.	Relaciones de disminución o hinchamiento de suelo	13-26
13.4.3.	Relaciones de volumen y densidad de roca/ agregado (valores típicos)	13-28
13.5.1.	Proceso de compactación de suelos y sus resultados	13-35
13.5.2.	Propiedades de los suelos compactados	13-36
13.6.1.	Curvas de graduaciones para varios suelos	13-51
13.6.2.	Clases de textura de suelos básicos del U.S. Soil Conservation Service	13-52

La producción de este manual fue posible a raíz del apoyo económico brindado por la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos, Misión Guatemala; el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura, Oficina Internacional, Programa de Bosques Tropicales del Gobierno de los Estados Unidos de América; y el Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Pública, Dirección General de Caminos, Programa de Caminos Rurales, Componente de Conservación del Medio Ambiente, Guatemala

RECONOCIMIENTOS

Los autores estan muy agradecidos a un sin número de personas, y a sus respectivas instituciones, sin su apoyo la publicación de este manual no hubiera sido posible. Aunque sería casi imposible mencionar cada quien que participó en la elaboración de esta obra de una manera u otra, quisiéramos expresar nuestra profunda gratitud.

Sin embargo quisiéramos agradecerles a Scott Lampman en particular, del USDA Servicio Forestal, Oficina Internacional por su genio en el manejo presupuestario y apoyo invaluable brindado a nosotros durante los últimos tres años del desarrollo y refinación del material, sin su asistencia esta obra nunca se hubiera concluido. Manifestamos también nuestra gratitud a los señores Ozzie Cummins, Jerry Short, Allen King, y Charlie Carter, todos del USDA Servicio Forestal, y Alejandro Jayo del "Team for Interamerican Restoration", por habernos proporcionado sus ideas y la revisión de este documento; a Chris Seeley de Development Alternatives International, Incorporated, CORDEP, Bolivia por su contribución con el capítulo sobre el tema de puentes y su asistencia en la presentación de algunos cursos cortos; a José Vásquez y Carlos Marizuya de la Dirección General de Caminos, Programa de Caminos Rurales en Guatemala, quienes se encargaron de todo el arte computarizado en este manual; a Leticia Mayorga por su asistencia en el procedimiento de palabras (levantado de texto); a Rodney Tsuji por su colaboración con la traducción del texto principal; a Lisa MacMahan por su asistencia con los artes gráficos; y a Josefina Aguirre por la edición final del texto y los toques finales al documento.

Agradecemos a USDA Servicio Forestal Oficina Internacional y a la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID) por su patrocinio de los cursos cortos que tuvimos la oportunidad de presentar y por el apoyo económico para la publicación de varios documentos. Estamos muy agradecidos con la Dirección General de Caminos, Programa de Caminos Rurales por habernos brindado su valioso apoyo logístico en la presentación de los cursos cortos.

Finalmente y sin el afán de menospreciarlos, les damos las gracias a nuestras queridas esposas, Bienvenida y Jeanette, a nuestras familias por todo su apoyo, comprensión y más que nada su paciencia a lo largo del proceso de la elaboración y producción de este manual.

SOBRE LOS AUTORES

El Ingeniero Gordon Keller, un ingeniero civil y geotécnico facultado por el estado de California, EE.UU., cuenta con 23 años de experiencia ejerciendo su profesión. Actualmente es empleado por el USDA-Servicio Forestal con el cargo de Ingeniero de la Zona de la Región de California del Norte. El Ing. Keller ha ~~acumu~~lado extensiva experiencia en la construcción y mantenimiento de caminos rurales que incluye trabajos de estabilización de taludes, estructuras de contención, estudios subterráneos para cimientos, ubicación y explotación de canteras, drenajes superficiales y subterráneos, recuperación de minas abandonadas, medidas de control de erosión, diseño y reparación de puentes y presas. Su interés en el campo de desarrollo rural se inició en el norte de México donde el Ing. Keller creció. Aparte de su estrecho conocimiento de la república mexicana, el ingeniero ha ganado experiencia internacional laborando en Guatemala, Bolivia y otros países de Latinoamérica.

El Ingeniero Gerald P. Bauer, un forestero profesional, es un empleado del USDA-Servicio Forestal en la capacidad de Biólogo Científico asignado al Instituto de Dasonimia Tropical Internacional de Río Piedras, Puerto Rico. Esta institución ha prestado sus servicios a la Agencia para del Desarrollo Internacional Misión Guatemala donde actualmente ocupa el cargo de Asesor Técnico para Asuntos de Manejo Ambiental del Programa de Caminos Rurales de la Dirección General de Caminos, una dependencia del gobierno central de Guatemala. El Ing. Bauer cuenta con 20 años de experiencia laborando en el campo de conservación y manejo de recursos naturales en Latinoamérica y el caribe, incluyendo todos los países de Centro América y la mayoría de los de América del Sur.

El Ingeniero Mario Aldana, un ingeniero civil facultado por la República de Guatemala, cuenta con 18 años de experiencia en el campo de construcción y mantenimiento de caminos rurales, además de otros proyectos de desarrollo rural. Por su preparación académica y los años en el campo es considerado un profesional experimentado en las materia como: diseño y mantenimiento de puentes, diseño, construcción mantenimiento y supervisión de caminos rurales. El Ing. Aldana ocupa el cargo de ingeniero regional del Programa de Caminos Rurales de la Dirección General de Caminos de Guatemala con la responsabilidad de conducir y administrar el programa de caminos rurales en una de las zonas más ambientalmente sensibles en Guatemala. El Ing. Aldana ha ganado experiencia internacional por haber laborado en varios países de América Central y del Sur, con instituciones internacionales como la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos y el Banco Interamericano de Desarrollo.

PREFACIO

CONTENIDO DEL MANUAL

Este manual fue escrito para proveer información sobre aspectos de planificación, diseño, construcción, mantenimiento, y reparación de caminos rurales y/o de bajo volumen de tráfico, los cuales, si son aplicados, pueden reducir al mínimo impactos ambientales a largo plazo. Es una compilación de sentido común específico e información técnica sobre la mayoría de los aspectos de diseño de los caminos rurales. Las soluciones y alternativas se ponen de manifiesto para problemas típicos de camino rural. Con la aplicación de esta información, se espera que los proyectos de caminos rurales se lleven a cabo con problemas mínimos o impactos ambientales adversos.

Se hace énfasis en evitar la modificación de terrenos, evitando o reduciendo al mínimo los problemas de drenaje e implementando el diseño apropiado de drenaje, para drenaje superficial, así como drenajes transversales. Los problemas de drenaje, frecuentemente, ocasionan los impactos más grandes en los caminos con respecto a erosión, sedimentación, y degradación de calidad del agua.

Los otros puntos mencionados que afectan el impacto de caminos rurales son estabilización de laderas, control de erosión, control de cárcavas, y una superficie de camino estabilizada.

Este manual no es un manual básico de diseño geométrico, ya que ésta información está usualmente disponible en otras referencias. Sin

embargo, trata sobre normas de caminos rurales, ubicación, diseño y mantenimiento que influye en el costo e impactos potenciales. Provee información sobre diseño, mantenimiento y reparación requeridas para construir un camino rural que es "ambientalmente" y "socialmente" amistoso, y que técnicamente sea apropiado.

En el Suplemento 1-1, al final de Capítulo 1, se incluye la "Descripción de Diseño de Estructuras de Drenaje y Conservación de Suelos", que presenta un resumen de los aspectos más importantes de drenaje de caminos. Esta información es la parte de un útil Compendio de Información de Diseño sobre los Caminos de Bajo Volumen publicados por el Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, EEUU. Además, el USDA-Forest Service usa guías llamadas "Las Mejores Prácticas de Gestión" (Best Management Practices), requeridas por las leyes estatales, que deben aplicarse para construir y mantener un camino, en una manera ambientalmente aceptable y de costos efectivos y que reduzca al mínimo el impacto en la calidad del agua. Muchos de estos principios han sido incorporados aquí.

Este manual fue escrito principalmente para ser utilizado por los ingenieros de campo, profesionales o empíricos, quienes planifican y diseñan los caminos rurales e ingenieros de mantenimiento regionales, quienes dirigen y realizan obras de mantenimiento del camino, así como las reparaciones de los mismos. Esperamos que esta información les sea de utilidad.

Esto es el resultado de tres cursillos de camino rural de acceso presentado a ingenieros y técnicos de proyectos en Guatemala y Bolivia.

Representa 30 años de experiencia colectiva de los autores de la obra en el proceso de análisis ambiental, diseño de caminos rurales, y la resolución de problemas de ingeniería relacionados con caminos, particularmente en lo referente a drenaje, estabilidad de taludes, y control de erosión.

La siguiente es una descripción breve de los contenidos de cada capítulo en este manual.

† **El Capítulo 1:** Introducción, provee una descripción de caminos rurales, sus impactos ambientales y las formas de reducir al mínimo estos impactos.

† **El Capítulo 2:** Provee una discusión del proceso de análisis de impacto ambiental, incluyendo leyes que lo requieren, por qué es necesario y beneficioso para las comunidades y las organizaciones que manejan caminos, qué información se requiere para un análisis ambiental y cómo afecta un proyecto de camino.

† **El Capitulo 3:** Discute factores básicos de planificación, ubicación, diseño y mantenimiento de caminos rurales, que influyen en el uso del camino y que pueden reducir al mínimo el impacto ambiental. Las normas geométricas y el sistema de planificación de transporte que asegura que un camino va a alcanzar sus metas sociales y que se acomoda a los usuarios. Las normas mínimas apropiadas, buena ubicación y diseño, con particular énfasis en los detalles de drenaje, prácticas de mantenimiento apropiado, en conjunto ayudan a reducir al mínimo los costos de reparación y los impactos ambientales adversos. Se discuten aspectos exclusivos de diseño en zonas montañosas, tropicales, y desérticas. Presenta los "Diez Mandamientos de Diseño de Caminos", conjuntamente con terminología típica de secciones transversales, y sugiere normas de diseño. La clausura de caminos se discute también.

† **El Capítulo 4:** Trata del papel de hidrología en el diseño de caminos, el ciclo hidrológico y la importancia del drenaje del camino. El Método Racional se presenta como una herramienta

útil para determinar la cantidad de escurrimientos de pequeñas cuencas y de áreas reducidas tal como una sección de la superficie de la plataforma. Esta descarga se usa entonces en el diseño de las estructuras de drenaje. Se presentan algunos ejemplos de cálculos. Se discute también el Método de Talbot, que aproxima la capacidad o área hidráulica necesaria para la descarga desde una pequeña cuenca.

† **El Capítulo 5:** Presenta algunas de las herramientas básicas necesarias en el diseño de estructuras hidráulicas. El uso de las Fórmulas de Manning explica, conjuntamente con ejemplos, cómo determinar las velocidades de flujo y la capacidad de las alcantarillas o tuberías. Se presentan los criterios para el uso y tamaño de zampeado para proteger las alcantarillas contra el movimiento de suelos, y el desgaste, conjuntamente con la graduación y tamaño de zampeado. Los conceptos de filtros y el criterio para el diseño de filtros de tierra, así como para el material de filtración de grava y filtros geotextiles, también son abordados. Los filtros son necesarios para asegurar que el zampeado se mantenga en su lugar, para que no se desplacen los materiales finos o no se laven del zampeado, y para asegurar que el material burdo del filtro o roca no llegue a ser obstruída. También, los filtros deben prevenir la acumulación progresiva de presión de poro en el suelo fino adyacente. Finalmente, las funciónes y aplicaciones típicas de geosintéticas y geotextiles para la filtración, drenaje, separación, refuerzo, y protección se ponen de manifiesto.

† **El Capítulo 6:** Discute consideraciones de diseño para puentes, incluyendo problemas de sitio exclusivo de puentes sobre drenajes mayores, la ubicación de puentes, aspectos hidráulicos, e investigaciones necesarias (el diseño estructural de puentes no es discutido); los puentes frecuentemente tienen altos costos de diseño y construcción, los cuales pueden tener impactos significativos en el sitio. También se discuten los métodos hidrológicos para determinar el flujo de drenajes mayores, los aspectos de socavación y el paso de peces.

† **El Capítulo 7:** Discute travesías de agua de bajo nivel (badenes), como una alternativa eficiente y de costo mínimo a puentes o alcantarillas mayores para travesías de drenaje. Los factores del sitio, diseño y construcción se ponen de

manifiesto al igual que la variedad de dibujos de diseño para travesías de agua de bajo nivel con normas altas y bajas.

† **El Capítulo 8:** Ofrece un conjunto de nomogramas para determinar la capacidad de flujo en varios tipos y tamaños de alcantarillas y cunetas. Se incluye también el control de la entrada y salida de la tubería. El uso de estos nomogramas simplifica la determinación del tamaño apropiado de estructura de drenaje para una descarga dada. De otro modo las soluciones para la capacidad de las tuberías frecuentemente involucra mucho tiempo, ensayos y errores.

† **El Capítulo 9:** Discute consideraciones generales para drenaje de plataforma de caminos, travesías de drenajes y canales naturales, instalación y colocación de alcantarillas, métodos para controlar el flujo de agua en las entradas y salidas de las estructuras, y el uso y espaciamiento de badenes y los desviadores de agua. Las causas principales de la erosión de un camino pueden no tener buen drenaje o tener una estructura inadecuada de drenaje. Una sección versa sobre aplicaciones especiales para el diseño de travesías de pradera y áreas húmedas. Hay alguna información de drenajes subterráneos, diseño típico de subdrenes, los materiales utilizados, y ejemplos de aplicaciones. Los drenes horizontales también se discuten.

† **El Capítulo 10:** Trata de la estabilización de cortes y rellenos, siendo la segunda fuente más importante de erosión. Se presenta información sobre cortes estables típicos en suelos y roca, así como también inclinaciones estables de relleno. Se muestran los factores de estabilización de laderas, las propiedades de taludes y suelos, y la relación de ángulos y las pendientes. Se discuten los métodos de estabilización de laderas en áreas de deslave, incluyendo nivelación de pendientes, uso de estructuras, drenaje, y métodos biotécnicos de estabilización de laderas. Los métodos de análisis de estabilización de laderas se mencionan brevemente. Incluye información específica sobre el uso y el diseño de estructuras de gravedad de contención convencionales, tales como gaviones y los muros de roca. También los conceptos de construcción de estructuras de contención de tierra reforzada que usan materiales de geotextiles y alambre soldado están presentes. Además, se tabula la información de capacidad de carga permisible para cimientos

de muros.

† **El Capítulo 11:** Discute tipos de erosión y métodos generales de control de erosión, incluyendo métodos físicos, vegetativos, y biotecnológicos; el crecimiento general de plantas, factores de plantación, uso de cubre suelos, especies deseables, y sus aplicaciones. Se ponen de manifiesto los métodos biotécnicos específicos, tales como estacas vivas, bultos de ramas, colchón de ramas y capas de ramas. Se muestran las aplicaciones para la estabilización de laderas y cierre de los caminos.

† **El Capítulo 12:** Presenta técnicas específicas para el control y reparación de erosión de cárcavas, los criterios para la aplicación, espaciamiento y construcción de diques de contención, así como también diseño de diversos tipos de estructuras, incluyendo diques de cheque de roca suelta y estructuras de alambre y arbustos, así como dibujos de estructuras de control típicos para cabeceras de cárcavas.

† **El Capítulo 13:** Presenta una discusión general sobre los suelos y materiales utilizados en la construcción del camino y cómo estas influyen en la estabilidad y pérdida de material de superficie de camino. Los métodos de estabilización de la superficie de la plataforma, tales como compactación, el uso de agregados de suelos y grava, empedrado, uso de viruta de madera ("chunkwood" en inglés), reduciendo la presión de los neumáticos y refuerzo con geotextiles. Las ventajas, consideraciones y factores de aprovechamiento para bancos de préstamo y canteras se ponen de manifiesto. Se muestran además relaciones entre encogimiento y expansión de los materiales, así como también, métodos de compactación y sus ventajas. Se discute información sobre la clasificación de suelos a nivel de laboratorio y de campo así como sus características.

† Se incluyen muestras de fotografías al final de algunos capítulos. Se muestran buenos y malos ejemplos de construcción y mantenimiento, y los efectos ambientales de caminos rurales. Siempre que sea posible, se muestran fotografías antes y después de una situación dada, para que el usuario de este manual pueda ver ciertas aplicaciones que pueden mejorar el diseño del camino.

- En este manual se incluye también un glosario de términos técnicos Español-Inglés utilizados en la construcción y mantenimiento de caminos rurales en general, así como también útiles factores de conversión. Una bibliografía de todas las fuentes de referencia utilizadas en la elaboración de este manual sigue al texto principal.

- Se incluyen varios apéndices con la información técnica que normalmente no puede ser encontrada por el usuario y antecedentes y material de apoyo de la información presentada en el texto.

PREFACE

MANUAL CONTENTS

This manual is written to provide information on aspects of planning, design, construction, maintenance, and repair of low-volume and/or rural roads which, if applied, can minimize long-term environmental impacts. It is a compilation of specific common sense and technical information on most aspects of rural road design. Solutions and alternatives are presented for typical rural road problems. With application of this information, rural road projects can hopefully be undertaken with minimal problems or adverse environmental impacts.

Emphasis is on minimizing terrain modification, avoiding or minimizing drainage problems, and implementing proper drainage design, both for natural drainage crossings and surface drainage. Drainage problems often cause the largest impacts from roads with regard to erosion, sedimentation, and degradation of water quality. Other issues addressed herein which affect rural road impacts are slope stabilization, erosion control, control of gullies, and a stabilized road surface.

This manual is not a basic road geometric design manual, as this information is commonly available in other references. It does, however, address aspects of rural road standards, location, design and maintenance which influence cost and potential impacts. It provides design, maintenance, and repair information on what is required to build a rural road that is "environmentally" and "socially" friendly, yet technically sound.

Included in Supplement 1-1, at the end of Chapter 1, is an "Overview

of Design of Drainage Structures and Soil Conservation", which presents a summary of the most important aspects of road drainage. This information is part of a useful Compendium of Design Information on Low Volume Roads published by the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA. Additionally, the USDA-Forest Service uses guides called "Best Management Practices", required by State law, which must be applied to roads and other management activities to construct and maintain roads in an environmentally acceptable and cost-effective manner and in a manner which will minimize impacts on water quality. Many of these principles are incorporated herein.

This manual is written primarily for use by field engineers, both professionals and technicians, who are planning and designing rural roads. Also, area maintenance engineers who direct and perform road maintenance work, as well as needed repairs of the roads, will hopefully find this information useful. It is was developed as result of three short-courses presented to rural access road project engineers and technicians in Guatemala and Bolivia. It also represents 30 years of collective experience by the authors of work with environmental analysis process, rural road design, and resolving road-related engineering problems, particularly involving drainage, slope stability, and erosion control.

The following is a brief description of the contents of each chapter in this manual.

† **Chapter 1:** Introduction, provides an overview of rural roads, their environmental impacts and ways to minimize these impacts.

† **Chapter 2:** Provides a discussion of the environmental impact analysis process, including laws that require environmental analysis, why environmental analysis is necessary and beneficial to communities and road management organizations, what information is required for an environmental analysis, and how it affects a road project.

† **Chapter 3:** Discusses factors of basic rural road planning, location, design and maintenance which influence road use and which can minimize road impacts. Desired geometric standards and transportation system planning insure that a road will satisfy its social goals and that it accommodates the road user. Appropriate minimum standards, good location, good design with particular attention to drainage detail, and good maintenance practices all help minimize road repair costs and the adverse environmental impacts of roads. Aspects of road design unique to mountainous, tropical, and desert environments are discussed. The "Ten Commandments of Road Design" are presented, along with typical road cross-sections terminology, and suggested design standards. Road closure is also discussed.

† **Chapter 4:** Discusses the role of hydrology for road design, the hydrologic cycle, and the importance of drainage on roads. The Rational Method is presented as a useful tool to determine the quantity of runoff from small watersheds and from small areas such as a section of roadway surface. This discharge is then used in the design of drainage structures. Examples of calculations are presented. Talbot's Method, which approximates the hydraulic area or capacity needed for discharge from a small watershed, is also discussed.

† **Chapter 5:** Presents some of the basic tools needed in the design of hydraulic structures. Use of Manning's Formula is explained, along with examples to determine flow velocities and channel or pipe capacity. To protect channels against soil movement and scour, criteria is presented on size and use of riprap, along with typical riprap size and gradations. Filter concepts and soil filter design criteria is presented for both gravel filter material and geotextile filters. Filters are necessary to insure that the riprap will stay in place, to not have

fines move or be eroded from behind the riprap, and to insure that the coarse rock or filter material does not become plugged. Also, filters must prevent the buildup of pore pressure in the adjacent fine soil. Finally, typical applications and function of geosynthetics and geotextiles for filtration, drainage, separation, reinforcement, and protection are presented.

† **Chapter 6:** Discusses design considerations for bridges, including site problems unique to bridges on major drainages, bridge location, hydraulics, and needed investigations (structural design of bridges is not addressed). Bridges often have major design and construction costs, and they can have significant site impacts. Hydrologic methods for determining flows of major drainages are discussed.

† **Chapter 7:** Discusses low water crossings, or fords, as a cost effective alternative to bridges or major culverts for drainage crossings. Site, design, and construction factors are presented. Also, design drawings for a variety of low to high standard low water crossings are included.

† **Chapter 8:** Offers a set of nomograms for determining the flow capacity of various types and sizes of culverts and channels. Both inlet control and outlet controlled pipes are included. Use of these nomograms greatly simplifies the determination of the proper size of drainage structure for a given discharge. Otherwise solutions for pipe capacity often involve time consuming trial and error solutions.

† **Chapter 9:** Discusses general considerations for roadway drainage, crossings of drainages and natural channels, installation and placement of culverts, methods of controlling water flow at inlet and outlets of structures, and use and spacing of rolling dips or water bars. Poor drainage or inadequate drainage structures are the major cause of road related erosion. A section is presented on special applications for design of meadow crossings and wet areas. Information is presented on subsurface drainage, typical underdrain design, materials used, and example applications. Also horizontal drains are discussed.

† **Chapter 10:** Deals with stabilization of cutslopes and fills, the second most significant source of roadway erosion. Information is presented on typical stable cut slopes in soil and rock, as well as stable fill slopes. Slope stability factors, soil and slope properties, and slope angle relationships are shown. Methods of slope stabilization in landslide areas are discussed, including regrading slopes, use of structures, drainage, and biotechnical slope stabilization methods. Slope stability analysis methods are briefly mentioned. Specific information on use and design of conventional gravity retaining structures, such as gabions and rock walls, is given. Also, concepts of earth reinforced retaining structures using materials such as geotextiles and welded wire is presented. Additionally, allowable bearing capacity information is tabulated.

† **Chapter 11:** Discusses types of erosion and general erosion control methods, including physical methods, vegetative methods, and biotechnology. General plant growth, planting factors, use of mulches, desirable species, and applications are discussed. Specific biotechnical methods such as live staking, wattling, matting, and brush layering are presented. Applications for road closure and slope stabilization are shown.

† **Chapter 12:** Presents specific techniques for control and repair of gully erosion. Criteria is presented for applications, spacing and construction of check dams, as well as design of various types of structures, including loose rock check dams and brush and wire structures. Drawings for typical gully headcut control structures are also presented.

† **Chapter 13:** Presents a general discussion on soils and highway materials used in road construction, and how roadway materials influence surface loss and stability. Road way surface stabilization methods are discussed, such as compaction, use of gravel and soil additives, cobblestone surfacing, use of wood chips or chunkwood, reduced tire pressure, and reinforcement with geotextiles. Advantages, considerations, and development factors for borrow pits and quarries are presented. Also, typical shrink-swell relationships for materials are shown. Compaction methods and their advantages are discussed. Information on laboratory and field classification

of soils is presented, along with characteristics and uses of classified soils, and useful field classification information.

† Example photographs are included at the end of some chapters. Examples of both good and bad rural road construction, maintenance, and environmental effects are shown. When possible, a before and after photograph is shown of a given situation so the user can see how certain applications can improve road design.

† A glossary of English-Spanish technical terms used in this manual and in rural road construction and maintenance in general is included, as well as useful conversion factors. A bibliography of all sources referenced and used in the development of this manual follows the main text.

† Several appendices, containing technical information which may not normally be found by the user, and background material in support of information presented in the text, are included.

Capítulo 1

Introducción

SECCIÓN 1.1.
LA DESCRIPCIÓN DE CAMINOS RURALES

Los caminos rurales son una necesidad básica para proveer a una sociedad de un flujo de mercaderías y servicios a lo largo de un área, permiten el desarrollo de una sociedad, el mejoramiento en la calidad de vida y ayudan a llenar las necesidades básicas de las comunidades rurales; se necesitan para la protección y producción de recursos y proveen el nexo necesario para el desarrollo.

A través de un camino rural una comunidad puede obtener servicios eléctricos, mejorar los sistemas de agua potable, atraer profesores para escuelas locales, ganar acceso a mercados para productos agrícolas y otros, y recibir apoyo técnico de agencias gubernamentales locales.

Los caminos rurales deben construirse de acuerdo a normas adecuadamente altas para cubrir las necesidades de corto y largo plazo de las comunidades y los usuarios, pero a la vez, no deberían estar sobre diseñados o construidos innecesariamente. Para ser socialmente responsables, deberían construirse a manera de reducir el impacto al medio ambiente y al menor costo.

Un camino duradero, eficiente en costo, y con impactos ambientales reducidos al mínimo, requiere una combinación de normas apropiadas de diseño, diseño adecuado y mantenimiento necesario y drenaje superficial adecuado, rellenos y cortes estables; un camino estable con puentes y cruces (travesías) de tamaño adecuado y medidas de control de erosión, deberían ser parte de un diseño eficiente y de un costo moderado. Esto podría aumentar el costo de construcción, pero probablemente reducirá los costos de reparación, mantenimiento y reconstrucción, así como también reducir los impactos ambientales adversos, a largo plazo. Es importante notar, que el uso de estructuras de drenaje de tamaño adecuado reducirán o evitarán el costo de reparaciones y reemplazo.

Los caminos deberían construírse tratando de no afectar desfavorablemente los terrenos adyacentes a ellos. Por otra parte, un diseño de camino necesitaría tomar en cuenta las prácticas de mal uso de la tierra adyacente al camino, por ejemplo, un diseño de camino puede necesitar que aumente el tamaño y frecuencia de drenaje estructural para acomodar el aumento de corrientes y arrastre debido a actividades madereras o malas prácticas agrícolas, pueden ser

necesarias estructuras adicionales para controlar las cárcavas, para evitar que las ya existentes atraviesen el camino.

Las normas del camino deberían ser apropiadas para el uso y tráfico previsto y el área que servirá. Un camino demasiado pequeño no proveerá el servicio y el uso necesario, puede excluir algún tipo de tráfico, inhibir el desarrollo, y ser inseguro. Un camino sobre diseñado será más caro, potencialmente puede tener más problemas de deslizamientos, requiere más drenajes, reduce el área productiva, y tiene impactos ambientales más altos. Las normas del camino incluyen anchura de plataforma, velocidad de diseño, radio de curvas, peralte hacia afuera y hacia adentro, sobrelevaciones, pendientes, travesías badenes vs. alcantarillas, etc. Un camino bien diseñado y construido utilizando las normas mínimas apropiadas, será eficiente y de costo mínimo, reducirá el mantenimiento recurrente y los costos de reparación, y probablemente tendrá un impacto ambiental menor. **Así las normas apropiadas de diseño deben usarse para equilibrar necesidades de camino, costos e impactos ambientales.**

El mantenimiento frecuente y adecuado es importante para reducir al mínimo los costos de reparación a largo plazo, particularmente en lo que se refiere a revestimiento y estructuras de drenaje. El mantenimiento periódico debería incluir nivelación del camino, limpieza de alcantarillas, entradas y cunetas, y eliminar el arrastre de las estructuras de drenaje. El mantenimiento puede incluir también armaduras de las salidas de tuberías, reemplazando o agregando zampeado, colocando rocas donde sea necesario o replantando vegetación.

El diseño de drenaje requiere el uso apropiado de métodos hidrológicos e hidráulicos y un estudio de topografía local. Debería incluir también discusiones de campo con miembros de la localidad, quienes están familiarizados con el área y los problemas de drenaje. Finalmente, el camino debería examinarse durante las tormentas para conseguir información de primera mano sobre problemas y necesidades de drenaje. El sistema de drenaje es el aspecto más importante del diseño de caminos!

En la construcción de caminos rurales se recomienda el uso de drenajes simples, efectivos, y que no requieran mantenimiento, y el uso de prácticas de control de la erosión señaladas en este manual. Algunas de las prácticas más importantes son:

1. Reducir al mínimo las normas y la anchura de la plataforma.

2. Construir caminos con peraltes hacia afuera .

3. Utilizar badenes con armadura para asegurar que el agua corra fuera de la superficie del camino .

4. Usar cortes 1:1 ó más planos que se mantienen estables a través del tiempo .

5. Usar protección vegetativa o biotécnica de erosión, con frecuencia conjuntamente con zampeado, para proteger áreas expuestas y sujetas a erosión.

Además, para diseñar y construir adecuadamente un camino, los ingenieros deben tener y utilizar el equipo apropiado y aplicar los conceptos técnicos adecuados. Las instituciones y las agencias deben facultar a sus empleados para usar y compartir sus recursos, para aprovechar la experiencia y el conocimiento del personal del campo, y para colaborar y comunicarse interna y externamente para lograr sus metas de manejo del camino. Existe una gran necesidad de educación. Si el camino no se construye en forma adecuada, no se puede esperar reducir el impacto ambiental!

SECCIÓN 1.2.
CÓMO REDUCIR AL MÍNIMO LOS IMPACTOS EN LOS CAMINOS RURALES

Un camino influye en el ambiente a su alrededor de muchas formas. Los caminos frecuentemente alteran los patrones naturales de drenaje y tienen una tendencia para acumular agua de muchas formas. Las plataformas compactas restringen la infiltración que puede conducir a un incremento de escurrimientos. Los cortes y rellenos de las plataformas pueden restringir o modificar las corrientes de agua subterránea. La erosión y la degradación se aceleran cuando existen áreas grandes de superficies de plataformas, cortes expuestos y rellenos. El movimiento de tierra modifica la forma del terreno natural con bancas adicionales y pendientes empinadas. Las estructuras de drenaje y los terraplenes de la plataforma pueden estrechar los cauces naturales y aumentar la velocidad de los canales. Así mismo, los caminos consumen recursos naturales, reducen el área de producción, ocasionan o promueven contaminación, y pueden acelerar el uso de la tierra y cambio social.

Los caminos ambientalmente sensibles tienden a ser bien ubicados para reducir al mínimo los impactos, la perturbación de terreno y evitar cambios a los patrones naturales de drenaje, y son los que requieren mantenimiento mínimo. Las formas específicas para reducir al mínimo los impactos de caminos incluyen:

- Reducir al mínimo el ancho de la plataforma.
- Reducir al mínimo la alteración de patrones naturales de drenaje.
- Proveer drenaje superficial adecuado.
- Evitar áreas problemáticas, tales como, áreas inestables y húmedas.
- Establecer una distancia adecuada de los riachuelos, y reducir al mínimo el número de travesías de drenaje.
- Diseñar cruces de riachuelos y cruces fluviales con la capacidad y protección de erosión adecuada.

- Utilizar superficies de caminos estables y drenajes subterráneos donde y cuando sea necesario.
- Reducir la erosión proporcionando buena cobertura vegetal al terreno en cortes, rellenos, y cualquier área perturbada o expuesta.
- Usar ángulos que sean estables para pendientes de corte y relleno.
- Usar medidas de estabilización de laderas y estructuras, y el drenaje necesario.
- Aplicar técnicas especiales al cruzar ciénagas, áreas de ribera y para controlar cárcavas.
- Proveer mantenimiento periódico completo del camino.
- El cierre o eliminación de caminos cuando no se utilicen o cuando ya no sean necesarios.

SECTION 1.1.
OVERVIEW OF RURAL ROADS

Rural roads are a basic need of society to provide for a flow of goods and services throughout an area. They allow for the development of a society and for improvement in quality of life. They help rural communities meet their basic needs, are needed for resource production and protection, and provide a necessary link for rural development to take place. With access provided by a rural road, a community can obtain electrical services, improve potable water systems, attract teachers for local schools, gain access to markets for agricultural and other products and receive technical support from local governmental agencies.

Rural roads must be built to adequately high standards to meet both short- and long-term needs of the communities and the users they serve, but at the same time, they should not be over-designed or built unnecessarily. To be socially responsible today, they must be constructed in an environmentally and economically sound manner.

A stable, cost effective, and minimum impact road requires a combination of appropriate design standards, proper design, and maintenance. Adequate surface drainage, stable cuts and fills, a stable roadway, properly sized bridges and crossings, and erosion control measures should all be part of a standard cost-effective design. This may increase construction cost, but will likely reduce repair, reconstruction and maintenance costs, as well as minimize adverse environmental impacts, in the long-term. Use of appropriately sized drainage structures will reduce or avoid the cost of repairs and replacement.

Roads should be constructed to not adversely impact the land around them. On the other hand, at times a road design may need to consider bad land use practices adjacent to the road. For example, a road design may need to increase the size and frequency of drainage structures to accommodate increased runoff and debris from a logging operation or poor farming practices. Additional gully control structures may be needed to prevent existing gullies from crossing the road.

Road standards should be appropriate for the anticipated use and traffic it will receive and the area it will serve. An undersized road will not provide the service and use needed, may prevent some traffic, inhibit development, and be

unsafe. An over designed road will be more expensive, potentially have more slide problems, require more drainages, take land out of production, and have higher environmental impacts. Road standards items include road width, design speed, curve radius, insloping vs. outsloping, super elevations, grade, culverts vs. low water crossings, etc. A road which is well designed and constructed to minimum appropriate standards will be cost effective, will reduce recurring maintenance and repair costs, and will likely have the least environmental impact. **Thus the appropriate design standards must be used to balance road needs, costs, and environmental impacts.**

Good and frequent maintenance are critical to minimize long-term repair costs, particularly for drainage structures and surfacing materials. Periodic maintenance should include road grading, cleaning culverts, inlets and ditches, and removing debris from drainage structures. Maintenance may also include armoring pipe outlets, replacing or adding riprap, spot rocking or replanting vegetation.

Drainage design requires the use of appropriate hydrologic and hydraulic methods and a study of local topography. It should also include field discussions with local community members who are familiar with the area and drainage problems. Finally, the road should be examined during rainstorms to get first-hand information on drainage needs and problems. Road drainage is the single most important aspect of road design!

For rural roads, use of simple, effective, self-maintaining drainage and erosion control practices outlined in this manual are strongly encouraged. Some of the most important practices are:

1. Minimizing road width and standards.
2. Outsloping the road.
3. Using driveable rolling dips with armoring to insure that water moves safely off the road surface.
4. Using 1:1 or flatter cutslopes which will be stable over time.
5. Using vegetative or biotechnical erosion protection, often in conjunction with riprap, to protect exposed and erosive areas.

Also, to properly design and construct a road, the engineers must have and use the proper equipment and apply the proper technical concepts.

Institutions and agencies must empower their employees to use and share their resources, to take advantage of the experience and knowledge of the field personnel, and to cooperate and communicate internally and externally to achieve their road management goals. Need for education is critical. **Expectations of reduced environmental impacts become moot if, for any reason, the road is not constructed properly!**

SECTION 1.2.
MINIMIZING RURAL ROAD IMPACTS

A road influences the environment around it in many ways. Roads often alter natural drainage patterns and have a tendency to concentrate water in many ways. Compacted road surfaces restrict infiltration which can lead to increased runoff. Roadway cuts and fills can restrict or modify groundwater flow patterns. Exposed road cuts, fills, and roadway surfaces expose a large area to weathering and accelerated surface erosion. Earthwork modifies the shape of the natural terrain with additional benches and oversteep slopes. Drainage structures and roadway embankments may constrict natural waterways and increase channel velocities. Finally, roads consume natural resources, take land out of production, cause or promote pollution, and, can accelerate land use and social change.

Environmentally sensitive roads tend to be roads which are well located to minimize impacts, roads which minimize ground disturbance and minimize changes to natural drainage patterns, and are roads which require minimum maintenance. Specific ways to minimize the impacts of roads include:

- Minimizing road width and area of disturbance.
- Minimizing alteration of natural drainage patterns.
- Providing adequate surface drainage.
- Avoiding problems such as wet and unstable areas.
- Staying an adequate distance from creeks and minimizing the number of drainage crossings.
- Designing creek and river crossings with adequate capacity and erosion protection.
- Providing a stable road surface and using subsurface drainage where needed.
- Reducing erosion by providing good ground cover on cuts, fills, and any exposed or disturbed areas.

- Using stable cut and fill slope angles.
- Using slope stabilization measures, structures, and drainage as needed.
- Applying special techniques when crossing meadows, riparian areas, and when controlling gullies.
- Providing thorough periodic road maintenance.
- Closing or obliterating roads when not in use or no longer needed.

Suplemento 1-1

Diseño de Drenajes y Conservación de Suelos - Vista General*

ANTECEDENTES Y ALCANCE

Caminos que son utilizados durante todo el año deben contar con el drenaje adecuado para su mejor funcionamiento. Pequeñas estructuras de drenaje con capacidades fijas no pueden ser económicamente mejoradas; por lo tanto, deben ser escogidas de acuerdo a su tamaño e instaladas correctamente como el primer paso en el desarrollo del camino. Además, al medir las estructuras de drenaje, el ingeniero debe anticipar cambios futuros en el uso del terreno, los cuales podrían afectar el drenaje.

El costo inicial de construcción de un camino de bajo volumen puede ser reducido si un país está dispuesto a aceptar caminos clausurados durante los cortos períodos de inundación de arroyos o ríos. Un camino de bajo volumen no se llama camino de toda intemperie hasta que las travesías de arroyo y río operen continuamente. Esto se puede lograr por etapas a medida que el aumento en el volumen del tránsito justifique tales mejoras. La construcción de los drenajes del borde del camino comienza con la construcción inicial del camino. El drenaje del borde del camino incluye la construcción de todos los canales de drenaje que desvían o quitan las pequeñas aberturas del derecho de vía. El propósito principal del drenaje del borde del camino consiste en impedir que el agua que se desagua del terreno llegue hasta el camino, y para quitar eficientementeel agua de lluvia o de drenaje que le llegue al camino.

El Compendio 5 trata específicamente sobre canales de aberturas del borde del camino, incluyendo su diseño, construcción y manutención. Los canales de drenaje del borde del camino deberán ser correctamente diseñados y construidos durante el primer paso en el desarrollo del camino. Un diseño, construcción o manutención incorrectos pueden causar fracasos costosos. Ya que hay ciertas incertidumbres en las suposiciones hechas en el diseño de los canales del borde del camino, éstos deberán observarse cuidadosamente durante los períodos de lluvia inmediatamente después de la construcción. Esta precaución asegurará que se encuentren las deficiencias de diseño o construcción antes de que causen importantes fracasos. Las insuficiencias descubiertas deberán corregirse inmediatamente antes de que futuras aguas de drenaje tengan oportunidad de aumentar el daño.

EXPOSICIÓN RAZONADA PARA ESTE COMPENDIO

El compendio 5 describe los diferentes tipos y propósitos de canales de drenaje del borde del camino. Presenta una técnica para calcular el agua de tormenta de pequeñas áreas de drenaje. Esta técnica puede utilizarse para calcular la cantidad de agua que podrá esperarse en un canal específico de drenaje.

El compendio repasa las hidráulicas de canales de drenaje. Describe los procedimientos de diseño que se utilizan basados en los principios de hidráulica presentados. Se incluyen numerosos ejemplos del diseño de canales para ilustrar el procedimiento descrito. El diseño general de canales de drenaje es válido para áreas urbanas y rurales y para todas clases de caminos, de huellas para carreteras divididas. Los tubos que fluyen parcialmente llenos también se diseñan como canales abiertos de drenaje.

La información contenida en este compendio ayudará a los ingenieros del diseño y de la construcción de caminos rurales de bajo volumen teniendo un TMDA de hasta 400 vehículos. Por lo tanto se incluyen diagramas de diseño suplementarios para flujo de canal abierto en canales trapezoides y triangulares para asistir al diseñador en la solución de problemas que probablemente pueden aparecer en el drenaje de caminos de bajo volumen.

Casi todos estos diagramas se basan en una pendiente lateral del canal de 2:1 con anchos de fondo variables. Se incluyen instrucciones para la construcción de diagramas de diseño similares que utilizan otras pendientes laterales para flujo de canal abierto. Este compendio también incluye tablas para simplificar las computaciones para la solución inmediata de problemas de flujo de canal abierto. Estas tablas incluyen todas las pendientes laterales desde la vertical hasta 4:1. Las pendientes laterales de canal que más comunmente se utilizan en el diseño de caminos de bajo volumen caen dentro de estos límites.

El Compendio 5 incluye una exposición de los métodos de construcción para canales abiertos con

* Fuente: Transportation Research Board Compendium 5, 1979.

varios tipos de revestimiento. También incluye el texto e ilustraciones que muestran el uso de la niveladora para (a) construir un camino básico de tierra utilizando el material del corte de zanja, (b) limpiar zanjas, (c) construir superficies de bancos, y (d) construir canales terraplenados. Ya que este texto únicamente describe la secuencia correcta de posiciones de la cuchilla para cada operación, para propósitos de referencia se incluye una sección de texto que describe el control de la cuchilla de la niveladora.

El Compendio 5 discute el mantenimiento de varios de los componentes de drenaje del camino. Estos incluyen no solo los tipos de canales de drenaje del borde del camino descritos en este compendio, sino también algunas otras estructuras de drenaje.

El primer texto, Design of Roadside Drainage Channels (El diseño de canales de drenaje del borde del camino), fue publicado por el U.S. Departament of Transportation como Circular No. 4 de Ingeniería Hidráulica (este ha sido reproducido a partir de la reimpresión de diciembre 1973 de la publicación original en mayo de 1965), y dice que, la necesidad de prevenir la erosión no solo se limita a los canales de drenajes viales, sino que se extiende a través de toda la vía. La prevención de la erosión es una característica esencial del adecuado diseño de drenaje. La erosión y el mantenimiento pueden ser reducidos al mínimo por la correcta consideración de los siguientes factores:

1. Pendientes laterales planas, redondeadas y combinadas con el terreno natural.

2. Consideraciones de diseño de canal de drenaje (ubicación, ancho, profundidad, taludes, alineamiento horizontal y vertical, y tratamiento de protección).

3. Dispositivos correctos para la intercepción de agua de drenaje.

4. Dispositivos de protección, tales como, diques y bermas.

5. Coberturas del terreno y plantaciones de protección.

El tema presentado en esta publicación se limita a proveer control de la erosión en los canales de drenaje por un diseño correcto, incluyendo la selección de un revestimiento de canal económico.

El primer paso en el diseño de un canal es determinar la cantidad de agua que portará. El texto recomienda el uso de la fórmula racional para calcular el agua de drenaje de pequeñas áreas y anota las deficiencias que son inherentes en la fórmula. Afirma que se han sugerido muchos refinamientos a la fórmula para una posible mejora en los cálculos del agua de drenaje. Sin embargo, la colección de datos adicionales y el aumento de trabajo requerido por estos refinamientos no parecen justificarse en el diseño de canales de desagüe.

El texto repasa las hidráulicas de flujo en canales abiertos y define el flujo estable y no estable. Además el flujo estable se clasifica como uniforme si la velocidad y profundidad de flujo son constantes. Raras veces se llega a condiciones de flujo uniforme en los canales de desagüe pero el error en asumir un flujo uniforme en un canal de pendiente y sección transversal bastante constantes es pequeño cuando se compara al error que resulta al determinar la descarga de diseño. El uso de la ecuación Manning dará resultados confiables para el diseño de canales que tienen una distancia suficiente de sección transversal, textura de superficie y pendiente constante para establecer un flujo esencialmente uniforme.

Se dan ejemplos para demostrar el uso de la ecuación Manning (a) por cálculo directo, (b) por el uso de diagramas preparados, y (c) por el uso de tablas en combinación con cálculos directos.

Se definen y se habla sobre el flujo no uniforme o no estable, flujo crítico, flujo subcrítico en curvas, flujo supercrítico en curvas y la cifra Froude. Se dan las fórmulas apropiadas para cada condición.

Se describen los procedimientos de diseño para la disposición del sistema de drenaje, (b) pendiente de canal, (c) alineamiento de canal, (d) sección de canal, y (e) capacidad de canal.

Se explica el uso de diagramas de canal y tablas hidráulicas contenidas en varios manuales. Se habla sobre el significado del coeficiente de la textura de superficie del canal.Se describe la protección de canal con ejemplos ilustrativos. Se toma nota de los problemas de flotabilidad de canales vacíos con revestimientos rígidos.

Se trata sobre la aplicación de revestimientos combinados. Se describen varios métodos de revestir canales. Se explica la necesidad de coberturas de filtro, bajo ciertos revestimientos de canal junto con un método de diseñar capas de materiales de filtro.

Este texto también contiene un capítulo sobre métodos de construcción para los diferetes canales previamente descritos. Se incluye otro capítulo corto sobre el mantenimiento de canales abiertos, el cual subraya que se necesita mantenimiento para sostener la capacidad del

canal al nivel de diseño.

El texto seleccionado habla sobre los costos relacionados con los beneficios de canales de drenaje. Un diseño económico de drenaje significa realizar un trabajo adecuado al menor costo posible. El canal adecuado de costo más bajo mantiene un correcto equilibrio entre el primer costo, daño por inundación, y el costo de mantenimiento, y tiene la capacidad y protección para portar el agua de desagüe para el cual se diseñó.

El segundo texto consiste de tres extractos de Design Charts for Open Channel Flow (diagramas de diseño para flujo en canal abierto). Publicado por el U.S. Department of Transportation como Series de diseño hidráulico No. 3. El texto ha sido reproducido de la reimpresión de noviembre 1977 de la publicación de agosto 1961. Los extractos hablan sobre (a) instrucciones para diagramas de diseño que han sido extraídos, (b) los diagramas de diseño extraídos y (c) las instrucciones que describen la preparación de diagramas de diseño para canales trapezoidales no incluídos en el texto.

Los diagramas de diseño extraídos incluyen lo siguiente:

1. Diagramas de la sección transversal de canales trapezoidales utilizando una (n) de 0.33 y pendientes laterales de 2:1 (horizontal a vertical). Se provee un diagrama aparte para cada pie de ancho de fondo desde 2 pies a 10 pies (0.6 m a 3.1 m) y para cada pie (0.3 m) integral de ancho desde 10 pies a 20 pies (3.1 m a 6.2 m). El diagrama del fondo de 4 pies (1.2 m) de ancho aparece en el Design of Roadside Channels, por lo tanto no se repite en este.

2. Un diagrama de una sección transversal triangular para utilizarse en secciones de zanja de forma V de poca profundidad. Las instrucciones de este diagrama deben ser cuidadosamente ejecutados, ya que puede también utilizarse para secciones de calle encintadas.

3. Un diagrama de un canal con cobertura de pasto de forma trapezoidal para pendientes laterales de 2:1 y ancho de fondo de 4 pies (1.2 m).

La tercera sección del segundo texto es el apéndice B de Construction of Design Charts for Open-Channel Flow (Construcción de diagramas de diseño para flujo en canal abierto). Describe la construcción de diagramas de diseño para canales trapezoidales con pendientes laterales, anchos de fondo y coeficientes de textura de superficie otros que no sean los presentados en los diagramas previos. La descripción también incluye la construcción de diagramas de diseño similares para varias configuraciones de canales con cobertura de pasto.

El tercer texto consiste en tablas seleccionadas del Handbook of Hydraulics (Manual de Hidráulicas) (H.W. King, Cuarta Edición, 1954). Esta publicación es un manual de hidráulica de autoridad reconocida que en este momento está en su sexta edición (ver referencia 6). El primer texto de este Compendio hace referencia a ciertas tablas de esta publicación por su número de tabla en la página 29 del Compendio.

Este contiene varios ejemplos para demostrar cómo se puede ahorrar tiempo utilizando las tablas. Cada ejemplo hace referencia a una tabla específica. Las tablas seleccionadas son como sigue: Tabla 92 - Raíces Cuadradas de Números Decimales; Tabla 95 - Números elevados a ocho terceros de Potencia; y Tabla 97 - Valores de K en la fórmula Q= K/n b 8/3 S 1/2 para Canales Trapezoidales. Estas tablas han sido renumeradas en las ediciones posteriores del manual.

El cuarto texto es un extracto de Grading Illustrated (Nivelación, Ilustrada), Publicación TP 549 del Departamento de Publicaciones Técnicas de Aveling-Barford Ltd., Grantham, England (1974). Describe los métodos básicos de construcción de caminos utilizando varios tipos de niveladoras de Aveling-Barford. Que se le haya incluido en este compendio no significa el respaldo de esta marca de niveladora en particular. El texto se escogió únicamente por la claridad y concisión de la información presentada, además, el texto da instrucciones e ilustraciones para las varias tareas que pueden ser llevadas a cabo por una niveladora.

La descripción de la construcción de caminos de tierra comienza en la página 136 del Compendio. Las etapas de construcción detalladas son para (a) quitar el césped, (b) nivelar la superficie, (c) señalar la zanja, (d) hacer un corte de zanja, (e) trasladar la tierra del corte, (f) repetir los cortes de zanja, (g) nivelar la pendiente exterior de la zanja, (h) limpiar la zanja, y (i) terminar el peralte.

El texto describe el método, paso por paso, para la construcción de zanjas (trapezoidales) de fondo plano y la formación de pendientes graves, también describe la construcción de terraplén. Los terraplenes se llaman canales de intercepración en el primer texto seleccionado.

Cada paso de cada operación se describe en detalle. Algunos pasos se describen como operaciones independientes y preceden la descripción de la construcción de caminos de tierra. Las instrucciones contienen detalles tales como "Ajustar el borde superior de la cuchilla para atrás para realizar cortes".

La primera sección del texto describe los métodos correctos de controlar la cuchilla para seguir tales instrucciones. Por lo tanto este texto incluye información sobre la operación de la cuchilla de la niveladora y técnicas básicas de nivelación. Se suministra esta información como antecedente de las instrucciones sobre construcción de canales.

El quinto texto consiste en extractos de Road Maintenance Practice (Prácticas de manutención de caminos), publicado por el National Association Of Australian State Road Authorities en 1975. El primer extracto, Section 1 - Introduction (Sección 1 - Introducción) presenta antecedentes para el resto de la publicación; sugiere que el propósito de un programa de manutención es el de controlar la rapidez de deterioro de un camino. El programa debería asegurar que la utilidad del camino no caiga debajo de algún nivel mínimo que sea determinado por los recursos y política de la autoridad vial que se concierne con él. El manual mismo da un plan general de procedimientos para el correcto cumplimiento de una manutención rutinaria.

El segundo extracto, Section 4 - Drainage (Sección 4 - Drenaje) es reproducido totalmente. Incluye información sobre el mantenimiento del drenaje en superficies de cascajo y superficies no pavimentadas, las cuales se definen como las superficies que se componen de material natural que se encuentra en las capas superiores del terreno sobre el cual cruza el camino. Describe la manutención de los diferentes elementos de desagüe que se encuentran a lo largo de un camino, incluyendo (a) desagües de meseta o canales de calzada, (b) drenajes de talud o vertederos, (c) desagües laterales o canales de la base de terraplén, (d) drenajes de desviación, (e) drenajes colectores o canales interceptantes, (f) cruces inundados y vados, (g) alcantarillas, (h) puentes, e (i) drenajes de subsuelo.

El tercer extracto, Section 10 - Bridges and culverts (Sección 10 - Puentes y alcantarillas) es también reproducido totalmente. Trata la inspección y manutención de estructuras de puentes y alcantarillas. Incluye las reparaciones que requieren atención inmediata que podrían ser ejecutadas por el personal de manutención del camino. No trata sobre inspecciones detalladas ni reparaciones estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

Los textos seleccionados son seguidos por una breve bibliografía que contiene datos de referencia y abstractos para 11 publicaciones. Los primeros 5 describen los textos seleccionado. Los otros 6 describen publicaciones que se asocian íntimamente con los textos seleccionados. Aunque hay muchos artículos, informes , y libros que podrían haber sido nombrados en la bibliografía, no es el propósito de ésta contener todas las referencias posibles sobre el tema. La bibliografía contiene únicamente aquellas publicaciones de las cuales se seleccionó texto o publicaciones básicas que hubieran sido seleccionadas si no hubiera un límite al número de páginas en este compendio.

Capítulo 2

El Proceso de Evaluación Ambiental

SECCIÓN 2.1.
INTRODUCCIÓN

En este momento existe una conciencia creciente en todo el mundo del impacto ambiental en los proyectos de desarrollo rural, especialmente donde se involucra la construcción y mantenimiento de caminos rurales. En los últimos años los ambientalistas, especialistas en desarrollo y comunidades locales se han identificado con varias inquietudes relacionadas con el efecto de proyectos de caminos rurales en los ambientes sensibles, el patrón del uso de la tierra y el reasentamiento de numerosos pobladores. El impacto de un camino rural desde el punto de vista nacional o regional puede ser mínimo, sin embargo a nivel comunitario el impacto puede resultar muy significativo, afectando el ambiente adyacente. Las instituciones involucradas deben entender cómo sus actividades relacionadas con caminos puede o no afectar el ambiente y las comunidades locales. El personal de las instituciones debe prestar más atención a los pobladores a lo largo del camino, la flora y fauna, y tener la capacidad de identificar preocupaciones ambientales potenciales. Ellos mismos deben saber cuándo se necesita solicitar el apoyo de especialistas o expertos, cómo se puede mitigar un impacto ambiental negativo, y cómo se cumple con los reglamentos ambientales locales o de los donantes internacionales.

Un estudio del ambiente natural y social en donde se va a ejecutar un proyecto de caminos rurales ayudará a superar algunos de las inquietudes. Sin embargo, para llevar a cabo tal estudio, se necesita saber más alla de los aspectos técnicos de construcción y mantenimiento de caminos. Se requiere también conocimiento de los procedimientos apropiados para estudiar el ambiente y la capacidad de analizar la información recabada. El proceso que ha sido desarrollado para recabar, analizar y utilizar la información se llama ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL o EVALUACIÓN AMBIENTAL (EA). La ejecución de una EA anterior al inicio de la construcción es de suma importancia a la agencia de caminos porque el estudio ayuda a prever cualquier condición ambiental posible que pueda perjudicar el proyecto de caminos y las comunidades adyacentes. La EA también contribuirá para evitar demoras en la construcción que representará más costo, integrará mejor el proyecto con el ambiente, y generará información física, biológica y social del sitio del proyecto. En la mayoría de los países una EA es un requisito para cualquier proyecto, por lo

tanto se debe tomar en cuenta en la programación de actividades y en el presupuesto, desde el principio.

¿QUÉ ES UNA EVALUACIÓN AMBIENTAL?

Una Evaluación Ambiental es un estudio (o una evaluación) sistemática, multidisciplinaria utilizada para predecir los efectos potenciales y las consecuencias ambientales de una acción propuesta y las alternativas posibles en las características físicas, biológicas, culturales, y socioeconómicas en un lugar dado. Las acciones propuestas pueden incluir, por ejemplo, la construcción de una presa hidroeléctrica o una fábrica, la introducción de riego en una cuenca, o la construcción de un camino.

La EA se enfoca en los problemas, conflictos o limitaciones de los recursos naturales que pueden afectar la viabilidad del proyecto. La misma sirve para examinar como la acción propuesta puede dañar a los pobladores, las comunidades o su subsistencia. En base a los problemas potenciales identificados, se definen las medidas para reducir al mínimo la problemática resumiendo la manera en que se mejora la sostenibilidad del proyecto.

El objetivo de la EA es asegurar que los problemas potenciales sean identificados y tratados en la fase inicial de la planificación y diseño del proyecto. Para lograr este fin, los hallazgos de la evaluación son distribuidos a todos los grupos quienes participan en la toma de decisiones en la ejecución del proyecto propuesto. Estos grupos pueden constituirse de políticos, personal de la agencia, organizaciones ambientales, planificadores, y por supuesto, el público interesado. En la mayoría de los países se publica un informe con los hallazgos de la EA que se entrega a la agencia gubernamental correspondiente para su aprobación y para documentar el hecho de haber cumplido con los procedimientos de la EA. Este estudio puede denominarse "Estudio de los Impactos Ambientales; Exposición de Efecto en el Medio Ambiente; o solamente un Reporte de Evaluación Ambiental.

El propósito de este documento producido como resultado del estudio de la EA consiste en ayudar a las personas encargadas de la toma de decisiones para llegar a un conclusión lógica, racional en base a la información precisa, o a su vez una alternativa adecuada, o al contrario no ejecutar el proyecto. El documento también sirve para que los proponentes del proyecto logren sus objetivos con mayor éxito, como:

- Un proyecto que ha sido diseñado conforme al ámbito local será muy probable que se termine en el tiempo programado y dentro de lo presupuestado, para evitar problemas en el proceso.

- Un proyecto que conserva los recursos naturales que lo sostiene perdurará por muchos años.

- Un proyecto que alcance sus metas sin causar mayores problemas ambientales ganará méritos para sus proponentes.

Finalmente, el proceso de llevar a cabo una EA y los informes subsiguientes son herramientas para la gerencia, que los encargados de los caminos pueden y deben utilizar, para la toma de decisiones sanas y también para ganar el apoyo del público por las decisiones tomadas. El uso adecuado del proceso de la EA puede brindar muchos beneficios a la agencia caminera, así como también a las comunidades que serán afectadas por las actividades de construcción y mantenimiento del camino.

¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS DE UN PROGRAMA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL?

Un programa efectivo de EA puede brindar múltiples beneficios a la sociedad, incluyendo los siguientes (Tabla 2.1.1):

- Proporciona un grado apropiado de protección a los recursos naturales, la calidad del ambiente y la salud pública a través de una política ambiental substantiva y un proceso efectivo de una EA.

- El informe de la EA unifica en un documento público toda la información relevante sobre la acción propuesta, el estado del ambiente afectado, y los tipos de impactos ambientales potenciales que pueden resultar de la ejecución de las alternativas propuestas a la acción.

- La identificación de los recursos finitos y los impactos ambientales potenciales en la primera etapa de la planificación del proyecto promueve la selección de las alternativas más apropiadas, prevención de contaminación, y el uso de mejores prácticas de manejo y tecnología para reducir la magnitud de los impactos ambientales que resultan de la acción.

¿QUIÉNES DEBE SER INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL?

Durante todo el proceso de la EA, las inquietudes e intereses de varios grupos distintos deben ser tomados en cuenta. Estos grupos y sus esferas de intereses pueden incluir:

- El Ejecutor del Proyecto - le interesa la ubicación exacta de la acción propuesta y cómo reducir o evitar los impactos ambientales.
- Las Instituciones Gubernamentales - su intereses caen en las implicaciones de los impactos adversos de las acciones propuestas y cómo estos pueden afectar otros proyectos.
- Los que Toman las Decisiones - utilizan los resultados de la EA para tomar decisiones sabias y racionales sobre la ejecución de la acción propuesta.
- Las Autoridades Fiscales - su interés es velar que las acciones propuestas cumplan con las leyes y reglamentos locales, regionales y nacionales.
- Los Planificadores Regionales - les interesa cómo las acciones propuestas pueden afectar otros proyectos en la misma área.
- La Comunidad Local - le interesa los beneficios potenciales a la comunidad que genera la acción propuesta y cómo afectará su calidad de vida.
- Los Políticos - les interesa quiénes serán afectados, cómo y cuáles son los asuntos para preocuparse.

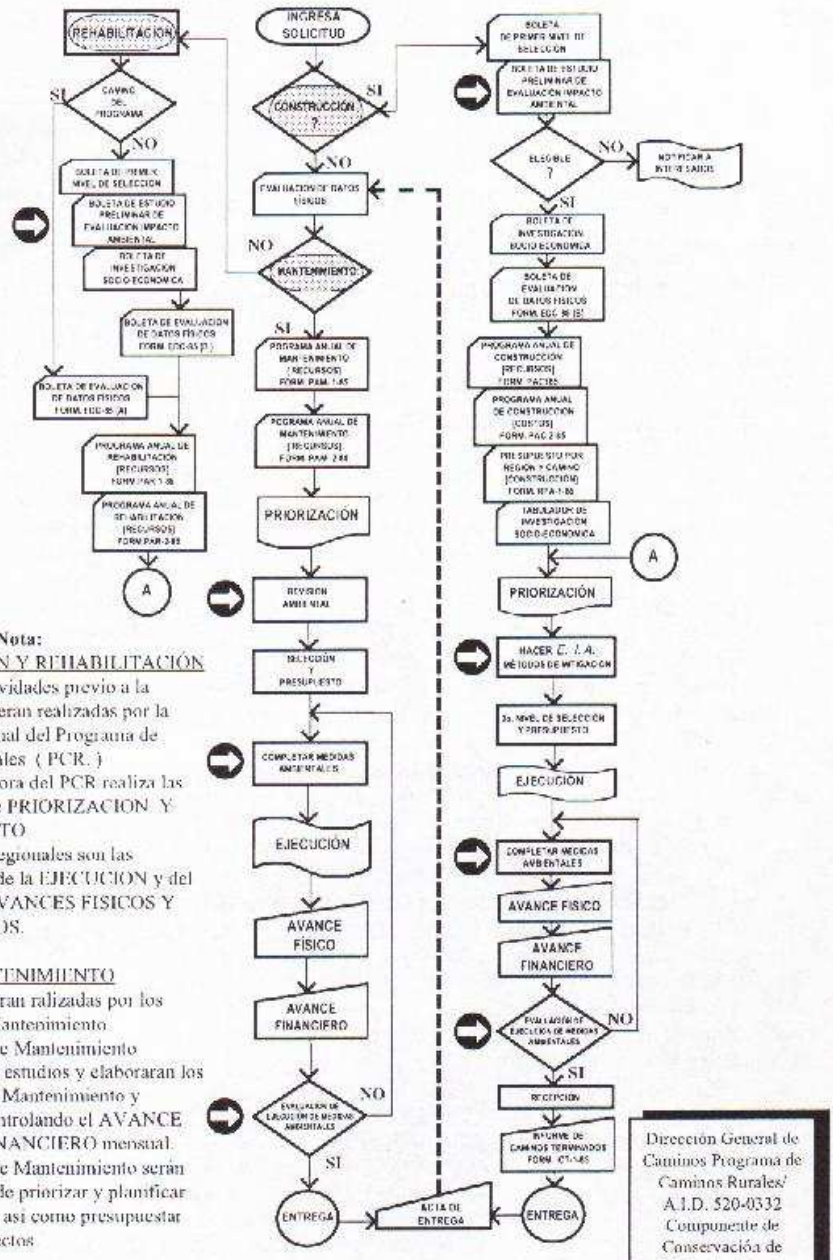
Normalmente la entidad responsable de la ejecución del proyecto o "El Ejecutor" se encarga de la EA, utilizando una metodología multidisciplinaria (detallada en la Sección 2.2). En algunos casos el ejecutor es una empresa privada; en otros un funcionario gubernamental encargado de un sector específico (ejem. transporte o agricultura).

Últimamente, los gobiernos y los donantes requieren, amparados por la ley, que los ejecutores practiquen una EA. En tales casos, el informe de la EA puede ser presentado como parte de la solicitud de permiso o para conseguir la aprobación gubernamental para la ejecución del proyecto. También, la mayoría de los ejecutores incluyen el proceso de la EA como una parte integral del

proyecto. Estos ejecutores han aprendido que los problemas ambientales frecuentemente provocan el fracaso de un proyecto y "ajustes" costosos. Por lo tanto, un buen ejecutor utiliza todas las herramientas de gerencia disponibles para asegurar lograr un proyecto exitosos a largo plazo.

EL USO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EN PROYECTOS DE CAMINOS RURALES

La EA debe formar una parte integral del proceso de planificación del desarrollo de caminos rurales. En Guatemala, la institución gubernamental encargada del desarrollo de los caminos rurales ha diseñado un proceso de evaluación y planificación que integra totalmente los procedimientos de EA. En este proceso, la EA, la revisión de los procedimientos ambientales, o las medidas de mitigación son requeridas en las diferentes etapas de la identificación, selección y ejecución de proyectos. Los requerimientos exactos de la EA dependen de las actividades específicas que se utilizarán: construcción, mantenimiento o rehabilitación. Antes de iniciar cualquiera de las actividades, se requiere practicar alguna forma de EA o revisión (Figura 2.1.1).



Nota:

1. CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN

1.1. Todas las actividades previo a la priorización serán realizadas por la oficina Regional del Programa de Caminos Rurales (PCR.)

1.2. La Coordinadora del PCR realiza las actividades de PRIORIZACION Y PRESUPUESTO

1.3. Las oficinas regionales son las responsables de la EJECUCION y del control DE AVANCES FISICOS Y FINANCIEROS.

2. MANTENIMIENTO

2.1. Estas obras serán ralizadas por los Centros de Mantenimiento

2.2. Los Centros de Mantenimiento efectuaran los estudios y elaboraran los Programas de Mantenimiento y Ejecución, controlando el AVANCE FISICO Y FINANCIERO mensual.

2.3. Los Centros de Mantenimiento serán responsables de priorizar y planificar los proyectos, así como presupuestar los gastos directos

Figura 2.1.1. Procedimiento para evaluación y planificación de los proyectos de caminos rurales.

Tabla 2.1.1. Beneficios principales de un programa de evaluación ambiental.

La Importancia de un Programa de Evaluación Ambiental

- **Establecimiento de una Política Ambiental.** Un programa efectivo de EA expresa el ánimo al nivel nacional, regional, o local para establecer una política ambiental sana y sostenible para la toma de decisiones de parte del gobierno y el sector privado.

- **Protección de los Recursos Naturales, Calidad del Ambiente, Salud Pública.** Un programa efectivo de EA sirve para identificar, de antemano, las acciones que pueden tener un efecto adverso significativo en los recursos naturales; en la calidad del ambiente local, regional, o nacional; y la salud y seguridad de los seres humanos. Al respecto, el programa de EA es una medida preventiva importante que disminuye los riesgos potenciales al bienestar del ambiente natural.

- **Divulgación Total y Abierta de Todas las Consecuencias de una Acción Propuesta.** Un programa efectivo de EA provee un mecanismo estandarizado para documentar y divulgar el espectro total de una acción propuesta. La divulgación fomenta un análisis cabal de todas las acciones que pueden afectar el ambiente natural.

- **Análisis Objetivo de Todas las Alternativas Razonables.** El núcleo del proceso de la EA es una comparación objetiva sistemática de todas las alternativas razonables para identificar la alternativa menos dañina al ambiente que cumple con el propósito y necesidad indicada de la acción propuesta.

- **Establecimiento de las Bases Uniformes Cuantitativas/Cualitativas para Identificar y Caracterizar Todos los Impactos Ambientales Relevantes.** Los pasos sistemáticos de un programa efectivo de EA provee los lineamientos técnicos relacionados con el tipo de efectos ambientales que se debe evaluar, el rango de metodología que se puede utilizar para llevar a cabo la evaluación, y las técnicas que se pueden utilizar para predecir los efectos potenciales que resultará de la acción propuesta.

- **Aplicación de las Mejores Prácticas de Manejo para Reducir al Mínimo los Impactos Inevitables.** La identificación temprana de los efectos que proviene de la acción propuesta puede promover el uso de las mejores prácticas de manejo o soluciones tecnológicas innovadoras para evitar, reducir, o mitigar impactos adversos significativos.

- **Promoción de la Participación del Público Durante Todo el Proceso de la Evaluación Ambiental.** El involucramiento del público en los talleres, reuniones, y audiencias promueve un flujo abierto de información y permite que las comunidades y los ciudadanos tomen decisiones razonadas sobre los beneficios o riesgos de una acción propuesta.

SECCIÓN 2.2.
EL EQUIPO INTERDISCIPLINARIO

Como se menciona anteriormente, el proceso de EA debe de ser interdisciplinario. Es decir, un equipo compuesto de profesionales y técnicos experimentados, representando varias disciplinas que trabajarán en conjunto para llevar a cabo el proceso. Este equipo debe contar con las disciplinas relevantes tales como física, biológica, cultural y socioeconómica, tanto como sea necesario, para evaluar completamente la acción propuesta. Un informe de EA para un proyecto para construir un camino normalmente toma en cuenta las condiciones ambientales existentes y el impacto potencial en la calidad de agua, el habitat acuático y terrestre y la vida silvestre, la calidad de aire, salubridad humana, los suelos y la presencia de erosión, los patrones del uso de la tierra, infraestructura, y recursos culturales. Una evaluación de todos estos sistemas requiere la colaboración de expertos y personas experimentadas en diversas disciplinas. En algunos casos un equipo interdisciplinario puede constituirse de un equipo "núcleo", compuesto de las personas asignadas tiempo completo, y otro equipo "no núcleo" (extraordinario), quienes prestan servicios específicos cuando se les requiere.

No existe un número "fijo" de personas para un equipo interdisciplinario, sin embargo normalmente el número es mayor de tres y puede haber hasta 5 a 7 personas, dependiendo en la magnitud de la acción propuesta y el grado de interés del público sobre la misma. Los proyectos mayores o más extensivos requieren un equipo interdisciplinario grande. Para un proyecto de caminos rurales, un equipo de 3 a 4 personas sería suficiente para practicar la EA procesar la información y producir el informe. El equipo interdisciplinario puede constituirse de los siguientes individuos:

- El Tomador de Decisiones.
- El Jefe de Equipo.
- Los Especialistas de Diversas Disciplinas (de 1 a 5).
- El Público y otras Organizaciones.

El Tomador de Decisiones - Esta es la persona quien tiene la responsabilidad de autorizar el análisis, revisar los hallazgos y elegir el plan de acción. Esta persona es normalmente un funcionario gubernamental, pero puede ser también

un individuo que pretende llevar a cabo un proyecto en su propio terreno.

El Líder del Equipo - Es la persona con la responsabilidad de manejar el equipo, supervisar las actividades de los otros miembros del equipo, y mantener a El Tomador de Decisiones informado de los alcances del mismo. Esta persona también se encarga de seguir el programa de actividades, controlar los gastos y asegurar que el análisis en el informe final se conforme con todas leyes, reglamentos y normas aplicables.

Los Especialistas - Los equipos interdisciplinarios tendrán 2 a 3 especialistas de diversas disciplinas representando los diferentes campos técnicos a analizarse. Por ejemplo, si se pretende abrir un camino desde una cabecera departamental a una comunidad rural, probablemente habrá la necesidad de contar con un ingeniero especialista en suelos, un ingeniero civil y un biólogo en el equipo. Estas personas formarán parte del "equipo núcleo". En algunos casos, en el proceso de practicar la EA podría surgir la necesidad de consultar un arqueólogo. Esta persona formará parte del "equipo no núcleo" y prestará sus servicios cuando sea necesario.

El Público y otras Organizaciones - Aunque no serán miembros activos del equipo interdisciplinario, estas personas e instituciones forman una parte integral de cualquier proceso de una EA. La opinión pública debe tomarse en cuenta en la toma de decisiones sobre las acciones propuestas. Las organizaciones pueden jugar un papel clave en el proceso, apoyando el proyecto.

SECCIÓN 2.3.
EL PROCESO DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Una Evaluación Ambiental para un proyecto de caminos puede llevarse a cabo al nivel de Programa o de Proyecto. Una Ea al nivel de Programa, que puede llamarse una EA Programática, Genérica, Estratégica o Sectorial, se hace para los proyectos cuyos asuntos son amplios en su enfoque, el sitio del proyecto es extensivo y, cuando se necesita información generalizada. Por ejemplo, se puede utilizar este tipo de EA para:

- Formular normas ambientales generalizadas para un proyecto.
- Formular planes sectoriales tales como un plan estratégico para el transporte nacional o regional.
- Formular conceptos y estrategias ambientales en el proceso de planificación del sistema de transporte.

Una EA al nivel Proyecto, que se llama una EA de Proyecto o Especifica al Sitio, se hace cuando se necesita información más detallada sobre los impactos específicos y es necesario mitigarlos. Una EA Específica al Sitio es el tipo más comúnmente hecha por los técnicos comarcales o regionales de caminos. Se debe hacer este tipo de EA por cada camino o sistema de caminos a construirse.

El proceso para llevarse a cabo una EA consiste de un determinado número de pasos, cada uno de los cuales debe de tener un determinado resultado. Alrededor del mundo se han formulado y utilizado diversos procesos o metodologías para practicar una EA, sin embargo, ninguno es perfecto ni produce resultados exactos para una situación dada. El proceso de siete pasos presentado en esta sección es una síntesis de varias metodologías que se pueden utilizar en la mayoría de los proyectos de caminos rurales (Tabla 2.3.1):

1. Identificación del Proyecto
2. Diagnóstico
3. Recolección e Interpretación de Datos
4. Diseño de las Alternativas
5. Evaluación de los Efectos
6. Comparación de las Alternativas
7. Implementación y Seguimiento

1. Identificación del Proyecto - Este paso es para identificar claramente el objetivo del proyecto, las necesidades y las metas. El objetivo y la necesidad del proyecto es la justificación para llevar a cabo la actividad. Un perfil preciso del objetivo y la actividad proveen la perspectiva necesaria para evaluar las diferentes alternativas. Sin contar con un objetivo y una necesidad claramente justificada y documentada, un proyecto no debe de concretarse. Para definir el objetivo, necesidad y meta de un proyecto, se requiere responder a estas cinco preguntas básicas: ¿Quién? ¿Qué? ¿Cuándo? ¿Dónde? y ¿Por qué?

2. Diagnóstico - Este es uno de los pasos avanzados de la EA donde se definen los parámetros del análisis incluyendo los asuntos y oportunidades relevantes a la acción propuesta, identificando los asuntos y oportunidades más importantes a tratarse por el equipo interdisciplinario y dejando a un lado los de poca importancia. Este proceso se comienza con la identificación del público interesado, solicitando su participación en reuniones abiertas para tratar los asuntos y buscar alternativas.

3. Recolección e Interpretación de Datos - En esta etapa el equipo interdisciplinario comienza a recabar información que se utiliza para formular alternativas. Antes de comenzar a recabar información directamente, se debe averiguar si ya existen datos pertinentes que puedan ser útiles. Por ejemplo, si un estudio de suelos recién hecho está disponible, se debe usar, aprovechando el tiempo para obtener información actualizada de las condiciones ambientales del área de estudio.

4. Diseño de las Alternativas - Con la información acumulada en el paso anterior, el equipo comienza a interpretarla, considerando los asuntos y las oportunidades identificadas. Usando los parámetros ya definidos el equipo puede formular algunas soluciones y desarrollar planes de acción para lograr las metas, "Diseñando las Alternativas". Las alternativas son las diferentes maneras para alcanzar los objetivos de la acción propuesta para llenar las necesidades identificadas. La objetividad en la identificación, descripción, evaluación, y comparación de las alternativas para alcanzar las metas de la acción propuesta es crucial en el proceso de practicar una EA. Sin el elemento de objetividad y un análisis concienzudo, el proceso de la EA viene siendo un simple ejercicio para confirmar una decisión ya tomada y la EA pierde su valor como una herramienta para la toma de decisiones El equipo debe de formular y

considerar una amplia gama de alternativas para cumplir con la acción propuesta. El numero de alternativas generalmente depende de la complejidad de los asuntos involucrados, sin embargo, debe haber por lo menos tres alternativas cuando sea posible. Estas alternativas deben incluir: 1) la alternativa de la acción propuesta, y 2) la alternativa de no acción. Para calificar, la alternativa debe cumplir con los siguientes criterios: primero, ser consistente con el objetivo del proyecto; segundo, tratar a uno o más de los asuntos claves y; tercero, ser realista. También, en este paso se definen y analizan las medidas de mitigación posibles para cada una de las alternativas.

5. Evaluación de los Efectos - En esta etapa del proceso de la EA, todavía no está claro cuáles de las alternativas es la más indicada para una acción dada. Por lo tanto, se requiere que el equipo interdisciplinario estudie cada una de las alternativas para predecir, con la mayor exactitud posible, los efectos negativos y positivos que tendrán la ejecución de la alternativa y las medidas de mitigación. Hay tres clases de efectos que se deben predecir y describir en el análisis: Efectos Directos, Efectos Indirectos, y Efectos Cumulativos.

- Efectos Directos - son los que ocurren al mismo tiempo y en el mismo lugar de la ejecución de la alternativa
- Efectos Indirectos - son los que ocurren más tarde o a una distancia del lugar de la ejecución de la alternativa.
- Efectos Cumulativos - son los que ocurren cuando un efecto directo o indirecto de la ejecución de una alternativa se combina con otros efectos, pasado, presente o futuro, incrementando su impacto global en el ambiente o comunidad.

6. Comparación de las Alternativas - No existe un método fijo o definido para este paso del proceso, sin embargo, uno que se utiliza frecuentemente, consiste de que el equipo establece unos criterios objetivos para evaluar las alternativas con base de los asuntos claves y las oportunidades identificadas hasta este punto. Los datos de cada alternativa se comparan utilizando este criterio para determinar cuál de las alternativas parece mejor.

7. Implementación y Seguimiento - La ejecución del proyecto comienza cuando El Tomador de Decisiones escoge la alternativa. Antes de tomar la decisión definitiva, El Tomador de Decisiones analiza la EA para seleccionar la

mejor opción que reúne los objetivos del proyecto y cubre las necesidades y al mismo tiempo protege la integridad del ambiente a largo plazo. Una vez que se ha iniciado la ejecución, será necesario llevar a cabo el seguimiento de las actividades del proyecto para asegurar que la ejecución se hace conforme con las normas y las medidas de mitigación como definido en el proceso de la EA.

La responsabilidad de ejercer el seguimiento cae en la persona del ejecutor y en el caso de la construcción de un camino, será el constructor o una institución gubernamental. El trabajo en sí debe de ser practicado por un especialista del equipo, quien posee el conocimiento técnico de los recursos y las actividades involucradas en el proyecto. Se debe formular un plan de seguimiento para guiar las actividades del especialista y para documentar lo mismo.

El objetivo del seguimiento es practicar una evaluación dinámica del desarrollo del proyecto para responder a las siguientes inquietudes:

- ¿El proyecto está logrando sus metas?
- ¿Cuáles son los efectos ambientales actuales del proyecto?
- ¿Hay algunos efectos ambientales ocurriendo en la ejecución que no fueron previstos?
- ¿Hay algunos asuntos públicos nuevos o relevantes?
- ¿Cuáles son las opciones, si ocurre un efecto negativo?

Como parte del proceso del seguimiento, el ejecutor del proyecto debe evaluar la efectividad de la medidas de mitigación. También en el transcurso de la ejecución se pueden detectar situaciones tales como una amenaza a una especie de fauna en peligro y su habitat, o una amenaza a un recurso cultural no contemplado en el análisis original. Así, unas medidas de mitigación pueden agregarse o enmendarse para asegurar la protección de estos recursos. Un seguimiento adecuado forma una parte vital del proceso de una EA y no debe de pasar por alto.

Tabla 2.3.1. Un proceso de evaluación ambiental de siete pasos y los resultados asociados.

Paso	Resultado
1. Identificación del Proyecto	• Identifica el propósito y necesidad de la acción propuesta. • Formula las metas para proveer los parámetros de trabajo de la EA.
2. Diagnóstico	• Identificación de los asuntos, oportunidades, y efectos de implementación de la acción propuesta.
3. Recolección e Interpretación de Datos	• Colección de data. • Identificación de los efectos probables de la implementación del proyecto .
4. Diseño de las Alternativas	• Un rango razonable de alternativas debe considerarse. Usualmente un mínimo de tres alternativas. • Debe incluir Alternativa de No Acción. • Consideración de la mitigación de impactos negativos.
5. Evaluación de los Efectos	• Predice y describe los efectos físicos, biológicos, económicos y sociales de la implementación de cada alternativa. • Se refiere a los tipos de efectos, Directo, Indirecto y Cumulativo.
6. Comparación de las Alternativas	• Mide los efectos predichos de cada alternativa contra los criterios de evaluación.
7. Implementación y Seguimiento	• Documenta los resultados. • Alternativa escogida implementada. • Formulación del plan de seguimiento.

SECCIÓN 2.4.
EL REPORTE DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

No existe un formato "fijo" o exacto para la preparación de un informe de EA. El formato de los informes usualmente sigue los lineamientos de las leyes o reglamentos específicos que requiere la EA. En la mayoría de los casos, el oficial de un proyecto de caminos tendrá que cumplir con las leyes ambientales del país donde se llevará a cabo el proyecto y en algunas instancias según manda la organización donante tales como las Naciones Unidas, Banco Interamericano de Desarrollo, Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. Se utiliza el formato que exigen las organizaciones donantes y si no se especifican entonces la agencia caminera puede elaborar su propio formato que llene sus necesidades. La Tabla 2.4.1 presenta el contenido de un informe de una EA generalizado EA con base de los reglamentos de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos.

Sea lo que sea, el formato utilizado para un informe de una EA, debe incluir suficiente información para:

- Ayudar a El Tomador de Decisiones del proyecto a hacer una decisión lógica, racional para seguir o parar el proyecto.
- Definir la acción propuesta y alternativas de la acción.
- Definir el ambiente que puede ser afectado.
- Definir acciones de mitigación para proteger el ambiente.

Es muy importante que el autor aprecie que los informes de una EA no tienen que ser difusivos, complicados o difícil para entender. De hecho, según los reglamentos de las leyes ambientales estadounidenses especifican que los informes de EA "serán redactados en un lenguaje sencillo y puede emplear gráficas adecuadas para que los tomadores de decisiones y el público puedan entenderlos fácilmente (40 CFR 1500-1508, §1502.7). También, dependiendo de la ley que rige las actividades de la agencia caminera, podría haber reglas específicas que limita el tamaño del documento. Por lo general, un informe de una EA debe ser suficientemente comprensivo para divulgar la información

pertinente. Para los proyectos de caminos rurales la mayoría de los informes no excederán unas 20 páginas. En algunos casos en los EE.UU., los tribunales han rechazados las EA por su volumen y el uso de lenguaje burocrático casi imposible de entender. Un ejemplo del contenido de un informe de una EA para un proyecto de un camino rural en el altiplano de Guatemala se presenta en la Tabla 2.4.2. En algunos casos, especialmente para el mantenimiento de caminos rurales o proyectos de restauración, no sería necesario hacer todo el proceso de una EA para definir la medidas de mitigación requeridas. En el caso del programa de Caminos de Acceso Rural del gobierno de Guatemala se utilizan solamente un "Plan de Mejoramiento de Camino Rural" simplificado, para identificar los problemas ambientales a lo largo de un camino rural existente, definir las medidas de mitigación de los mismos, y luego dándole seguimiento, la ejecución del proyecto (Tabla 2.4.3). Se puede combinar este plan con lo indicado en la Tabla 11.3.3 "Plan General de Control de Erosión y Revegetación" si se quiere.

Tabla 2.4.1. Ejemplo de los contenidos de un reporte de evaluación ambiental.

La Evaluación de Impacto Ambiental Deberá Incluir los Siguientes Elementos, Según Apropiado

I. Resumen
- Se hará énfasis en, 1) las principales conclusiones, 2) las áreas de controversia, 3) los asuntos que deben ser resueltos

II. Propósito
- Brevemente especificar el propósito fundamental y la necesidad en la cual Agencia está respondiendo

III. Opciones Que Incluyan la Acción Propuesta
- Deberá presentar los efectos ambientales que tenga la acción propuesta y sus alternativas en una forma comparativa
- Deberá explorar y evaluar las alternativas razonables y discutir las alternativas que fueron eliminadas
- Deberá prestar suficiente atención a cada alternativa considerada en detalle e incluir la acción propuesta
- Deberá incluir la alternativa de no tomar ninguna acción
- Deberá identificar la alternativa o alternativas preferidas por la Agencia
- Deberá incluir las medidas apropiadas de mitigación

IV. Medio Ambiente Afectado
- Deberá describir el medio ambiente del área(s) a ser afectada por la alternativa propuesta

V. Consecuencias en el Medio Ambiente
- Deberá incluir:
  1) los impactos ambientales de las alternativas incluyendo la alternativa propuesta
  2) cualquier efecto adverso que no pueda ser evitado, de llevarse a cabo la acción propuesta
  3) la relación entre el uso del ambiente a corto plazo y el mantenimiento y mejora de la productividad a largo plazo
  4) cualquier compromiso de recursos que sea definitivo e irrecuperable de llevarse a cabo la acción propuesta

VI. Lista de las Personas Responsables y Preparadoras del Estudio
- Deberá dar los nombres y capacitaciones de las personas principales responsables de la preparación de la Evaluación Ambiental o de los documentos importantes que sirvan de base

VII. Apéndices

Nota: Para ver en más detalle lo que se debe incluir en la Evaluación Ambiental y entender más los reglamentos deberá estudiar los Procedimientos Sobre el Medio Ambiente de AID para Implementar la Ley Nacional de Política Ambiental de 1969, Código 22, Parte 216, documento adjunto a ésta información.

Tabla 2.4.2. Ejemplo de los contenidos de un reporte de evaluación ambiental hecho por El Programa de Caminos Rurales, Guatemala.

Contenido

1. Introducción
2. Localización y Alternativas
3. Metodología de Evaluación
   - 3.1 Identificación de Impactos
   - 3.2 Magnitud e Interpretación de Impactos
4. Descripción del Proyecto
5. Descripción del Tramo Actual
6. Características del Área de Impacto
   - 6.1 Extensión
   - 6.2 Fisiografía y Origen de los Suelos
   - 6.3 Susceptibilidad a Erosión
   - 6.4 Zonas de Vida Vegetal
   - 6.5 Clima
   - 6.6 Hidrología
   - 6.7 Suelos
   - 6.8 Población
7. Resultados de la Evaluación
   - 7.1 Identificación Causa - Efecto
   - 7.2 Cálculo de los Efectos y Magnitud de los Impactos
     - 7.2.1 Preparación del Sitio
       - 7.2.1.1 Impactos
       - 7.2.1.2 Mitigación
     - 7.2.2 Construcción
       - 7.2.2.1 Impactos
       - 7.2.2.2 Mitigación
     - 7.2.3 Operación y Mantenimiento
       - 7.2.3.1 Impactos
       - 7.2.3.2 Mitigación
     - 7.2.4 Actividades Relacionadas
8. Conclusión
9. Recomendaciones

Bibliografía

ANEXOS

1. Matriz de los Impactos Identificados
2. Lista de Personas Consultadas

LISTA DE TABLAS

1. Porcentajes por clases agrológicas
2. Caminos rurales en el área del proyecto

LISTA DE FIGURAS

1. Localización general del proyecto
2. Localización específica del proyecto

Tabla 2.4.3. Plan de mejoramiento de un camino rural.

Contenido
Nombre del Camino: _____ Localización: _____ Año Construido: _____ Fecha de Mantenimiento: _____ **A. Propósito y objetivos del mejoramiento del camino vecinal** **B. Descripción del área** 1. Localización general 2. Principales drenajes y fuentes de agua (tributarios mayores) 3. Topografía, incluyendo pendiente y aspecto 4. Vegetación y hojarasca, que incluya el porcentaje del manto vegetal y el tipo de vegetación 5. Información sobre suelos, que incluya profundidad y textura, clasificación, etc. porcentaje de material orgánico, susceptibilidad a la erosión y potencial de productividad 6. Clima y Micro clima **C. Descripción del Problema** 1. Causas de deterioro del camino 2. Clases de problemas **D. Diseño del proyecto** 1. Diseño para resolver el problema (puede incluir fotografías y dibujos) **E. Necesidades de equipo y personal**

Tabla 2.4.3. Plan de mejoramiento de un camino rural (continuación).

Contenido
F. Monitoreo 1. Durante el proyecto de mejoramiento 2. Después del proyecto de mejoramiento **G. Fotografías** 1. Fotografías que muestran las condiciones actuales del área 2. Establezca y describa puntos fijos, haga en ellos fotografías para hacer comparaciones antes y después del proyecto **H. Mapas** 1. Mapa de localización (a pequeña escala) 2. Mapa del área del proyecto (a gran escala) que muestre la localización de controles específicos, cercos y otras actividades **Nota: Usar la siguiente hoja de campo para recoleccionar datos sobre tramos o estaciones específicos de un camino.**

Tabla 2.4.3. Plan de mejoramiento de un camino rural (continuación).

Hoja de Campo de Identificación de Problemas Ambientales

Nombre del Camino: _____ Fecha: _____

Estación: _____

Problemas: _____

_____

_____

_____

Aspectos Buenos: _____

_____

_____

_____

Discusión: _____

_____

_____

_____

Soluciones: _____

_____

_____

_____

Materiales Necesarios: _____

SECCIÓN 2.5.
LEYES Y REGLAMENTOS AMBIENTALES

Como se ha mencionado anteriormente, el Proceso y Formato de la EA debe realizarse conforme a las normas y reglamentos del país donde se lleva a cabo el proyecto y con los requerimientos del donante que brinda el apoyo económico al proyecto. En América Latina la mayoría de las leyes ambientales que requiere una EA representa legislación reciente, y en muchos de los países, los reglamentos para su ejecución no han sido formulados todavía. Las leyes ambientales de América Latina y otros países del mundo están basadas en la Ley Nacional de Política Ambiental de 1969 de los Estados Unidos. Las secciones subsiguientes presentan al lector una breve explicación de los puntos más importantes de esta ley.

LEYES Y REGLAMENTOS AMBIENTALES DE EE.UU. Y AID

En los Estados Unidos, las leyes y reglamentos que requiere un análisis ambiental están en vigor desde el final de 1969 cuando se ratificó la Ley Nacional de Política Ambiental. Esta fue una de las primeras leyes en el mundo que exigió que se practicara el proceso de una EA para los proyectos que "podría significativamente afectar el ambiente". Después de la aprobación de esta ley, ciertos reglamentos para actividades domésticas, así como internacionales, han sido formuladas, y otras leyes ambientales o reglamentos también han sido promulgados (Tabla 2.5.1).

Cuando se utilizan fondos del gobierno de EE.UU. para financiar un proyecto que "podría significativamente afectar el ambiente" se requiere que se practique el proceso de una EA para determinar si se puede o debe ejecutar la acción propuesta. Por lo tanto, esta ley no sólo es aplicable a los programas domésticos, sino también a los de asistencia extranjera apoyados por el gobierno de los EE.UU. Sin embargo, los reglamentos que rigen esta ley varían para los países extranjeros. Estos reglamentos se encuentran en los Apéndices.

¿QUÉ Y CUÁLES SON LOS PROPÓSITOS Y LAS POLÍTICAS DE LA LEY NACIONAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE 1969?

La Ley Nacional de Política Ambiental es el papel básico nacional para asegurar la protección ambiental. Este ley establece políticas, metas (sección 101) y provee los medios (sección 102) para la implementación de la Política. Sección 102(2) tiene previsiones para asegurar que las agencias federales sigan la intención y el espíritu de ésta ley. Los reglamentos de la ley están implementados en la sección 102(2). El propósito de los reglamentos es decir a las agencias federales lo que tienen que hacer para obedecer los procedimiento y lograr las metas de la ley.

Los Propósitos de esta Ley son (Sección 2):

1. Declarar una política nacional para fomentar armonía productiva entre el hombre y su medio ambiente.

2. Promover esfuerzos que prevendrán o eliminarán daños al medio ambiente y la biósfera y estimular la salud y el bienestar del hombre.

3. Enriquecer el entendimiento de los sistemas ecológicos y de los recursos naturales que son tan importantes para el país.

4. Establecer una Junta de Calidad de Ambiente.

La Política de esta Ley declara que es necesario usar todas las metas posibles para crear y mantener condiciones donde el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía productiva y llenar los requisitos sociales, económicos, etc., para la presente y futuras generaciones. Para llenar esta política el Gobierno Federal tiene la responsabilidad de:

1. Garantizar a cada generación un ambiente seguro, saludable, productivo y agradable estéticamente y culturalmente

2. Lograr un rango de usos beneficiosos del medio ambiente sin degradación, riesgo a la salud, seguridad u otras consecuencias no deseables.

3. Preservar los aspectos históricos, culturales, y naturales del patrimonio nacional y cuando sea posible mantener un ambiente que apoye la diversidad y una variedad de opciones individuales.

4. Lograr un balance entre la población humana y el uso de los recursos que permitirá un alto nivel de vida.

5. Aumentar la calidad de los recursos naturales y obtener al máximo el reciclaje de los recursos agotables.

¿QUÉ Y CUÁLES SON LOS MEDIOS PARA IMPLEMENTAR LA LEY NACIONAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE 1969?

En la Sección 102(2) se encuentran los medios para implementar ésta ley. Los más importantes para lograr los objetivos de los proyectos de AID son:

1. Utilizar un sistema organizado e interdisciplinario en la planificación y el proceso de toma de decisiones que puedan tener un impacto en el ambiente.

2. Identificar y desarrollar metas y procedimientos que asegurarán que las medidas y valores ambientales sean considerados en el proceso de la toma de decisiones junto con los económicos y técnicos.

3. Incluir en cada recomendación o reporte sobre propuestas para la legislación u otra acción mayor del Gobierno Federal que afecte significativamente la calidad del ambiente humano un reporte detallado sobre:

   A. El impacto ambiental de la acción propuesta.

   B. Cualquier efecto adverso sobre el ambiente que no pueda ser evitado si la propuesta es implementada.

   C. Alternativas a la acción propuesta.

   D. La relación entre los usos locales a corto plazo del ambiente y el mantenimiento y aumento de la productividad a largo plazo.

   E. Cualquier compromiso irreversible e irrecuperable de los recursos que estarán involucrados en la acción propuesta si la propuesta es implementada.

4. Estudiar, desarrollar, y definir alternativas apropiadas a la acción recomendada.

5. Iniciar y utilizar información ecológica en la planificación y desarrollo de los proyectos.

¿CUÁL ES LA RESPONSABILIDAD Y POLÍTICA DE AID EN RELACIÓN CON LA LEY NACIONAL DE POLÍTICA AMBIENTAL?

Como agencia del Gobierno Federal de EE.UU., AID tiene que seguir la intención y el espíritu de la Ley Nacional de Política Ambiental. Todos los proyectos que son apoyados con financiamiento de AID y que pueden tener un efecto significativo sobre el medio ambiente tienen que llenar los reglamentos de esta ley. Como cualquier agencia federal, AID tiene la responsabilidad de desarrollar e implementar sus propios reglamentos. Estos reglamentos (Código 22 Parte 216, Procedimientos Sobre el Medio Ambiente) define todos los procedimientos que un proyecto de AID tiene que seguir para cumplir con ésta Ley y sus Reglamentos. Sección 216.1(b) define la política del Medio Ambiente de estos reglamentos.

Las políticas más importantes de este reglamento son:

1. Asegurar que AID y el país anfitrión identifiquen y consideren las consecuencias . Esto deberá hacerse antes de tomar la decisión de proseguir con las actividades para adoptar las medidas adecuadas que protejan el medio ambiente.

2. Ayudar a los países en vías de desarrollo a fortalecer su capacidad para que puedan apreciar y evaluar, en una forma efectiva, las posibles consecuencias que pudieran tener en el medio ambiente las estrategias y los proyectos de desarrollo propuestos; así como seleccionar, llevar a cabo y dirigir programas que sean efectivos para el medio ambiente.

3. Identificar los efectos en el medio ambiente que sean resultado de las acciones de AID, lo cual incluye aquellos aspectos de la biósfera que son patrimonio común de toda la humanidad.

4. Definir los factores ambientales que limitan el desarrollo e identificar y llevar a cabo las actividades que ayuden a restablecer la base renovable de los recursos, de la cual depende el desarrollo sostenido.

¿CUÁL ES LA RESPONSABILIDAD DE UN PROYECTO QUE RECIBE FINANCIAMIENTO DE AID EN RELACIÓN CON LA LEY NACIONAL DE POLÍTICA AMBIENTAL?

Cada proyecto que recibe financiamiento de AID y que puede tener efectos significativos en el ambiente tiene la responsabilidad de seguir esta ley y completar un EA. En el caso, de no cumplirse con este reglamento, el financiamiento de AID puede ser suspendido.

Tabla 2.5.1. Lista de algunas leyes y reglamentos importantes que se aplican a proyectos que reciben financiamiento de AID.

Historia de las Leyes y Reglamentos Ambientales de Los EEUU y de AID

- NEPA o el "Ley Nacional de Politica Ambiental de 1969" [Ley Pública 91-190, 42 U.S.C. 4321-4347, 1 de enero de 1970] , enmendada por Ley Pública 94-52, 3 de julio de 1975 y Ley Pública 94-83, 9 de agosto de 1975.

  (NEPA or the "National Environmental Policy Act of 1969" [Public Law 91-190, 42 U.S.C. 4321-4347, January 1, 1970], as amended by Public Law 94-52, July 3, 1975 and Public Law 94-83, August 9, 1975)

- Orden Ejecutiva #12114 emitida el 4 de enero de 1979, titulada Efectos en el Medio Ambiente de otros Países que Tienen las Principales Acciones del Gobierno de los Estados Unidos

  (Executive Order 12114 issued 4 January 1979, entitled Environmental Effects Abroad of Major Federal Actions)

- Secciones 118 (b) y 621 de la Ley de Ayuda al Exterior y sus enmiendas

  (Sections 118(b) and 621 of the Foreign Assistance Act of 1961, as amended)

- Reglamentos del Gobierno de los EEUU para Implementar los Procedimientos provisionales de la Ley Nacional de Politica Ambiental de 1969, 40 CFR Partes 1500-1508

  (US Government Regulations for Implementing the Procedural Provisions of the National Environmental Policy Act of 1969, 40 CFR Parts 1500-1508)

- Procedimientos Sobre el Medio Ambiente de AID para Implementar la Ley Nacional de Politica Ambiental de 1969, Código 22, Parte 216

  (AID Environmental Procedures to Implement the National Environmental Policy Act of 1969, 22 CFR, Part 216)

Foto 2-1. Autoridades guatemaltecas llevando acabo un estudio ambiental. Ejemplos de prácticas de conservación de suelo en el fondo. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 2-2. Oficiales de USAID discutiendo con los vecinos de la zona los asuntos claves en la construcción de caminos. Quiché, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 2-3. El autor, G. Keller impartiendo un curso en el programa de capacitación continua para técnicos del Programa de Caminos Rurales. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 2-4. Un vivero del servicio forestal guatemalteco, una de las fuentes artificiales de material vegetativo para proteger el suelo y el camino. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

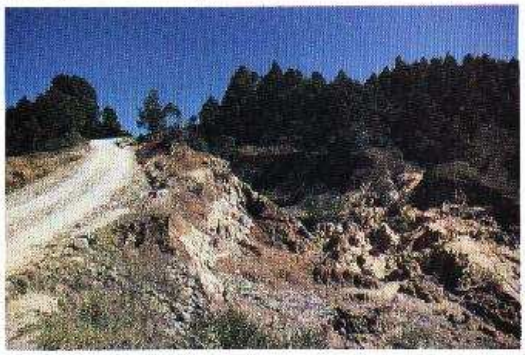


Foto 2-5. Un ejemplo de un camino donde no se utilizaron técnicas apropiadas para mantener el camino ni proteger los suelos adyacentes. Quetzaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 2-6. Un ejemplo de un camino rural bien diseñado, construido y mantenido con evidencia de técnicas de protección vegetativa. Chimaltenango, Guatemala (Foto G. Bauer)

Capítulo 3

Consideraciones de Diseño y Mantenimiento Básico de Caminos Rurales

SECCIÓN 3.1.
INTRODUCCIÓN

Este capítulo discute brevemente el proceso de preconstrucción de caminos, incluyendo planeación, localización, levantamientos y diseño, así como también la construcción y mantenimiento de caminos rurales, tomando en cuenta algunos aspectos geográficos, así como el cierre temporal de caminos, cuando ya no son necesarios y se mencionan aspectos básicos del trabajo de caminos.

Algunos criterios específicos, de diseño geométrico, así como curvas verticales y horizontales, distancia visual, criterio para ampliación de curvas, etc. no se incluyen en el presente documento, pero están disponibles en otras fuentes de información. El diseño geométrico para caminos rurales, así como una descripción completa del proceso de diseño, se puede obtener en textos de referencia como USDA-Forest Service Road Preconstruction Handbook, FSH 7709.56, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Geometric Design Standards, manuales como "Construcción de Carreteras" por Ing. Amando Vides Tobar y el "Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Alcantarillas y Puentes", por SIECA (refiérase a la bibliografía para una lista completa de estas referencias). La mayoría de libros de texto sobre estándares de ingeniería de caminos versan sobre diseño de caminos de altas normas, mientras que el manual USDA-Forest Service mencionado anteriormente, así como la información que se presenta en este manual, se refiere a caminos de bajo volumen con estándares mínimos.

La planeación y diseño de caminos implica el concepto de examinar soluciones alternas y desarrollo de un sistema de caminos con normas apropiadas para el uso que se les dará. Al aumentar las normas requeridas para un camino aumentan los costos y el impacto ambiental del mismo. Una buena planificación de transporte con reconocimiento de campo, es decisiva para evitar áreas problemáticas, como derrumbes o zonas húmedas, reducir al mínimo el número de cruce de arroyos y drenajes, y prevenir opciones costosas e innecesarias. Una onza de buena planeación puede ahorrar una libra de costos de reparación y mantenimiento, así como evitar impactos ambientales adversos.

Un sistema de transporte bien planificado, asegura que el sistema de caminos puede ser construido para llenar las necesidades actuales y futuras de las personas y del área que sirve, con el más bajo costo. Ayuda a eliminar

caminos construidos con demasiada tecnología, los cuales tienen altos costos de mantenimiento, elimina las inconsistencias y los embotellamientos en un sistema de transporte, y promueve un camino que satisface las necesidades del usuario, al mismo tiempo que reduce al mínimo los costos e impactos ambientales.

Un camino individual o un sistema de caminos, deberá ser localizado en el mejor lugar para satisfacer las necesidades de un área o mejorar el acceso a determinado lugar; utilizar las normas mínimas apropiadas de diseño que reflejen aspectos de drenaje y control de erosión para reducir al mínimo los impactos ambientales adversos del camino; el camino debe ser construido de acuerdo a las normas y especificaciones de diseño utilizando un razonable control de construcción, y finalmente debe recibir mantenimiento periódico, reparaciones, limpieza de cunetas y alcantarillas, nivelación de la superficie del mismo, etc.

El Suplemento 3-1 presenta "Los Diez Mandamientos del Diseño de un Camino". Estos mandamientos enmarcan los aspectos más importantes de planeación, diseño y mantenimiento de un camino. Enfatizan el uso de normas y criterios apropiados para diseño y buenos drenajes, el uso de buenos materiales que sean apropiados para compactación, preparación de la subrasante, y la importancia de mantenimiento frecuente.

En resumen, es importante hacer énfasis en que un camino debe ser construido con las normas mínimas necesarias. Un camino necesita el nivel de normas suficientes para satisfacer el uso que se le dará, pero si se utilizan normas más altas, será más caro de construir y mantener y al mismo tiempo su impacto ambiental será mayor. Trate de reducir al mínimo el área afectada. Un camino de normas bajas no necesita ser construido tan suave o tan bonito, que pueda tener un costo más alto o que cause impactos adicionales. Las superficies ásperas reducen la velocidad del agua y por lo tanto el potencial de erosión.

SECCIÓN 3.2.
PLANEACIÓN Y LOCALIZACIÓN

Una localización bien planeada y bien pensada permitirá que un camino sea trazado fácilmente en la tierra, reduciendo al mínimo el trabajo de movimiento de tierras, lo cual generalmente reduce el impacto ambiental. Las actividades de preconstrucción para planeamiento y localización de caminos involucran trabajos como los siguientes:

- Determinar las necesidades del camino y los objetivos y prioridades del proyecto.
- Determinar el vehículo de diseño, o tipo de vehículos y la cantidad de tráfico que usará el camino.
- Relacionarse con agencias y comunidades locales para determinar el sistema de transporte necesario, tanto el actual, como en el futuro, cómo financiarlo y cómo mantenerlo.
- Evaluar cómo un camino individual cabe dentro de un sistema de transporte regional de caminos rurales (o terciarios), caminos principales y carreteras.
- Identificar las preocupaciones referentes a los recursos de la zona y tomar medidas de reducción necesarias para la vida silvestre, arqueología, suelos y agua, minerales, recreación, estética, etc.
- Asegurarse de que los estudios ambientales necesarios estén siendo llevados a cabo y que los documentos ambientales requeridos sean completados y aprobados.
- Ubicar las rutas alternas y revisar los lineamientos alternos locales para evitar zonas problemáticas y limitarlos a áreas con mínimos costos de construcción y con mínimo impacto
- Recopilar mapas topográficos, geológicos y de suelos de la zona de estudio, fotos aéreas, información hidrológica, estado de la tenencia de tierras y otra información de la zona.
- Determinar el método de agrimensura anticipado y las normas de exactitud, métodos de diseño y de construcción.

La Figura 3.2.1 muestra un sistema de transporte que debe ser desarrollado para servir en forma ideal una zona. Los caminos locales pueden llegar a aldeas, comunidades o fincas, campamentos madereros o proyectos individuales. Los caminos pueden ser de normas mínimas, de un carril o de terracería. Entonces algunos caminos locales se intersectan a una vía secundaria de normas regulares; esta vía secundaria puede ser de un carril ancho o de anchura mínima de doble carril, nivelado y revestido, utilizando material local o grava. Las vías secundarias eventualmente llegan a una arteria principal o carretera, que son típicamente de dos carriles anchos con revestimiento de grava o pavimentados.

La densidad de los caminos varía dependiendo de su uso (método de explotación forestal) y del desarrollo de los recursos en una zona dada; deberá ser reducida al mínimo debido al costo, a la cantidad de tierra que saca de producción, y a los impactos ambientales adicionales. En las áreas rurales un camino puede llegar a un solo destino, como un pueblo, o una serie de caminos pueden estar a varios kilómetros de distancia entre sí para proveer puntos de acceso a una región agrícola. Para el manejo de bosques, una red de caminos relativamente densa puede ser construida conjuntamente con caminos temporales y brechas, para tener acceso a la mayoría del terreno. La densidad de caminos y brechas dependerá del método de explotación forestal.

Además, en cuanto al análisis ambiental, una forma muy buena de decir que un camino cumple con sus metas consiste en desarrollar un "Directorio de los Objetivos del Camino".

Una vez definido y documentado este Directorio, se describe quién manejará el camino, cómo el camino va a ser usado, las limitaciones de los caminos estándares, la frecuencia del mantenimiento, etc. Estos objetivos deben definir factores tales como, el uso limitado de señales en un corredor escénico, o las necesidad de signos interpretativos. También debe definir un camino de estándares bajos o de uso limitado, o el cierre de un camino para proteger áreas sensitivas o limitar impactos en una población indígena. Ocasionalmente, la filosofía de que "malos caminos traen buenas personas" es apropiada.

La economía de la densidad de caminos depende del costo de construcción, valor de la tierra, costo de la explotación de los recursos, y costo del impacto de los caminos; también está influenciada por la estética, la necesidad de otros caminos y los deseos y la política local.

Este análisis debe ser hecho cada vez que un nuevo sistema de caminos está siendo introducido en una zona sin caminos. Frecuentemente los nuevos

caminos son determinados por los caminos y las facilidades existentes, por lo que la oportunidad para una verdadera planificación de un sistema de transporte es limitada.

LOCALIZACIÓN

La localización de la ruta debe incluir estudios a nivel de oficina, basados en mapas e información disponible y localización de campos de caminos alternos. Los estudios de oficina regularmente involucran la evaluación de un posible corredor para el camino, evitando terreno difícil, reduciendo al mínimo cruces o drenajes transversales, en los lugares aparentemente más ideales, tomando en cuenta la necesidad y ubicación de ganchos y otros aspectos que pueden ser identificados con la ayuda de mapas, mapas topográficos y fotos. Hay que hacer notar que los mapas topográficos tienden a simplificar demasiado la topografía, y las fotos aéreas exageran las diferencias de elevación.

El reconocimiento del campo es muy importante para verificar las condiciones actuales del terreno. La localización de campo a menudo requiere varias evaluaciones en el lugar de la ruta propuesta o de las rutas alternas. Una ruta propuesta puede ser señalada en el lugar y después ajustada varias veces, para evitar algunos rasgos y pendientes fuertes o ajustar la alineación del camino para que el trazo sea más parejo, para reducir al mínimo la modificación del ambiente y movimiento de tierras o para dar acceso a lugares específicos adicionales a través de la ruta.

Durante el proceso de localización del camino a nivel de campo, los puntos de control son localizados y las áreas problemáticas específicas pueden ser examinadas y evaluadas, tales como drenajes y posible localización de puentes, áreas de ganchos, cuestas pronunciadas y cortes, áreas húmedas e inestables, e intersecciones.

También existe la posibilidad de examinar y estudiar el suelo y los tipos de rocas a través de la ruta porque estos materiales pueden relacionarse con los costos de excavación y construcción y el potencial para impactos tales como erosión y degradación de la calidad de las aguas; al mismo tiempo pueden ser idenificados, posibles fuentes de materiales como bancos de préstamo, rocas de cantera, y zampeado. Finalmente, las áreas que necesiten una investigación más detallada pueden ser determinadas, y los puntos de referencia y características de control para el levantamiento pueden ser localizados.

A continuación, algunos factores específicos que deben ser considerados en la localización de los caminos:

- Los caminos deben ser localizados en el punto más alto de la cuenca para mantenerlos a la mayor distancia de los drenajes.
- Los drenajes deben ser cruzados lo menos posible, en la distancia más corta, y en la parte relativamente más plana de la quebrada.
- Los caminos deben ser localizados en las cuestas, donde las pendientes y drenajes son mínimos, reduciendo así al mínimo la alteración de los patrones naturales de drenajes.
- En términos generales, los caminos deben estar localizados donde las pendientes pueden ser mínimas, ya que la erosión incrementa la pendiente de los caminos y los drenajes son difíciles de controlar en pendientes fuertes (a veces es mejor un camino más corto con cuestas empinadas, que uno más largo y plano).
- Las secciones del camino con pendientes pronunciadas deben ser lo más cortas posible, y los caminos localizados de tal manera que permitan que la cuesta sea ondulada en vez de constante.
- Idealmente, los caminos deben ser localizados donde las pendientes de la ladera (terreno natural) son suaves para reducir al mínimo el movimiento de tierra, pero con suficiente pendiente (20-40% de pendiente natural) como para promover el drenaje y balancear el movimiento de tierras .
- Los caminos deben ser localizados en pendientes expuestas al sol, para promover las condiciones de secado del camino.
- La localización de la ruta debe aprovechar la presencia de formaciones rocosas bien fracturadas o depósitos de suelos con partículas grandes de material granulado para ser usado potencialmente como material de construcción.

En el caso de proyectos de reconstrucción o mejoras a caminos ya existentes, el papel de la planeación y localización puede ser limitado. Sin embargo, el uso propuesto del camino y una norma apropiada para mejorar el camino debe ser evaluada. Adicionalmente, puede ser necesario considerar una localización alternativa o cambiar la alineación para optimizar el camino y reducir al mínimo los costos de construcción y otros problemas.

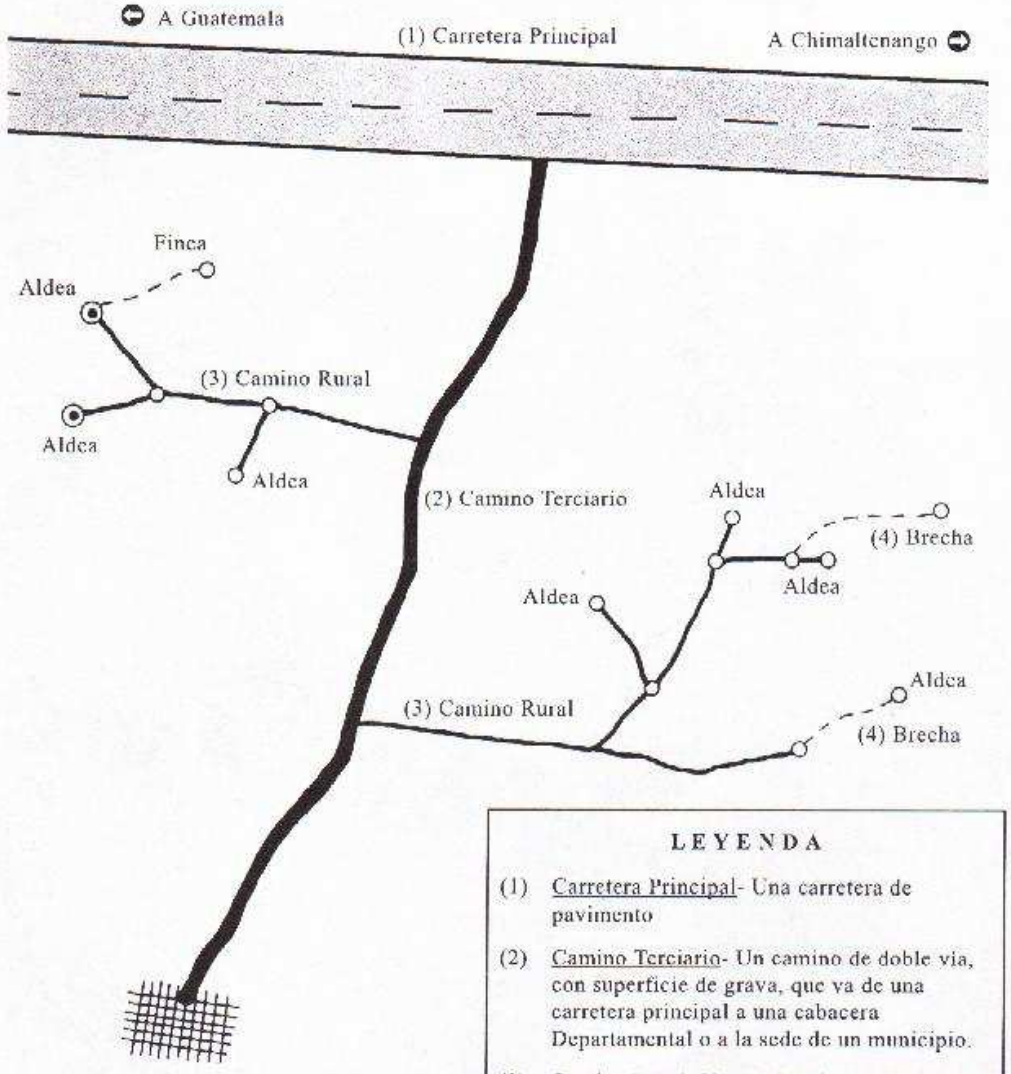


Figura 3.2.1. Sistema de clasificación de caminos.

SECCIÓN 3.3.
LEVANTAMIENTO Y DISEÑO

Los trabajos de levantamiento y diseño son las tareas más comúnmente asociadas con la fase de preconstrucción de un camino. El levantamiento proporciona información específica de diseño para determinar los planos del camino y las secciones de cruce, detalles de diseño, como alcantarillas atravesadas, ampliación de curvas y ganchos y estimación de movimiento de tierras y otras cantidades involucradas en la construcción. El diseño mismo establece la manera en que el camino y las estructuras necesarias serán construidas, ya que el camino se relaciona con el lugar, y qué clase de vehículos pueden transitar por el camino sin problemas. La Figura 3.3.1 muestra los términos típicos utilizados en la descripción de un camino y su sección transversal.

LEVANTAMIENTO

Las secciones transversales del camino son invaluables para determinar el diseño apropiado y la colocación de grandes alcantarillas o puentes, estructuras de contención, áreas de deslizamiento y el diseño de intersecciones y ganchos. En áreas específicas con problemas como estos, es deseable realizar levantamientos específicos detallados del lugar. Asimismo, en algunos proyectos grandes o especiales puede ser hecho un levantamiento fotogramétrico, partiendo de fotografías aéreas con algunos puntos de referencia en tierra.

Un proyecto puede involucrar un levantamiento preliminar para su planificación inicial, seguido por un levantamiento detallado de diseño con cierto alto nivel de precisión. Para la mayoría de caminos de normas bajas, sólo un levantamiento será llevado a cabo y la precisión del mismo dependerá de la norma de construcción del camino y la dificultad del terreno. Muchos caminos de normas bajas pueden no necesitar información para cálculos de alineamientos verticales y horizontales. Una descripción completa de varias normas de levantamiento y técnicas puede ser encontrada en libros de texto de diseño de ingeniería de carreteras y agrimensura, lo cual está más allá del alcance de este manual.

La mayoría de los proyectos de caminos con normas bajas necesitan solamente un levantamiento empírico, utilizando como equipo, cintas de tela o un artefacto para medir con pita, brújula, y clinómetro o Abney, cuya precisión puede fluctuar entre el decímetro más cercano hasta 1.0 por ciento de inclinación, etc. Los caminos construidos con normas altas o con levantamientos detallados del sitio, involucrarían el uso de cierto equipo, como tránsitos, teodolitos, cintas métricas de metal o medidores electrónicos de distancia, etc. con precisión de 0.01, 0.1 por ciento de inclinación. En algunas áreas el trabajo de levantamiento puede ser realizado conjuntamente con técnicas e instrumentos de Global Positioning Survey (GPS).

DISEÑO

El proceso de diseño involucra aspectos de diseño geométrico, alineación horizontal y vertical, patrones de cortes transversales , sección estructural del camino, uso de estructuras de drenaje, uso de materiales, cortes y rellenos para estabilidad, movimiento de tierras, medidas para estabilización de cortes, control de erosión y medidas para protección de las cuencas. El diseño es también influenciado por factores tales como la seguridad del tráfico, normas de diseño establecidas por la administración, necesidades físicas y del medio ambiente, y políticas locales.

Detalles del diseño que reducen al mínimo el impacto ambiental y la modificación de la topografía y drenaje natural incluyen: proporcionar suficientes estructuras de drenaje con armadura y capacidad adecuada para que el agua fluya según el diseño, reforzamiento de desagües, salidas de tuberias, y canales para prevenir la erosión y los deslaves, proporcionar una superficie de drenaje adecuada para controlar y dispersar las corrientes, reducir al mínimo la concentración de agua; reducir al mínimo el tamaño de los cortes y rellenos donde sea posible, utilizar cortes y rellenos estables, evitar rellenos en laderas con pendientes fuertes (más de 50%) y proporcionar protección contra la erosión al inicio y al pie de los rellenos.

Los caminos sinuosos que se adaptan al terreno natural, y que evitan alineamientos largos y rectos en terreno quebrado reducirán los impactos ambientales. Además los caminos deben ser construidos con suficientes detalles de diseño para reducir al mínimo la necesidad de mantenimiento frecuente. Un camino bien diseñado debe cumplir con esto. Sin embargo, a menudo solamente

el buen juicio y la experiencia pueden dictar la mejor forma de diseño para reducir al mínimo los impactos.

La Figura 3.3.2 muestra cómo el patrón de diseño y los factores de diseño son influenciados por el terreno, y la alineación necesaria. La sección A muestra una sección en relleno en un terreno relativamente plano; en este caso es necesario introducir una cantidad moderada de material de banco de préstamo para construir este tipo de patrones. La sección B muestra una sección en corte donde ocasionalmente es necesario, en algunas áreas, reducir al mínimo el ángulo del camino o mejorar su alineación. Se requiere de una considerable excavación. La sección C muestra un corte transversal de un corte y relleno "balanceado", este es el patrón más común, el más deseable y el más económico y usado en la construcción de camino, ya que el material de excavación obtenido del corte es utilizado para rellenos adyacentes y los costos de movimiento de tierra son mínimos.

Las normas del diseño se refieren al tipo de carretera a ser construida para acomodar el tipo y volumen de tráfico, y la velocidad anticipada. Estos factores, así como el terreno dictan la inclinación máxima de la carretera, el ancho y el número de carriles, el tipo de superficie, la distancia de visibilidad, alineación, necesidad de retornos, sobrelevaciones, peraltes hacia adentro o afuera, tipos de estructuras de drenajes superficiales, límites de tránsito, etc. Un resumen de las normas típicas de diseño utilizadas para carreteras locales de alto y bajo volumen o vías secundarias son presentadas en la Tabla 3.3.1.

La Figura 3.3.3 muestra tres cortes transversales típicos utilizados en la construcción de caminos de normas bajas, junto con las dimensiones típicas del patrón del camino. Un camino de un solo carril con peralte hacia afuera (corte transversal A) quizás sería el tipo más económico para construir y que causaría menos impacto ambiental en el área. Además un camino con peralte hacia afuera con estructuras mínimas de drenaje, será el menos costoso de mantener. Este tipo de patrón debe ser utilizado más a menudo en caminos rurales.

El corte transversal B, muestra un camino de un solo carril con peralte hacia adentro, es deseable en áreas sujetas a erosión donde el control del agua es importante. Sin embargo, las estructuras de drenaje requerirán más mantenimiento que con un camino con peralte hacia afuera.

El corte transversal C muestra un camino de dos carriles con corona, apropiado para la mayoría de las vías secundarias y caminos locales principales.

El vehículo del diseño y sus características físicas determinan muchas de las normas mínimas del camino. Sin embargo, ningún vehículo por sí solo

determina todos los elementos de diseño mencionados arriba. El diseño debería considerar todos los tipos de vehículos que utilizan el camino, así como los factores ambientales y sociales de la localidad. Mucho del diseño será determinado por los vehículos más impactantes tales como camiones cisterna, madereros, perforadores, cabezales con furgón de carga, etc.

La siguiente es una lista de los elementos de diseño geométrico considerados en el diseño de un camino de dos carriles, de velocidad moderada:

- Ancho de la plataforma.
- Ancho del hombro.
- Desvíos y puntos de rebase.
- Curvas verticales y horizontales.
- Distancia visual.
- Radio de curvas.
- Ancho de limpieza.

Muchos aspectos del diseño de un camino, particularmente diseño geométrico y volumen de movimiento de tierras, son determinados por algún tipo de programa de computación. Programas tales como Road Design and System (RDS) y "Lumberjack", así como Computer Aided Design (CAD), están disponibles hoy en día para ayudar con los diferentes aspectos del diseño de un camino.

La siguiente es una lista de otros elementos de diseño que deben ser considerados en el diseño de cualquier camino. Estos elementos conforman la mayor parte de este manual y son discutidos en los capítulos subsecuentes:

- Drenajes transversales. Factores tales como escorrentías de diseño (Capítulo 4), capacidad y armaduras de los canales (Capítulo 5), capacidad estructural y uso de puentes contra alcantarillas (Capítulos 6 y 9), uso de nomogramas para determinar la capacidad de las tuberías y canales (Capítulo 8), instalación correcta de alcantarillas (Capítulo 9), o utilización de travesías de agua de bajo nivel (badenes) (Capítulo 7).

- Drenaje de la plataforma. Factores tales como necesidad de drenajes transversales y distancias entre cada uno, peraltes hacia adentro versus peraltes hacia afuera, uso de zanjas, protección del camino contra la erosión (Capítulo 9).

- Drenaje subterráneo. Necesidad y métodos para remover el agua subterránea, tipos de drenajes subterráneos (Capítulo 9), y drenaje de taludes y estabilización con drenajes horizontales (Capítulo 10).

- Drenajes transversales en zonas húmedas. Técnicas y diseño de alcantarillas en praderas y áreas cenagosas (Capítulo 9).

- Pendientes de corte y de relleno. Ángulos típicos usados para pendientes estables para varias clases de suelos y rocas, diseño de pendiente de relleno, métodos para estabilizar pendientes, uso y diseño de estructuras de contención más comúnmente utilizados (Capítulo 10).

- Materiales para caminos. Tipos y propiedades de materiales para revestimiento, y materiales estructurales, métodos de estabilización de suelos, necesidades de compactación y propiedades básicas del suelo (Capítulo 13).

- Fuentes de materiales. Uso de bancos de materiales y canteras, factores de desarrollo del lugar y valores de disminución y expansión de suelos y rocas (Capítulo 13).

- Medidas de protección de las cuencas y control de la erosión. Técnicas básicas de control de la erosión, medidas físicas y vegetativas para protección, aplicación de ingeniería biotécnica (Capítulo 11), y técnicas para control de cárcavas (Capítulo 12).

CONSIDERACIONES GEOGRÁFICAS EN DISEÑO

Áreas geográficas diferentes, como desiertos, montañas y selvas, ofrecen situaciones únicas que requieren de consideraciones y soluciones específicas de diseño. El adaptar conceptos de diseño a condiciones climatológicas y topográficas específicas, requiere del conocimiento de conceptos básicos de diseño. También los diseños deben basarse y aprovechar la experiencia local en una zona geográfica dada para saber qué funciona y qué no funciona.

En regiones áridas o desérticas, la precipitación es típicamente intensa pero de corta duración, por lo cual, los badenes son ideales. La precipitación total es mínima y las temperaturas son generalmente extremas, por lo tanto, el crecimiento de la vegetación es lento y escaso; entonces las medidas para control de la erosión deben ser más físicas, por ejemplo, utilizando piedras en vez de plantas. Las estructuras están sujetas a mucha expansión y contracción por

temperatura. Los suelos son típicamente granulares con poca plasticidad, por lo que la erosión puede ser severa. Por otro lado, los materiales de construcción son generalmente buenos y los problemas de inestabilidad son mínimos.

En terrenos montañosos, la precipitación puede ser de moderada a fuerte, con tormentas ocasionales intensas en la época lluviosa. La precipitación en invierno puede ser en forma de nieve, dependiendo del área. Por lo tanto, se necesita un buen número de estructuras grandes de drenajes. Las pendientes son generalmente muy pronunciadas, por lo que la construcción puede ser lenta y costosa, requiriéndose mayor movimiento de tierra, estructuras de contención, ganchos (switch back), etc. Con pendientes pronunciadas y cortes de mayor elevación se presentan problemas de inestabilidad con derrumbes y deslizamientos. Los suelos son típicamente variables. El uso de vegetación, particularmente coníferas es común, pero las especies utilizadas para control de la erosión, necesitan adaptarse al lugar para tolerar los inviernos severos.

Las selvas y zonas tropicales son generalmente planas, lo cual hace difícil el drenaje. La precipitación es intensa, por lo que se requiere de muchas y grandes estructuras de drenaje. Los cauces de drenajes no están bien definidos y con el tiempo cambian su ruta. Los suelos pueden ser muy finos o arcillosos, por lo que requieren de soporte estructural. Las secciones elevadas del camino o de carreteras troncales son deseables, pero los bancos de materiales pueden ser escasos. Por el rápido crecimiento de la vegetación, el uso de medidas de control biotécnico para la erosión es muy práctico, sin embargo, el camino requerirá mantenimiento más frecuente.

Las zonas del Altiplano y los cerritos, generalmente, tienen una combinación de las condiciones y consideraciones de diseño mencionadas anteriormente.

PLANOS Y ESPECIFICACIONES

Típicamente los planos y especificaciones son elaborados y se usan normas existentes para describirlos claramente y mostrar físicamente el trabajo a ser realizado y los resultados esperados (cómo debería aparecer). Generalmente la cantidad y calidad de los planos y especificaciones es proporcional a la norma del camino o al nivel de importancia del proyecto. Muchas agencias tienen "planos y especificaciones estandarizados" los cuales son utilizados rutinariamente y son complementados con especificaciones especiales para aplicaciones únicas.

Comúnmente se utilizan especificaciones basadas en resultados finales, donde éstos están bien definidos. Este método permite al contratista utilizar su criterio de técnicas de construcción para lograr el producto final definido. Otras especificaciones son de método, donde se describe el proceso de trabajo y son más frecuentemente utilizadas en obras complejas donde se requiere procedimientos de trabajo específicos. En este caso, la agencia comparte la responsabilidad de los resultados.

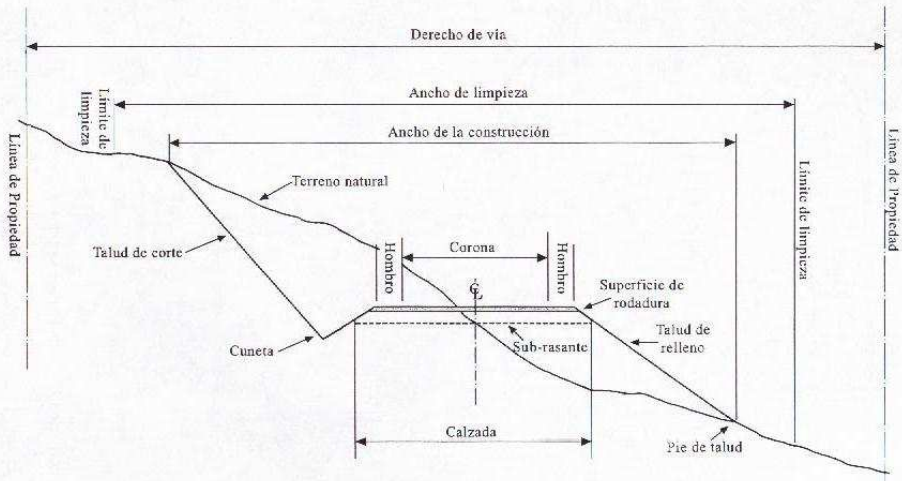
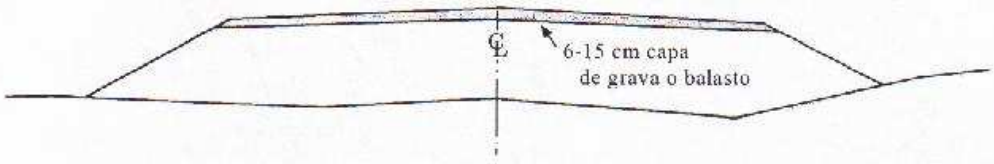
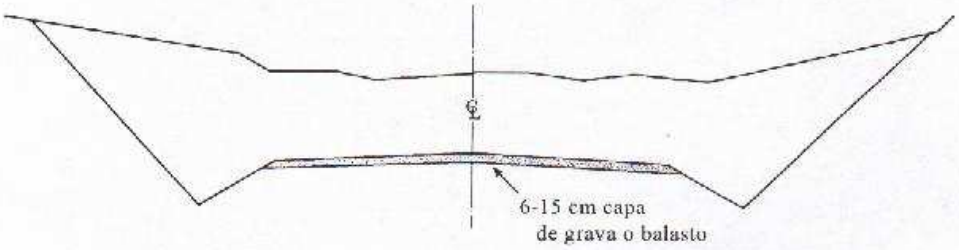


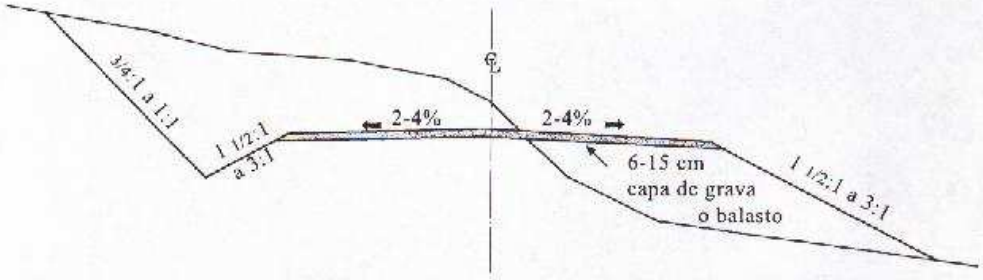
Figura 3.3.1. Términos utilizados para definir un camino rural.



Gráfica A - Sección en relleno.

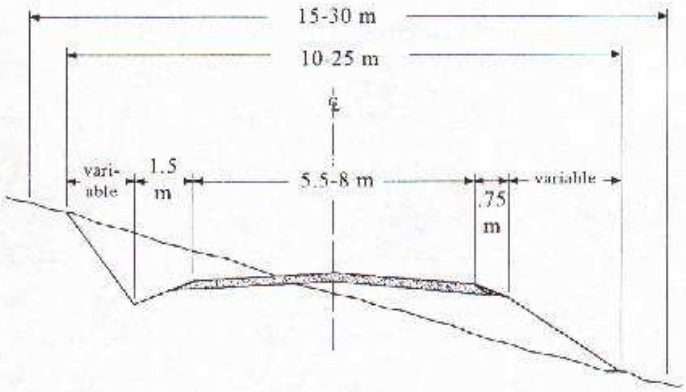


Gráfica B - Sección en corte.

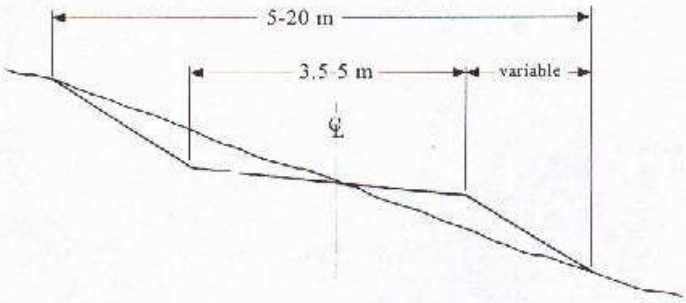


Gráfica C - Sección en ladera o mixta.

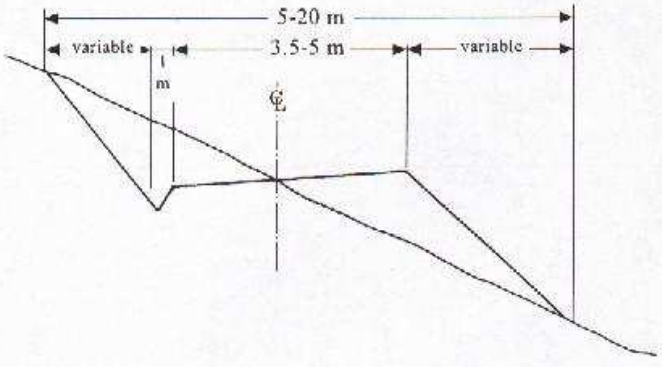
Figura 3.3.2. Secciones transversales típicas de caminos rurales.



Gráfica A - Camino principal.



Gráfica B - Camino rural con peralte hacia afuera.



Gráfica C - Camino rural con peralte hacia adentro.

Figura 3.3.3. Dimensiones de la sección típica del camino principal (terciario) y del camino rural.

Tabla 3.3.1. Comparación de normas típicas para caminos rurales y terciarios.

Aspecto de Diseño	Tipo de Camino	
	Camino Rural	Camino Terciario
Velocidad de diseño	35 kph	60 kph
Cargas (AASHTO)	H 15	H 20
Ancho de plataforma	4.0 m	5.5 m (mínimo)
Hombros	no	0.5 m
Gradiente:		
-máximo favorable	15%	12%
-máximo adverso	12%	10%
Curvas horizontales (radio, mínimo)	15 m (mínimo)	25 m (mínimo)
Bombeo	Hacia afuera 5% (mínimo)	Corona ± 3% (mínimo)
Tipos de drenajes	Desagües transversales	Alcantarillas de cemento o metal
Capa de terraplén	suelo natural	±15 cm grava
Cambiavía	cada 300 m	cada 500 m

SECCIÓN 3.4.
CONSTRUCCIÓN

La calidad de construcción depende en alto grado de la dificultadad del terreno, la experiencia de los trabajadores o del contratista y la calidad de la supervisión durante la construcción.

La construcción puede también causar gran impacto ambiental. Debe ser realizada en forma tal que se mantengan los materiales fuera de los drenajes o de las áreas sensitivas. Estas áreas deben ser cercadas o cubiertas durante la construcción, para protección. Deben utilizarse trampas sedimentarias al construir alrededor de agua que corre. Los protectores de sedimento, camellón o barreras de desechos vegetal, y zonas de amortiguamiento ayudan a reducir el movimiento de sedimento (erosión) en un lugar de construcción.

El trabajo de construcción puede ser realizado totalmente a mano, con maquinaria o con una combinación de ambas. El método de construcción depende de la dificultad del terreno, fondos disponibles, equipo y disponibilidad de mano de obra. Cualquiera de los dos métodos es satisfactorio para la construcción de la mayoría de caminos de normas bajas, ya que los dos tienen varias ventajas, por ejemplo, el uso de equipo (maquinaria) facilita el movimiento de tierras, mientras que el control de erosión y drenajes puede ser más efectivo hecho a mano. El costo final en cualquiera de los dos métodos depende de la disponibilidad de recursos económicos, el costo de equipo y de mano de obra local.

CONTROL DE CALIDAD

En caminos de altas normas, particularmente los que involucran cantidades moderadas de movimiento de tierra, revestimiento con grava y numerosas alcantarillas o drenajes transversales, el control de calidad durante la construcción es de suma importancia. Básicamente es igual para caminos de normas bajas un buen control de compactación durante la construcción: reducirá problemas debido a asentamientos; reducirá la pérdida de material superficial; incrementará la resistencia; y reducirá la pérdida del relleno debido a falla de alcantarillas. Un buen control de calidad en la instalación y compactación alrededor de las

alcantarillas es importante para prevenir el eventual asentamiento o prevenir una falla total debido al escurrimiento de agua debajo de la estructura.

El control de calidad durante la construcción puede reducir significativamente las necesidades de mantenimiento, menos pérdida de suelos y menos fallas de los drenajes o alcantarillas de los caminos, también resultará en menos impacto ambiental. Un diseño y construcción apropiados, pueden ser muy efectivos para evitar incurrir en gastos de mantenimiento en el futuro. No seguir todos los pasos en la construcción, y no usar un buen sistema de control de calidad, normalmente trae como resultado costos más altos y más impacto a lo largo del tiempo.

SECCIÓN 3.5
MANTENIMIENTO

El buen mantenimiento con frecuencia es esencial en el manejo de caminos. Una vez que se ha ejecutado un diseño apropiado, el mantenimiento periódico es necesario para que el camino funcione de acuerdo al diseño. Los drenajes deben ser periódicamente nivelados y limpiados, así como la superficie de los caminos debe ser aplanada para quitar rodaduras y material deslizante, el revestimiento de petróleo y el pavimento deben ser protegidos y las grietas selladas. El mantenimiento del camino es particularmente importante para mantener los drenajes superficiales funcionando debidamente.

No existe ningún camino que no necesite mantenimiento, especialmente caminos revestidos con material nativo y agregado y caminos utilizados durante la época lluviosa. La necesidad de mantenimiento puede ser reducida solamente con un diseño y prácticas de construcción adecuados, por ejemplo, un camino construido con su pendiente hacia afuera y badenes, requerirá menos mantenimiento que un camino con la pendiente hacia adentro con una serie de zanjas y drenajes transversales. Se puede aprovechar el mantenimiento de los caminos para corregir o mejorar los errores u omisiones de diseño.

El mantenimiento periódico de caminos involucra lo siguiente:

- Nivelación de la superficie del camino para quitar el material deslizante y reducir al mínimo la pérdida de material de revestimiento.
- Nivelación profunda del camino para eliminar baches y rodaduras y para reponer el material de revestimiento que se ha dispersado.
- Eliminación de secciones fangosas llenándolas con grava o con el material de calidad requerido.
- Limpieza y reparación de alcantarillas y estructuras de entrada y salida y cunetas.
- Reposición necesaria de zampeado, revestimiento y medidas de control de erosión alrededor de las estructuras de drenaje.
- Nivelación y conformación de la superficie del camino para mantener una adecuada corona y patrones de drenaje de la superficie.

- Remoción de camellones laterales y redefinición de drenajes transversales (badenes y desviadores de agua) para evitar que el agua se estanque en la superficie del camino.
- Limpieza y reparación de la superficie de los puentes, barandillas, bases, estribos y canal.
- Limpieza y reparación de áreas de deslaves, contrafuertes, muros de contención y otras estructuras.
- Limpieza de la orilla del camino de árboles y arbustos para mantener la distancia visual y limpiar las cunetas.
- Mantenimiento y reemplazo de señalización.

Algunas actividades de mantenimiento, sin embargo, pueden ser contraproducentes si se hacen excesivamente, particularmente con respecto al control de erosión, si son realizadas con frecuencia, por ejemplo, las actividades de limpieza de las cunetas, hombros y taludes con los cuales se remueve la cobertura vegetal de la superficie, pueden promover la erosión de suelos y degradar la calidad del agua local.

Se debe mantener las cunetas limpias y en forma para dejar correr el agua, pero la superficie debería ser reforzada con rocas o una capa de grama. Los taludes pueden necesitar limpieza periódica para distancia visual, pero la vegetación, particularmente los arbustos, son muy útiles para controlar la erosión así como para la estabilidad de los mismos. La nivelación de las cunetas que aumenta la pendiente del corte y escarba el pie del talud sólo sirve para promover erosión y la inestabilidad del talud.

El Suplemento 3-2 presenta información útil relativa a la nivelación de los caminos y conformación con motoniveladora. Esta sección también incluye un procedimiento detallado para nivelación profunda de caminos eliminando baches, remezclado de material segregado y conformación del camellón. En los caminos que tienen una pendiente hacia afuera es mejor comenzar a nivelar de abajo hacia arriba para mantener el agregado en el camino. Esta técnica ayuda a mantener correctamente la pendiente transversal. Es preferible nivelar un camino cuando el material está húmedo para evitar el polvo, la pérdida de material fino y segregado. Finalmente, nivele los caminos solamente cuando sea necesario.

SECCIÓN 3.6
CIERRE Y ELIMINACIÓN DE CAMINOS

Ocasionalmente un camino deja de ser necesario al cumplir con el propósito para el que fue construido o al crear impactos ambientales inaceptables. Si el camino no es necesario, no conviene darle mantenimiento periódico; en este caso, resulta más económico cerrarlo o totalmente eliminarlo. Como alternativa, la norma del camino puede ser reducida o el camino cambiado para funcionar como brecha.

Un aspecto clave para el cierre de un camino es determinar la posibilidad de que pueda ser utilizado en el futuro. En el caso de caminos que dan acceso a áreas de trabajo, tales como campamentos madereros o mineros, la fase del proyecto puede ser terminada y ya no habrá necesidad de usarlo por muchos años. Sin embargo, en algún momento en el futuro, el camino puede ser utilizado de nuevo, cuando crezcan los árboles o surjan nuevas demandas para el área.

Algunos caminos que han evolucionado de brechas, o fueron trazados y construidos con mala plancación, pueden ser localizados en áreas problemáticas o sensitivas. La mala localización puede incluir áreas próximas a quebradas y desagües, áreas con suelos sujetos a erosión, o terrenos con fuertes pendientes donde el impacto es significativo. En esta situación, la mejor solución sería mover el camino a un lugar con menos impacto y el camino existente deberá ser "destruído" o eliminado. En otros casos, sería deseable solamente el cierre o una eliminación parcial.

En ambos casos se necesita una buena planificación del sistema de transporte. Los planificadores de la zona deben asegurarse que el camino ya no será necesario. La cooperación y la comunicación con los residentes del área, trabajadores, y personal técnico involucrado es necesaria para asegurarse que no existen otras necesidades, y que existe un consenso o acuerdo para el cierre del camino. Si su uso en el futuro no es muy claro, será más lógico sólo cerrarlo, en vez de eliminarlo, ya que esto involucra menos trabajo y su reapertura significará usualmente un mínimo de trabajo y menos impacto ambiental.

El cierre de caminos involucra el uso de medidas para eliminar el tráfico del camino, pero el camino en sí se preserva. Medidas tales como puertas, cercos, bordillos, árboles, ramas, o peñas han sido utilizadas para bloquear un

camino. En zonas no sujetas a erosión, el camino no requiere una intervención directa para estabilizarse, lo cual sucederá con el transcurso del tiempo. El costo asociado es relativamente menor.

En áreas frágiles, el cierre de un camino usualmente involucra el uso de algunas medidas de control para evitar la erosión de la superficie. Se puede introducir desviadores de agua (camellones) para evitar la acumulación de agua, particularmente en pendientes pronunciadas. Normalmente la superficie del camino será escarificada y sembrada con grama para protegerla contra la erosión. Pueden sembrarse árboles u otra clase de vegetación para brindar protección adicional y poner el lugar de nuevo a producir. Pueden implementarse otras medidas para el drenaje superficial, tales como la eliminación de bordillos, nivelando el camino hacia afuera, eliminando las alcantarillas. Si las alcantarillas no se eliminan, se requerirá de una inspección y mantenimiento periódico para evitar que se tapen o fallen.

La eliminación de los caminos usualmente involucra un mayor esfuerzo que cuando sólo se cierra. Con la eliminación, alguno o todo el trabajo original de movimiento de tierras puede ser utilizado para restaurar el paisaje natural y el lugar puede ser plantado con especies nativas de la zona. Todas las alcantarillas o estructuras de drenaje que puedan fallar deberán ser eliminadas, y el drenaje natural debe ser restablecido y estabilizado. Es posible que se requiera restablecer el drenaje subterráneo utilizando suelos permeables o zonas de grava, tomando en cuenta la necesidad de estabilizar la nueva pendiente. El costo real de la eliminación de un camino puede ser igual o mayor que el costo inicial de su construcción.

Suplemento 3-1

Los Diez Mandamientos del Diseño de Un Camino*

Aquí tiene usted diez puntos básicos que ayudan a conservar y mantener sus carreteras en buen estado.

1. *Saque el agua de la vía.*

En la construcción y mantenimiento de carreteras es imposible no dar demasiada importancia al drenaje. El agua afecta todas las facetas de la capacidad de uso de la vía. Demasiada agua en el material de base debilita la carretera. El agua que se permite que se mantenga en la superficie de una carretera de grava o pavimentada debilita la superficie y, combinada con el tráfico, causa baches y agrietamientos. Si no se canaliza adecuadamente, el agua causa erosión de los suelos y la rotura de los bordes del pavimento. Ya sea fango en la primavera o problemas de congelamiento en el invierno, la presencia del agua solamente causa problemas.

Un buen sistema de drenaje superficial es la mejor manera de disminuir los daños a la vía. Un sistema de drenaje superficial adecuado evita que el agua se infiltre a través de la superficie del pavimento y remueve el agua de los carriles que usa el tránsito formando una película delgada y de espesor constante hacia las cunetas laterales, las cuales evacuan el agua de la vía. Un sistema de drenaje superficial tiene cuatro componentes principales: el bombeo, las bermas, las cunetas y las alcantarillas.

El bombeo de la vía, o sobre elevación de la superficie de la carretera, permite que el agua corra hacia las cunetas laterales.

Las cunetas se utilizan para evacuar el agua de la zona de la vía. Necesitan mantenerse limpias y protegidas de la erosión. El agua que permanezca en las cunetas a veces puede infiltrarse de regreso hacia la base.

El agua recogida y transportada por la cuneta tiene que evacuarse de la zona de la vía a intervalos frecuentes, utilizando a veces tubería de alcantarilla.

Las alcantarillas normalmente canalizan el agua de un lado de la vía hacia el otro, ayudando a controlar el flujo del agua y quitándole velocidad para reducir la erosión.

Los administradores de carreteras están guiados por los principios de que el agua corre pendiente abajo, que el agua necesita salidas en la parte más baja de todas las pendientes y que los charcos sólo traen problemas.

Con la excepción de algo de agua necesaria para la compactación de suelos, control de polvo y para la vegetación, el agua es el peor enemigo del administrador de vías.

2. *Construya sobre cimientos firmes.*

Una carretera se desgasta a partir de su superficie, pero se destruye desde su fondo. Esta es otra forma de decir que la base de la carretera determina la vida útil de la vía. La base soporta todo lo que está encima de ella, incluyendo el tráfico.

Sin una base adecuada, la carretera se dañará rápidamente. Una buena carretera necesita un cimiento adecuado compuesto de un material estable. Un material para la vía es estable si tiene un asentamiento despreciable cuando cambia su contenido de agua y no se deforma excesivamente bajo carga repetida ya sea que el material esté seco o húmedo.

3. *Utilice los mejores suelos disponibles.*

Las existencias de suelos naturales de buena calidad están empezando a desaparecer. La grava triturada o mezclada es una alternativa más cara. La calidad de los suelos utilizados por un administrador de carreteras depende con frecuencia de su disponibilidad en la región y de su presupuesto. Al decidir lo que se puede utilizar, considere las consecuencias a largo plazo de utilizar un material de inferior calidad. Utilizar un material de base de peor calidad puede implicar un mantenimiento excesivo durante la vida de la carretera y quizás rehabilitaciones costosas. El proverbio "pague ahora o pague después" se aplica a la construcción de vías.

4. *Compacte bien los suelos.*

Cuanto más denso sea un material, más resistente es. Cuando un suelo se compacta inadecuadamente, las cargas del tráfico futuras o cambios en el contenido

* Fuente: Adaptado de Caminos, Instituto Panamericano de Carretera.

de agua pueden causar asentamientos y la falla de la vía.

La compactación se alcanza apretando las partículas del suelo unas contra otras, lo cual expulsa algo del aire de la masa de suelo, haciendo al material más denso. Como los suelos bien gradados tienen una distribución pareja de tamaños de partículas, se compactarán con mayor facilidad que los suelos con mala gradación que tienen un solo taima de partícula predominante. Las partículas trituradas o angulares se compactarán hasta alcanzar una condición más estable que partículas redondas de tamaño similar. Una cierta cantidad de agua es necesaria para obtener una buena compactación.

5. *Diseñe para clima húmedo y el mantenimiento de invierno.*

En las áreas en las que caen nevadas de importancia o en las zonas tropicales en las que la época de lluvias es muy fuerte, las carreteras que se diseñen para facilitar el mantenimiento invernal serán adecuadas para las condiciones del resto del año. Panaceas por ejemplo en lo siguiente: si la zona disponible para el tránsito es suficientemente ancha para permitir que se crucen un quitanieves con un bus escolar, debería ser también suficientemente ancha durante el resto del año.

Si las cunetas y las áreas laterales son tan anchas como para almacenar la nieve o disponer del agua que traiga la lluvia más torrencial del año, lo más seguro es que puedan transportar las aguas del deshielo de primavera u otros flujos intensos.

Las pendientes deberían tener como mínimo un dos por ciento para propósitos de drenaje y no deberían ser mayores del doce por ciento, si es que es posible. Si la carretera es más empinada, se hace difícil maniobrar equipos pesados, especialmente en época de invierno.

Se debe tener en cuenta la distancia de visibilidad cuando se diseñe una carretera. En bien de la seguridad un conductor debe ser capaz de ver hacia adelante de 15 a 20 m por cada 10 K/h de velocidad.

6. *Construya teniendo en cuenta las caras y los volumenes de tráfico.*

El hielo de una laguna puede soportar un patinador, pero se partirá y romperá bajo el peso de un automóvil. De manera similar, una carretera construida para soportar tráfico residencial se romperá en cuanto empiece a ser recorrida por cierto número de camiones. Los administradores de carreteras saben que las carreteras, al igual que los puentes, deberían ser diseñadas teniendo en cuenta el tipo y volumen de tráfico que se espera.

Una regla empírica es construir la carretera para soportar los vehículos más grandes que utilizarán la vía en condiciones normales de operación. Si se tienen dudas, diseñe la vía de acuerdo con el equipo más grande de mantenimiento que la mantenga en cualquier clase de clima.

Los administradores de vías pueden obtener información y guía de las agencias estatales de transporte sobre el tipo y espesor de mezcla asfáltica que se debe colocar en una carretera de grava. En términos generales, una carretera con poco tránsito y con algunos camiones puede tener buen uso con un sello de grava-asfalto (tratamiento superficial) o de arena-asfalto. A medida que los volúmenes de tránsito y las cargas se incrementan, una mezcla de asfalto en frío o de asfalto en caliente pueden ser alternativas mejores.

7. *Pavimente sólo las carreteras que son necesarias y que están listas.*

Algunas ciudades cometen el error de pavimentar una carretera que no es apropio para pavimiento o que no está adecuadamente preparada en su afán de deshacerse de otra polvorienta carretera de grava. El resultado puede ser un total desperdicio de dinero. La pavimentación no resolverá otros problemas que puede tener la carretera de grava. Debe de todas maneras estar construida de capas bien compactadas de suelos que drenen libremente, ser capaz de soportar las cargas de tránsito que se esperan y ser capaz de drenar correctamente. El costo de reconstruir una equivocación es mucho mayor que el de no cometer el error y construir correctamente en el primer intento.

No es necesario pavimentar un carretera si el volumen de vehículos no le requiero y si no tiene los fondos necesarios para dar el mantenimiento necesario.

8. *Construya de abajo para arriba.*

Una carretera que tiene una base mala y mal drenaje no se puede mejorar adecuadamente con una superficie de grava o un pavimento nuevo. En algunos casos puede hacer falta remover la estructura de la carretera vieja, colocar materiales nuevos y construir la vía en capas. Antes de hacer algo para corregir un problema en la superficie de una carretera, los administradores de vías deben tener en cuenta

qué es lo que está causando el problema debaja de la superficie. Los culpables pueden ser los drenajes inadecuados, espesores insuficientes de base o grava de mala calidad. Estos se deben corregir antes de gastar dinero en la superficie.

9. *Proteja sus inversiones.*

Las carreteras y los puentes necesitan de un mantenimiento periódico que impida su deterioro. Las cargas siempre en aumento y la frecuencia de tráfico en las vías, combinadas con condiciones climáticas adversas implican que la tasa de deterioro de calles y carreteras se incremente. El mantenimiento periódico de carreteras y puentes conserva nuestras inversiones en las vías y previene costosas rehabilitaciones importantes más tarde.

Las actividades de mantenimiento incluyen:

- Superficie de la vía: alisamiento y conformación; bacheo, colocación de nuevo material; control de polvo; remoción de nieve, hielo y detrito.
- Drenaje: limpieza y reparación de alcantarillas y cunetas.
- Zonas laterales: poda de arbustos, hierbas y árboles; reparación y prevención de erosiones de las zonas laterales.
- Puentes: limpieza de lechos; reparación de barandas, placas y estructura; limpieza y pintura.
- Servicios al tráfico: mantenimiento de señales; corte de vegetación para mantener la visibilidad.
- Proyectos especiales: restauración de mejoras; trabajos de emergencia, tales como remoción de deslizamientos, reparación de daños causados por lluvias torrenciales y reparación de muros de contención.

10. *Mantenga buenas hojas de vida.*

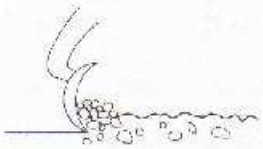
Los administradores de vías conocen sus carreteras como las palmas de sus manos. Este conocimiento no sirve para nada, desde luego, cuando el administrador se enferma, es trasladado o se retira.

El mantenimiento de hojas de vida hace que el mantenimiento de la carretera sea más fácil para todo el mundo. Facilita la preparación de presupuestos y la presentación a los ciudadanos de planes para los trabajos viales. Llevar registros del tipo de trabajo que se realiza en las vías o puentes, cuándo y qué tipo de materiales se usaron, puede ayudar enormemente al hacer decisiones posteriormente.

Los pueblos y ciudades pueden empezar realizando un inventario de todas las carreteras y puentes, haciendo una lista de su longitud, ancho, tipo de superficie, alcantarillas, zonas problemáticas y otros puntos. Ayuda mucho colocar esos datos en un mapa. Después hay que hacer una lista y definir prioridades de las mejoras necesarias, colocándoles un precio y haciéndose cargo de unos pocos problemas cada año.

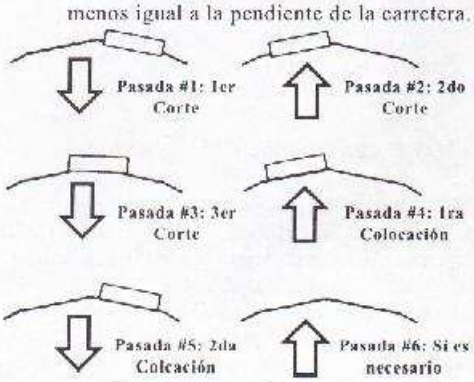
Suplemento 3-2
Reconformación de Carreteras de Grava*

La reconformación es algo más que suavizar la superficie. Después de un período de lluvia o de que se derrita lentamente la nieve, el tránsito dispersa la grava, aplasta el bombeo, crea baches y surcos profundos en la carretera, y produce una superficie de ondulaciones áspera. Estas condiciones no se pueden corregir solamente nivelando la superficie. La base de grava debe ser reconformada. La reconformación implica el volver a mezclar la base de grava para obtener una mezcla propia de agregados finos y de diferentes tamaños y la nivelación de esta mezcla a una superficie de bombeo adecuado. Cuando se vuelve a mezclar, puede necesitarse añadir agregados adicionales o finos a la superficie de la carretera y a la banqueta, particularmente en las áreas más ásperas o de ondulaciones. El arte del mezclado es limitado y depende del tipo de materiales disponibles. La experiencia proveerá el conocimiento necesario para determinar la mezcla apropiada. La corteza que queda de la superficie de desgaste anterior, se rompe cuando se vuelve a mezclar, a menudo utilizando una escarifiadora. Después de volver a mezclar la base de grava, se nivela para obtener una superficie uniforme y con bombeo adecuado. Un nuevo par de bordes de corte ofrecen el mejor resultado. Al igual que la nivelación, la reconformación se debe hacer con el agregado húmedo.



Incline la cuchilla hacia atrás para que corte los resaltos y penetre los baches

1. Coloque los dispositivos de control de tráfico.
2. Revise el contenido de humedad de la superficie de la carretera. Una superficie húmeda va a prevenir la pérdida de partículas finas en forma de polvo y provee una compactación adecuada. Utilice un carro-tanque para humedecer la superficie en clima seco.
3. Revise si la superficie o banqueta requiere más agregado fino, particularmente en áreas ásperas o en áreas de desgastadas.
4. Incline la cuchilla para posición de corte. Esto le permitirá a la cuchilla cortar los resaltos y penetrar los baches.
5. Dele un ángulo de 30° a 45° a la cuchilla. Utilizando una acción de mezclado, mueva y recorra el agregado hasta el centro de la carretera.
6. Recline las llantas delanteras 10° a 15° de la vertical en la dirección que el agregado se recorre a través de la cuchilla.
7. Ejerza suficiente presión en la cuchilla para cortar banquetas y resaltos ondulados.
8. La escarificación cuando sea necesaria, debe ser tan profunda como el bache o la ondulación promedio—usualmente 51 a 76 mm (2 ó 3 pulgadas).
9. Observe la acción de la cuchilla muy de cerca y continuamente ajuste los controles para obtener buena acción de corte y de mezclado.
10. Revise a ver si hacen falta más pasadas en la misma dirección para seguir mezclando, cortando hasta el fondo de los baches y resaltos, y para amontonar en hilera el agregado en el centro de la carretera.
11. Amontone en hilera el agregado mezclado hasta el centro de la carretera.
12. Distribuya el agregado uniformemente sobre las orillas de la carretera y banquetas, nivelando el material al debido bombeo.
13. Nivele la banquina en forma descendente hacia la zanja para que la pendiente sea al menos igual a la pendiente de la carretera.



Patron de pasadas para la reconformación de carreteras de grava

❖ Fuente: Adaptado de Caminos, Instituto Panamericano de Carretera. Quarto Trimestre, 1994

Foto 3-1. Un ejemplo de un camino rural de normas bajas. Chapare, Bolivia. (Foto G. Keller)

Foto 3-2. Un ejemplo de un camino rural de normas medianas. Jalapa, Guatemala. (Foto G. Bauer)

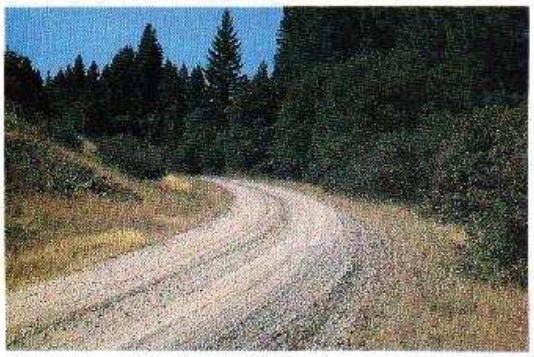


Foto 3-3. Un ejemplo de un camino rural de normas altas. Bosque Nacional Lassen, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 3-4. El uso intensivo de mano de obra es un método no costoso para construir y mantener caminos rurales. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 3-5. Cuando los caminos rurales son bien diseñados, construidos y mantenidos, el impacto ambiental negativo es mínimo. Cochabamba, Bolivia. (Foto G. Bauer)

Foto 3-6. El Ing. Conrad Camacho de USAID, planificando en el campo un camino rural. Chapare, Bolivia. (Foto G. Bauer)

Capítulo 4

Hidrología Aplicada en Drenajes Menores

SECCIÓN 4.1.
INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA

Este capítulo presenta información básica sobre los métodos de hidrología y determinadas corrientes de drenajes pequeños que usan la Fórmula Racional. La información mencionada incluye el coeficiente de escorrentía para el área local, datos de intensidad de precipitación, y área de la cuenca. Además se discute el ciclo hidrológico básico, una comprensión del mismo y la cantidad de agua que correrá en un área (la descarga), lo cual es necesario para el diseño hidráulico. Las estructuras de drenaje del camino deben tener capacidad adecuada para acomodar esta cantidad de agua.

Al diseñar las estructuras de drenaje de caminos, se debe preguntar lo siguiente: ¿qué tamaño debería tener un puente o una cuneta?, ¿qué diámetro necesita el tubo de alcantarilla?, ¿a qué distancia deben quedar los zanjones?. Estas preguntas pueden únicamente ser contestadas si se sabe el volumen de agua que pasará a través de una estructura. Si una estructura no puede acomodar toda la descarga, entonces el agua se fuerza a ir sobre la estructura, alrededor de ella, o se acumula. Frecuentemente esto resulta en daño o fracaso total de la estructura y socavamiento y otro daño local.

La capacidad total para cualquier estructura debería determinarse con base en una combinación de factores además de la descarga calculada. Estos incluyen los aumentos posibles en la descarga debido a cambios en el uso de la tierra de la cuenca, tal como desarrollo, deforestación, o cambios en intensidades y modelos de precipitación. También, debería preverse una capacidad extra para arrastre, particularmente río abajo de las áreas que se han talado los árboles, limpiado para la agricultura, o que han sido quemadas. Dependiendo del riesgo y costo de la estructura, puede hacerse una provisión para capacidad extra debido a la inexactitud en el proceso de diseño hidrológico. Tales consideraciones deberían hacerse particularmente en el diseño de alcantarillas de tamaño pequeño y mediano, tal como se discute en el Capítulo 9.

La descarga puede determinarse por varios métodos hidrológicos. Puede ser determinada utilizando las marcas que deja el río al haber una correntada, así como también por medio de registros históricos de correntadas, utilizando información tabulada de ríos y riachuelos específicos de la zona, si existe.

También se puede utilizar información general de la intensidad pluvial de la región, análisis regresivo de una región específica para determinar las corrientes en función de la cuenca y sus características, usando métodos como la Fórmula Racional junto con información generalizada de la intensidad pluvial. Algunos de estos métodos para cuencas mayores, se describen más adelante en la sección de diseño de puentes (Capítulo 6).

SECCIÓN 4.2.
EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es la circulación contínua de humedad de la tierra. El ciclo hidrológico, mostrado en la Figura 4.2.1, ilustra la distribución de agua en el ambiente, así como las fases del "ciclo del agua" incluyendo la precipitación, infiltración, intercepción, transpiración, y evaporación. Cuando llueve, el agua es interceptada por la vegetación, infiltrada en la tierra y se escurre. La humedad en el terreno, en la vegetación, y en los cuerpos de agua se transpira o evapora de nuevo a la atmósfera.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, pero imaginamos su origen en la humedad atmosférica, que consiste de vapor de agua, nubes, y niebla, el vapor de agua es el estado gaseoso del agua, y está presente en la atmósfera a causa de procesos de evaporación sobre las superficies de agua y tierra; las nubes y la niebla son creadas por el enfriamiento y condensación de vapor de agua sobre núcleos pequeños tales como partículas de polvo o sal en la atmósfera; cuando las gotas de agua tienen un tamaño considerable caen como lluvia. Si la lluvia pasa a través de zonas de temperatura bajo cero, se convierte en granizo. Si la condensación ocurre en temperaturas bajo cero, se forma nieve. Si la condensación del vapor de agua tiene lugar directamente sobre una superficie más fresca que el aire, se forma rocío; si la temperatura está bajo cero, se forma escarcha.

De la precipitación total, una proporción muy grande cae directamente sobre los océanos, grandes lagos, y otros cuerpos de agua tales como ríos y albercas. El agua que cayó sobre el océano, junto con el agua que volvió como corriente, mantiene el equilibrio evidenciado por el nivel del mar considerablemente constante.

La lluvia o la nieve derretida tienden a humedecer la superficie y entonces entra en los espacios del suelo, este proceso se llama infiltración. De la infiltración total, una parte se cuela a las aguas subterráneas, otra es utilizada por la vegetación y evaporada nuevamente a la atmósfera por medio del proceso de levantamiento capilar. En las laderas, con un manto delgado de suelo, el agua infiltrada puede volver a la superficie mediante el movimiento lateral.

Cuando la cantidad de precipitación excede la capacidad de filtración de la tierra, ocurre usualmente un escurrimiento superficial. Después de llenar las depresiones de la superficie, este exceso corre sobre la superficie del terreno

hasta encontrar un cauce definido, mediante el cual puede finalmente desembocar en el océano o un lago o laguna.

El agua en estado líquido, al ser calentada por la energía solar o de otra manera, pasa al estado gaseoso por un fenómeno llamado evaporación. Este proceso de evaporación tiene lugar desde el agua, desde superficies mojadas tales como vegetación, y desde la tierra húmeda y manto de nieve.

Una de las funciones básicas en los procesos de vida de la vegetación involucra el proceso de extraer agua desde el suelo mediante las raíces, utilizándola para su crecimiento y mantenimiento, y expulsándola por medio de los poros a la atmósfera. Este proceso se llama transpiración.

Una porción de la precipitación que penetra la superficie como infiltración se colará en el terreno si no es absorbido por el suelo deficiente en humedad, o por rocas porosas, esta agua eventualmente alcanza un nivel totalmente saturado, conocido como el manto acuífero. La pendiente y la estructura de contención que circunda el cuerpo de agua subterránea puede ser tal como para retenerla; o el cuerpo de agua subterránea puede cruzar el lecho de un arroyo donde parte de él puede volver a un cuerpo de agua en la superficie. El agua subterránea puede fluir también a través de estratos porosos y alcanzar un nivel donde puede ser restringido por suelos más compactos, por lo tanto sujetos a presión. Si se perfora un pozo hasta ese nivel, puede ser un pozo artesiano y el agua descargada volverá a formar parte del agua superficial. La misma zona de presión puede llegar al lecho del océano y descargar el agua en el mar.

Así, la humedad atmosférica con que esta descripción del ciclo comenzó puede seguir trayectorias complejas y longitudes diversas antes de poder completar el circuito.

La cantidad de escurrimiento así como la cantidad de las estructuras de drenaje con la capacidad necesaria depende de las características de la cuenca. Un bosque o un talud de corte y relleno con una buena cobertura vegetativa tendrá relativamente poco escurrimiento. Un campo inhabitado, un área deforestada, o una superficie de camino raso tendrá un escurrimiento relativamente alto. Así el coeficiente (C) de escurrimiento del Método Racional, discutido en la próxima sección, aumenta con menos vegetación, más perturbación de la cuenca, y más superficies impermeables.

La Figura 4.2.2 muestra la disposición de la lluvia, estadísticamente qué sucede cuando llueve, y la influencia relativa de vegetación sobre escurrimiento, intercepción, y percolación. Las áreas con más vegetación tienen un porcentaje mayor de humedad que se cuela en el terreno y menor porcentaje que corre por

el suelo. Los suelos sin vegetación tienen un porcentaje más alto de escurrimiento, y menor percolación.

La Figura 4.2.3 muestra el abastecimiento de agua a los ríos, el abastecimiento total relativo, el volumen relativo de agua en zonas boscosas versus condiciones sin vegetación. Sin la vegetación, habrá más escurrimientos, más agua llegará a los cauces, y un porcentaje más alto de esa agua es de escurrimiento superficial en vez de flujo de aguas subterráneas, típicamente en corrientes de agua más rápida y asociada con mayor erosión y más baja calidad del agua. En zonas boscosas, una mayor cantidad de agua llega al manto acuífero.

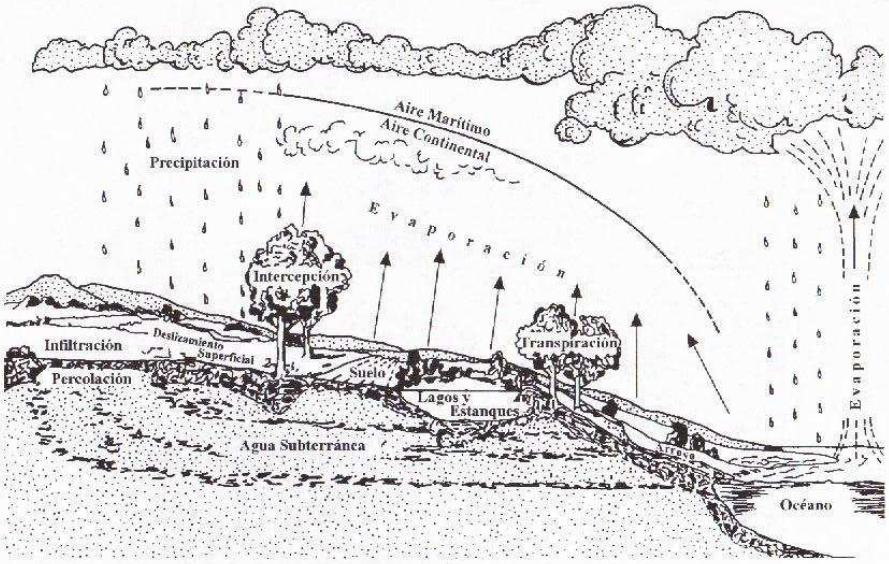


Figura 4.2.1. El ciclo hidrológico.

Fuente: Forbes, R. (1961. Page 10-2.

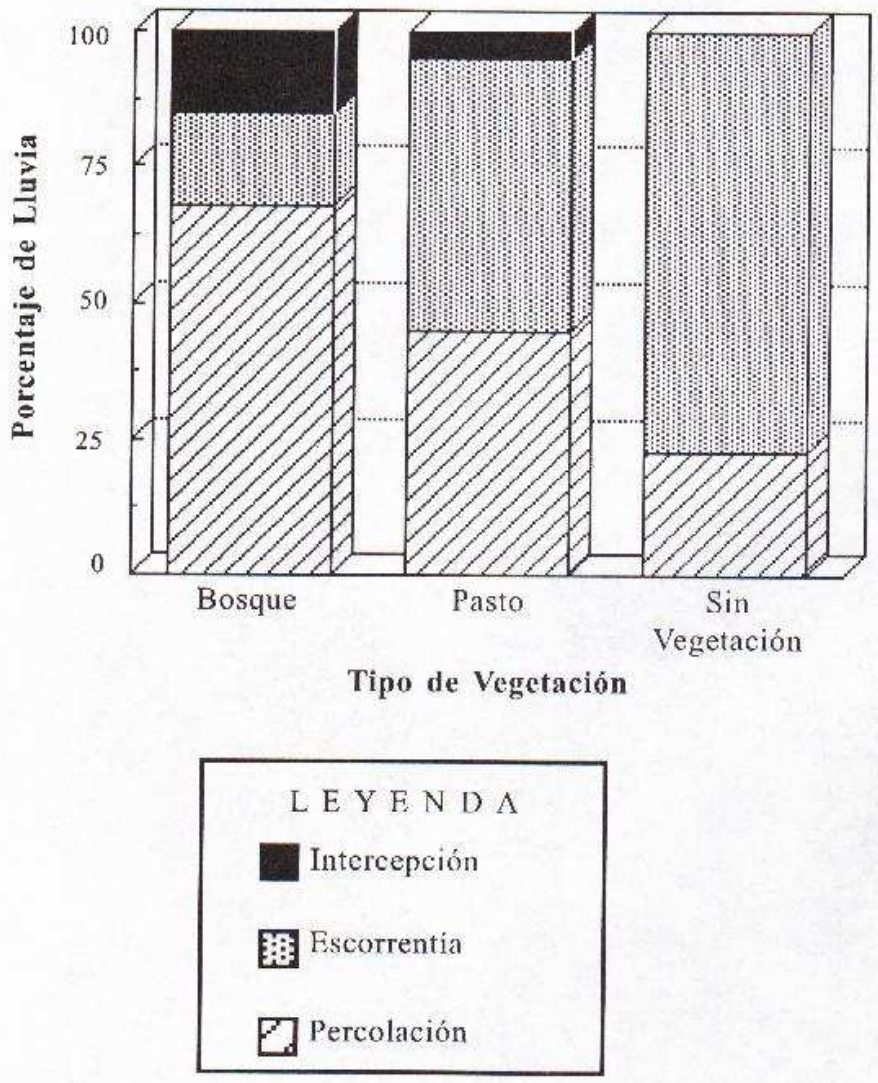


Figura 4.2.2. La influencia de la vegetación en el agua - disposición de la lluvia.

Fuente: USDA-Forest Service 1979.

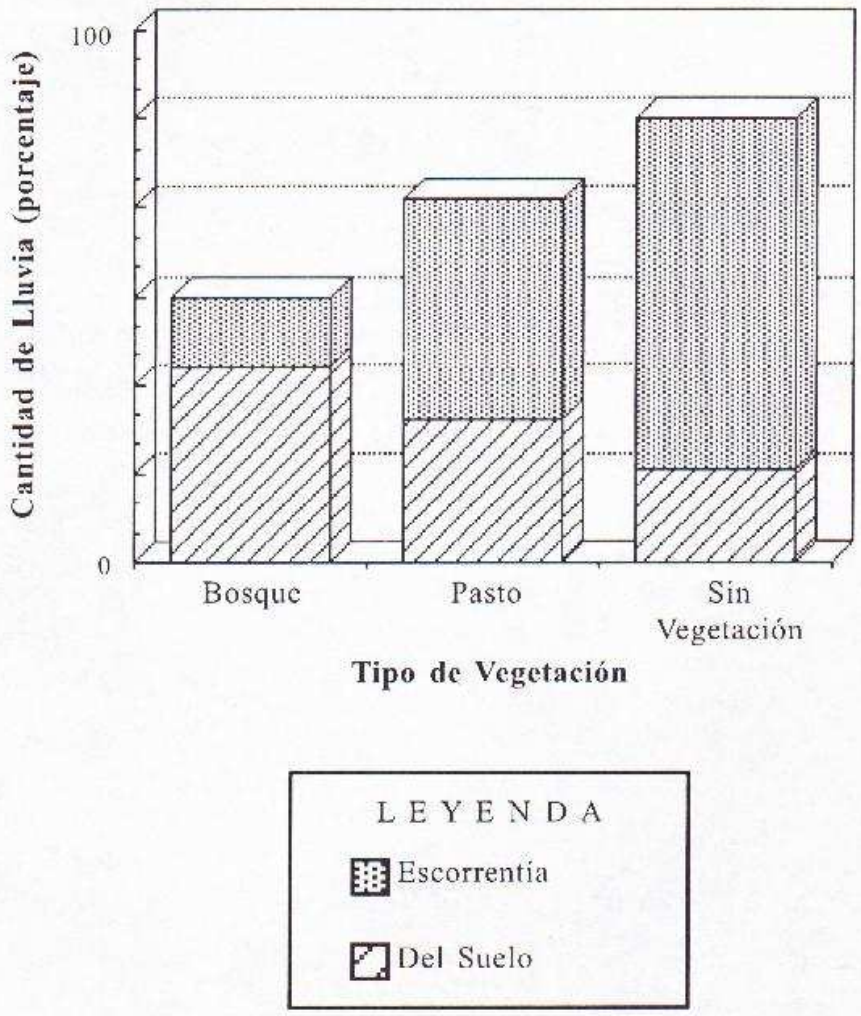


Figura 4.2.3. La influencia de la vegetación en el agua - abastecimiento de los ríos.

Fuente: USDA-Forest Service 1979.

SECCIÓN 4.3.
MÉTODO RACIONAL: FÓRMULA PARA CALCULAR ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

La Fórmula Racional es una herramienta muy utilizada para medir descargas de pequeños drenajes. Se adapta muy bien para la determinación de la escorrentía para drenaje superficial de caminos y descargas para alcantarillas de pequeñas cuencas. Se obtienen mejores resultados para cuencas no mayores de 120 has. (300 acres), pero puede utilizarse para estimar cuencas grandes, con menos precisión, si otros métodos no son aplicables o disponibles. Se asume que la intensidad de lluvia es uniforme sobre el área de drenaje para un tiempo considerado.

La fórmula para el Método Racional es la siguiente:

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

donde Q = la cantidad de escorrentía, en metros cúbicos por segundo (m^3/s)

C = el coeficiente de escorrentía. El coeficiente es seleccionado para reflejar las características de la cuenca como topografía, tipo de suelo, vegetación y uso de la tierra.

i = intensidad promedio de lluvia para la frecuencia seleccionada y para la duración igual al tiempo de concentración, en milímetros por hora.

A = el área de la cuenca en hectáreas.

Nota: Para calcular los resultados con el sistema de medidas americanas se usa la siguiente conversión:

$$\frac{Q_{(mcs)}}{0.0283} = \textbf{pies cúbicos por segundo}$$

Coeficientes de escorrentía "C" Se encuentran en la Tabla 4.3.1. Estos valores reflejan las diferentes características de las cuencas, las cuales influyen en la escorrentía. El diseñador utilizará su juicio para seleccionar el valor apropiado de C dentro del rango mostrado. En cuencas complejas puede usarse un promedio ponderado de las diferentes áreas y los correspondientes valores de C y determinar un valor completo de C. Note que los valores de C pueden cambiarse para el diseño del período de vida de la estructura. En las áreas que se vuelven más desarrolladas, más caminos serán construidos en una misma cuenca, la escorrentía puedrá incrementarse; también, si un área forestada es cortada hay mayor exposición de suelo desnudo, entonces el coeficiente de escorrentía y la escorrentía podrán incrementarse.

Área (A) es simplemente el área de la cuenca, la cual contribuye a la escorrentía del agua de la alcantarilla. Los límites van desde la divisoria de aguas a los pies de talud de la alcantarilla. Sobre la superficie de rodadura, el "Área de drenaje" es la parta alta del talud de corte y la superficie de rodadura, el área que está entre alcantarillas o cunetas. El área de una cuenca natural pequeña es mejor determinarla usando un mapa topográfico de la región.

La Intensidad de la Lluvia (i) es el tercer factor y uno de los más difíciles de obtener y está expresado como el promedio de intensidad de lluvia en mm/hr para una selección de frecuencia de recurrencia y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Al inicio de la tormenta, la escorrentía parte desde la distancia más lejana de la cuenca, que no alcanza el punto de descarga, y cuando el agua alcanza el punto de descarga, encontramos el tiempo de concentración, entonces, puede suceder un paso de corriente permanente. Este período inicial es el Tiempo de Concentración (Tc). Para cuencas muy pequeñas, un tiempo mínimo de concentración recomendado es de 5 minutos, para encontrar la intensidad utilizando una determinada descarga de diseño. El tiempo de concentración para cuencas pequeñas puede determinarse utilizando la Figura 4.3.1., basado en la longitud de viaje y la altura del punto más lejano de la cuenca. Para cuencas grandes, el tiempo de concentración puede ser obtenido de los datos de la corriente o de una inspección de campo. Cuando los

datos locales no se puedan obtener, el tiempo de concentración puede ser determinado usando una ecuación empírica desarrollada por Kirpich. Esta ecuación es:

$$T_c = 0.00013 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

donde Tc = tiempo de concentración.

L = distancia máxima de flujo de agua en pies.

S = pendiente promedio del cauce (H/L), donde H es la máxima diferencia de altura en la cuenca.

Factores de ajuste para el tiempo de concentración por varias condiciones de la cuenca se muestran en las notas de la Figura 4.3.1.

Una vez se determina el tiempo de concentración, este tiempo es usado con una intensidad - duración de lluvia y una curva de frecuencia semejante a la mostrada en las Figuras 4.3.2 y 4.3.3. La Figura 4.3.2 pertenece al área de Quetzaltenango ubicada al Occidente de Guatemala y representa una curva intensidad - duración de lluvia para una precipitación relativamente alta del área semi-tropical. La Figura 4.3.3 es de Aiquile, de los Valles Altos de la Región Central de Bolivia y representa una región árida.

La curva intensidad-duración-frecuencia de lluvia es desarrollada para una región particular o área específica, basada en datos hidrológicos frecuentemente obtenibles. Si en un área dada se conoce anticipadamente que trabajarán muchos drenajes, deberá consultarse a un hidrologista para que desarrolle curvas de intensidad y duración de lluvia para esa área específica. Como la duración (tiempo) de una tormenta decrece, la intensidad se incrementa. Así en cuencas muy pequeñas y drenajes de la superficie del camino, donde el tiempo de concentración es muy pequeño, deberá diseñarse para eventos relativamente de alta intensidad.

También la frecuencia o período de retorno para el diseño deberá ser considerado. Como los períodos de retorno estadísticamente se incrementan, el período de retorno normal utilizado para las estructuras de drenaje es de 10 a 25 años, así como el período de retorno utilizado para estructuras grandes como

puentes es de 50 a 100 años . Si se usa un período de retorno más grande, tendrá riesgo que ocurra un evento grande que el diseño no ha considerado durante la vida útil de la estructura.

Si las curvas de intensidad de lluvia existen para una región dada y un período de retorno y duración particular, éstos pueden ser ajustados para un período de retorno de duración específicos, usando factores de correlación estándar que se encuentran en textos de hidrología. También las ecuaciones pueden ser desarrolladas en regiones específicas para determinar la intensidad de lluvia, para algunos valores de tiempo de concentración. Ejemplos de algunas ecuaciones son:

En la Zona del Atlántico de Guatemala se usan las curvas de intensidad de lluvia del Ing. F. José Ochoa. En el diseño de redes superficiales hasta un diámetro de 1.5 metros, se usará la ecuación correspondiente a una probabilidad de 10 años. La ecuación es:

$$I = \frac{4203}{t + 23} \text{ mm/hora}$$

donde t = tiempo de concentración en minutos

Para alcantarillas mayores de 1.5 metros, con una probabilidad de 20 años, la ecuación es:

$$I = \frac{4604}{t + 24} \text{ mm/hora}$$

En la Zona del Pacífico de Guatemala se usan curvas de intensidad de lluvia del Observatorio Nacional. Para el diseño de redes superficiales hasta un diámetro de 1.5 metros y una curva correspondiente a una probabilidad de 10 años, se usará la ecuación:

$$I = \frac{5774}{t + 37} \text{ mm/hora}$$

Para alcantarillas mayores de 1.5 metros, con una probabilidad de 20 años, la ecuación es:

$$I = \frac{5785}{t + 33} \text{ mm / hora}$$

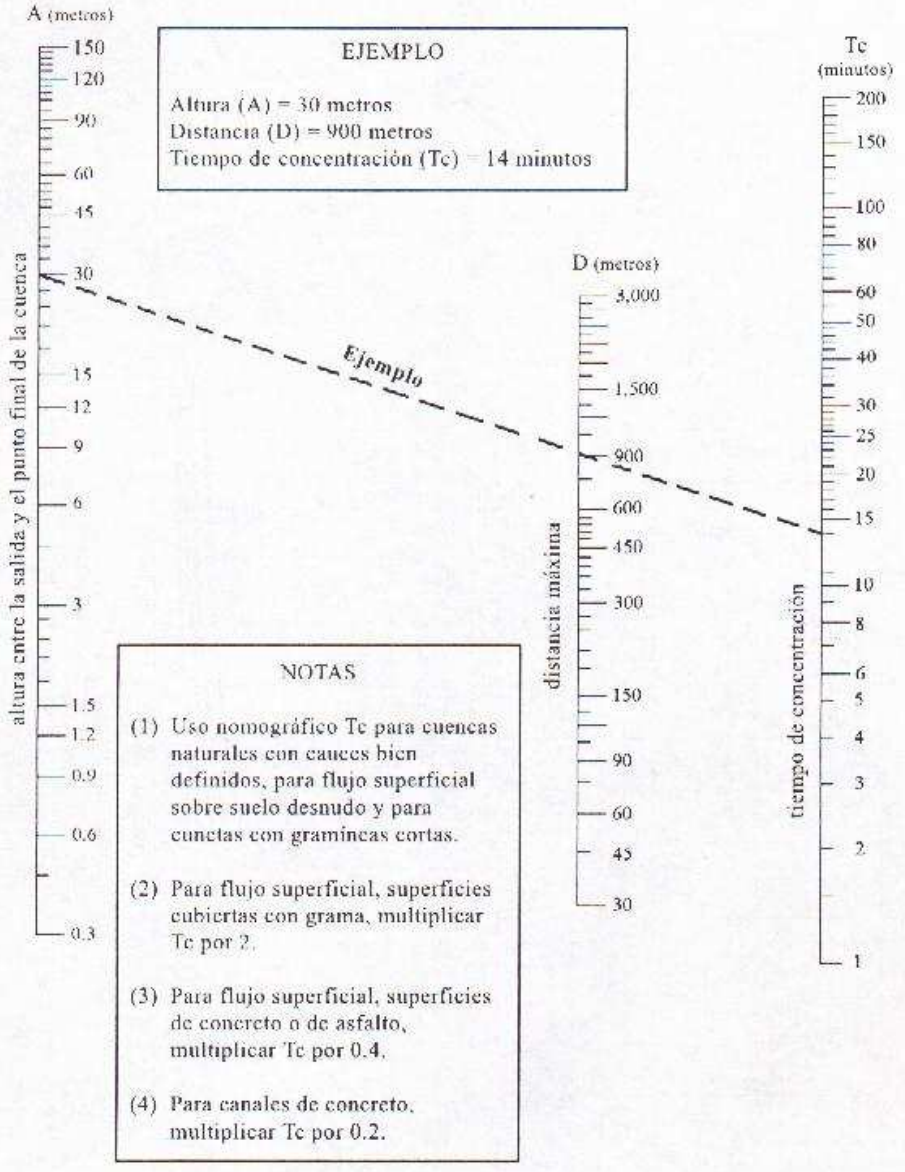


Figura 4.3.1. Tiempo de concentración (Tc) de cuencas pequeñas.

Fuente: Civil Engineering, 1940.

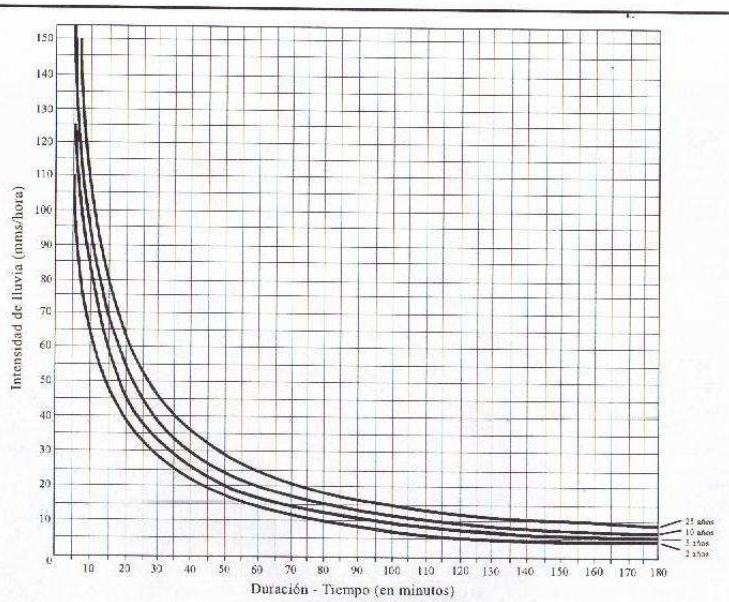


Figura 4.3.2. Curvas de intensidad de lluvia representando uh clima semi-tropical de Quetzaltenango, Guatemala.

Fuente: García, Luis E. 1965.

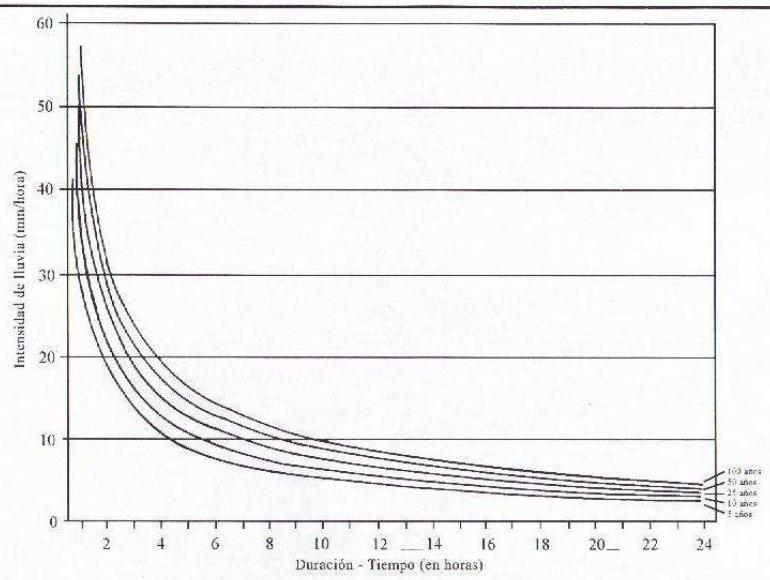


Figura 4.3.3. Curvas de intensidad de lluvia representando un clima árido de Aiquile, Bolivia.

Fuente: Seeley, C. comm. pers.

Tabla 4.3.1. Método Racional: valores de coeficiente de escorrientia "C".

Uso de La Tierra	Valor C
Agricultura	
Suelo desnudo	
Liso	0.30-0.60
Áspero	0.20-0.50
Suelo cultivado	
Suelo pesado sin cultivos	0.30-0.60
Suelo pesado con cultivos	0.20-0.50
Suelo arenoso sin cultivos	0.20-0.40
Suelo arenoso con cultivos	0.10-0.25
Pasto	
Suelo pesado	0.15-0.45
Suelo arenoso	0.05-0.25
Bosque	
Bosques en áreas de terreno plano y praderas	0.05-0.25
Bosques en áreas con mucha pendiente	0.15-0.40
Suelo desnudo en áreas inclinadas y rocosas	0.70-0.90
Caminos	
Pavimento de asfalto	0.80-0.90
Pavimento empedrado o adoquines	0.75-0.85
Pavimento de macadam	0.25-0.80
Caminos de acceso	
Con balasto	0.40-0.80
Sin balasto	0.20-0.80
Áreas Desarrolladas	
Zonas comerciales o en el centro de ciudades	0.70-0.95
Zonas residenciales	0.30-0.70
Parques y campos deportivos	0.10-0.30

EJEMPLO 4.3.1.

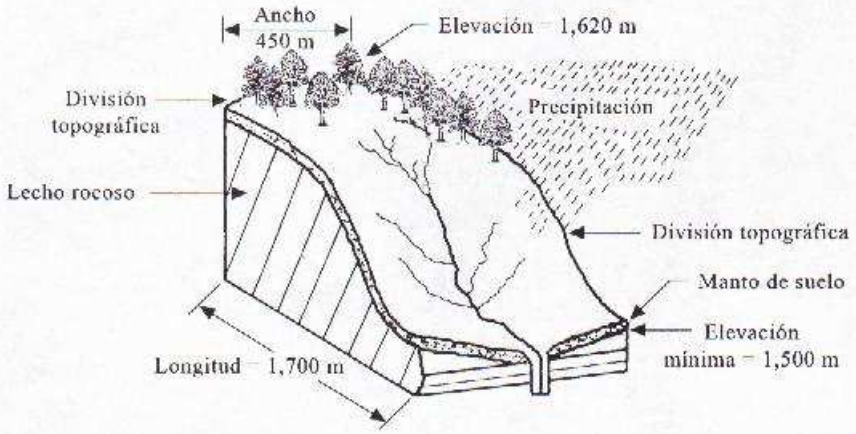
CÁLCULO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE UNA CUENCA USANDO LA FÓRMULA RACIONAL

Este ejemplo representa una pequeña cuenca hipotética en una zona montañosa cercana a Quetzaltenango, Guatemala.

A) ¿Cuál es la cantidad de escorrentía (descarga) de la cuenca dibujada abajo?

B) ¿Cuál es la descarga de esta cuenca después de cortar aproximadamente 50% del bosque?

Figura 4.3.4. Esquema de una cuenca hidrográfica.



Los Pasos para Calcular la Escorrentía de una Cuenca

Paso #1 Determinar el coeficiente (C) de escorrentía para un bosque de un área con pendiente moderada.

Paso #2 Determinar el área de la cuenca.

Paso #3 Determinar el cambio (Δ) de elevación y el longitud de vía de agua.

Paso #4 Determinar el tiempo de concentración del flujo.

Paso #5 Determinar la intensidad de lluvia para el tiempo deseado (como 2, 5, 10 ó 25 años) y por el tiempo de concentración de lluvia calculado en el Paso #4.

Paso #6 Determinar la descarga con la Fórmula Racional.

Solución para Pregunta A:

Paso #1 Usando la Tabla 4.3.1, el coeficiente C de escorrentía para un bosque de un área con pendiente moderada es igual a **0.15**.

Paso #2 Usando el esquema de la cuenca, el ancho es 450 m y la longitud es de 1,700 m, el área de la cuenca es igual a:

$$\text{area} = (450\text{ m})(1{,}700\text{ m})$$

$$\text{area} = \frac{765{,}000\text{ m}^2}{10{,}000} = \mathbf{76.5\ ha}$$

Paso #3 Usando el esquema de la cuenca la elevación máxima es 1,620 m y la elevación mínima es 1,500m, pues el Δ de elevación es igual a:

$$\Delta \text{ elevación} = 1{,}620 \text{ m} - 1{,}500 \text{ m}$$

$$\Delta \text{ elevación} = \mathbf{120\ m}$$

Paso #4 Usando la Figura 4.3.1, para una altura de 120 m y longitud de 1,700 m el tiempo de concentración es igual a **17.5 minutos**.

Paso #5 Usando la Figura 4.3.2, para frecuencia de 25 años y tiempo de concentración de 17.5 minutos la intensidad de lluvia es igual de **75 mm/hora**.

Paso #6 Usando la Fórmula Racional la solución es:

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

$$Q = \frac{(0.15)(75)(76.5)}{362}$$

$$Q = \mathbf{2.38\ m^3/segundo}$$

Solución para Pregunta B:

Paso #1 Usando la Tabla 4.3.1, el coeficiente C de escorrentía para una cuenca con mucha pendiente después de cortar aproximadamente 50% del bosque es igual a **0.40**.

Paso #2 Igual a paso # 2, de PregUnta A.

Paso #3 Igual a paso # 3 de Pregunta A.

Paso #4 Igual a paso # 4 de Pregunta A. Nota—Como hay menos vegetación, es posible que el tiempo de concentración sea menor

Paso #5 Igual a paso #5 de Pregunta A.

Paso #6 Usando la Fórmula Racional la solución es:

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

$$Q = \frac{(0.40)(75)(76.5)}{362}$$

$$Q = \mathbf{6.34\ m^3/segundo}$$

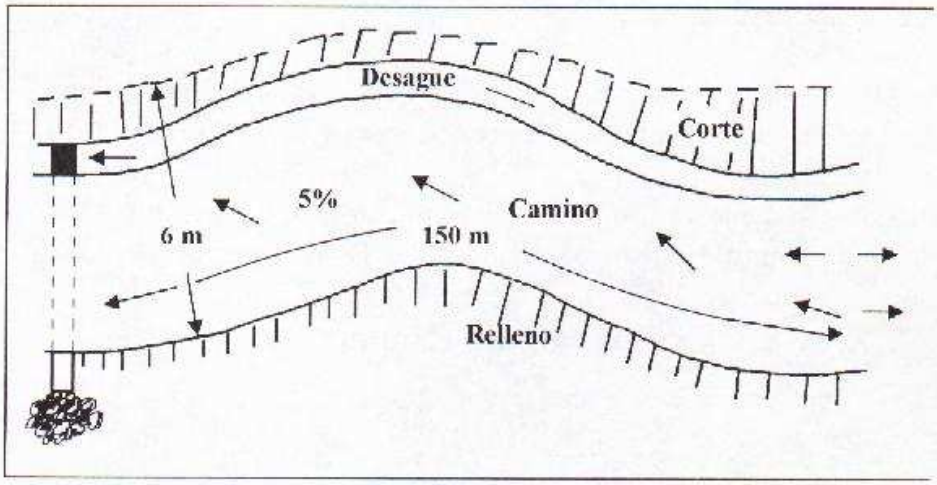
EJEMPLO 4.3.2.

CÁLCULO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE UN ÁREA DE DRENAJE DE UN CAMINO RURAL, USANDO LA FÓRMULA RACIONAL

Para este ejemplo, se tomó una sección hipotética de la parte interna de un camino (cuenca de talud y camino) en Quetzaltenango, Guatemala.

1. ¿Cual es la cantidad de escorrentía del tramo del camino rural en el siguiente dibujo?

Figura 4.3.5. Esquema de un camino rural



Los Pasos para Calcular la Escorrentía de una "Cuenquita"

Paso #1 Determinar el coeficiente (C) de escorrentía para la superficie de un camino rural con suelo compactado y duro.

Paso #2 Determinar el área de la "cuenquita".

Paso #3 Determinar el cambio (Δ) de elevación y la longitud de vía del agua.

Paso #4 Determinar el tiempo de concentración de lluvia (Tc)

Paso #5 Determinar la intensidad de lluvia para el tiempo deseado (como 2, 5, 10 ó 25 años) por el tiempo de concentración de lluvia calculado en Paso #4.

Paso #6 Determinar la descarga con la Fórmula Racional.

Solución a la Pregunta

Paso #1 Usando la Tabla 4.3.1, el coeficiente C de escorrentía para una camino rural con suelo compactado y duro es igual a **0.70**.

Paso #2 Usando el esquema del camino rural, el ancho es 6 m y la longitud es 150 m, entonces el área de la cuenca es igual a:

$$\text{area} = (6\text{ m})\,(150\text{ m})$$

$$\text{area} = \frac{900\text{ m}^2}{10{,}000} = \mathbf{0.09\ ha}$$

Paso #3 Usando el esquema del camino rural, el cambio de la elevación es calculado así:

$$\Delta \text{ elevación} = (150 \text{ m})(5\% \text{ de pendiente})$$

$$\Delta \text{ elevación} = \mathbf{7.5\ m}$$

Paso #4 Usando la Figura 4.3.1, para altura de 7.5 m y longitud de 150 m el tiempo de concentración es igual a 3 **minutos**. (Típicamente se usa un tiempo de concentración mínimo de **5 minutos**)

Paso #5 Usando la Figura 4.3.2, para frecuencia de 25 años y tiempo de concentración de 5 minutos la intensidad de lluvia es igual a **155 mm/hora**.

Paso #6 Usando la Fórmula Racional la solución es:

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

$$Q = \frac{(0.70)(155)(0.09)}{362}$$

$$\mathbf{Q = 0.027\ m^3/segundo}$$

SECCIÓN 4.4.
MÉTODO DE TALBOT - FÓRMULA PARA ESTIMAR EL ÁREA DE DESCARGA A APLICARSE EN UNA ESTRUCTURA DE DRENAJE

El diseño hidráulico de una obra consiste en calcular el área necesaria para dar paso al volumen de agua que se concentra a su entrada, para ello se requiere de un estudio previo que abarca precipitación pluvial, área, pendiente y formación geológica de la cuenca, además del uso que tendrá el terreno aguas arriba de la alcantarilla.

Para calcular el área hidráulica necesaria en una obra de drenaje, se pueden utilizar diferentes métodos, como el Método Racional con uso de la Fórmula de Manning. Para hacer una estimación preliminar del tamaño de alcantarillas (drenaje menor) generalmente se usa la Fórmula de Talbot.

La Fórmula de Talbot fue determinada mediante observaciones en zonas de alta precipitación pluvial (máxima 100 mm/ha), en el medio oeste de los Estados Unidos. Su expresión es:

$$a = 0.183CA^{3/4}$$

donde a = área hidráulica necesaria en la obra en metros cuadrados (m^2).

A = área de la cuenca en hectáreas (ha).

C = Coeficiente que varía de acuerdo a las características del terreno:

- C = 1.0 para terrenos montañosos con suelos de roca y pendientes pronunciadas.
- C = 0.65 para terrenos quebrados con pendientes moderadas.
- C = 0.50 para cuencas irregulares muy largas.

C = 0.33 para terrenos agrícolas ondulados, en los que el largo de la cuenca es de 3 a 4 veces el ancho.

C = 0.20 para terrenos llanos, sensiblemente horizontales, no afectados por inundaciones fuertes.

Nota: En terrenos permeables, estos valores de C, deben disminuirse en 50%, por lo que además de la formación geológica de la zona se debe conocer el tipo de cubierta vegetal y el uso futuro del terreno.

Pasos para Usar el Método Talbot (Utilizando Mapas Topográficos)

1. Definir el área de la cuenca:

Delimitando la partición de aguas que llegan a la cuenca al medir. Una forma clave de definir esta área consiste en marcar todos los cursos de fondos o cauces de la cuenca, luego delimitar todas las particiones de aguas o divisorias de aguas, deberá ser un circuito cerrado, partiendo desde el punto de interés para el paso por éste, luego siguiendo en dirección de las agujas del reloj, por todas las divisorias hasta completar el circuito.

El área hidráulica de la cuenca, se puede obtener por diferentes métodos topográficos o utilizando fotografías aéreas, que simplifican mucho los trabajos.

2. Medir el área:

La medición para el cálculo inmediato puede hacerse aproximado; contando la cuadrícula de mercator o del mapa topográfico si se cuenta con instrumentos de mediciones, mejorará la exactitud del cálculo (planímetros, curvímetros u otros), debiendo conocer la escala del mapa y las distancias entre cada cuadrícula.

3. Determinar el Coeficiente "C":

De acuerdo a la clasificación de colores y simbología de vegetación del mapa se identifica el terreno si es cultivado, bosque, suelo desnudo, pasto, etc. Con las curvas de nivel se establece la forma (montañoso, ondulado, plano) y su pendiente. Usando esta información como base, se selecciona uno de los valores de C.

4. Cálculo del área hidráulica:

Use la Fórmula de Talbot para calcular el área hidráulica.

5. Determinar el área hidráulica necesaria en la alcantarilla:

Utilizando el nomograma de la Figura 4.4.1, en función del área drenada A (Paso #1) y el coeficiente C (Paso #3), se obtiene el área hidráulica necesaria en la alcantarilla y si se trata de un tubo, se encuentra su diámetro.

La Figura 4.4.2 nuevamente presenta una solución gráfica de la fórmula de Talbot en medidas americanas, donde las áreas están en acres y pies cuadrados.

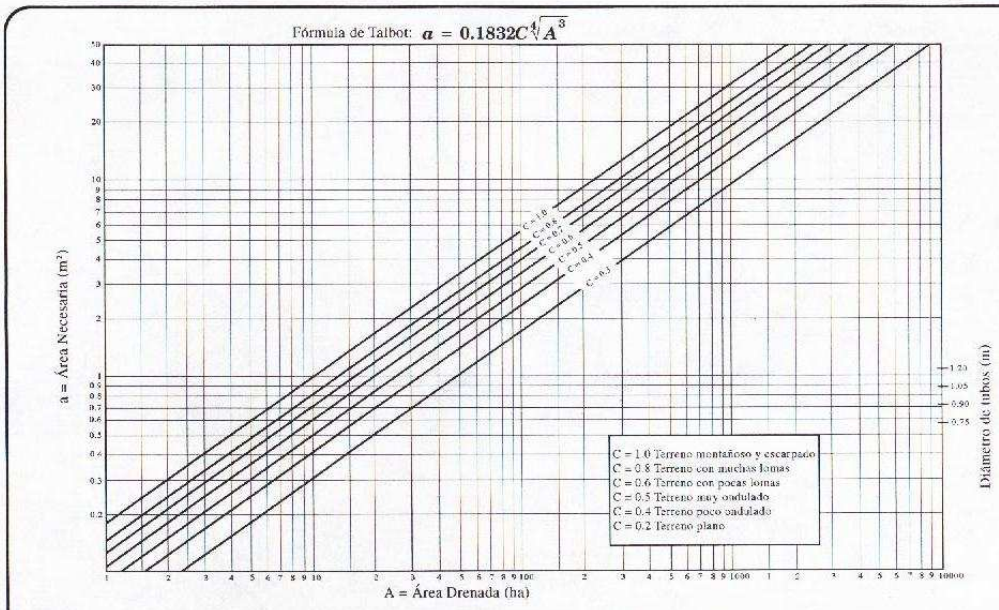


Figura 4.4.1. Nomograma para resolver la Fórmula de Talbot (Sistema Métrico).

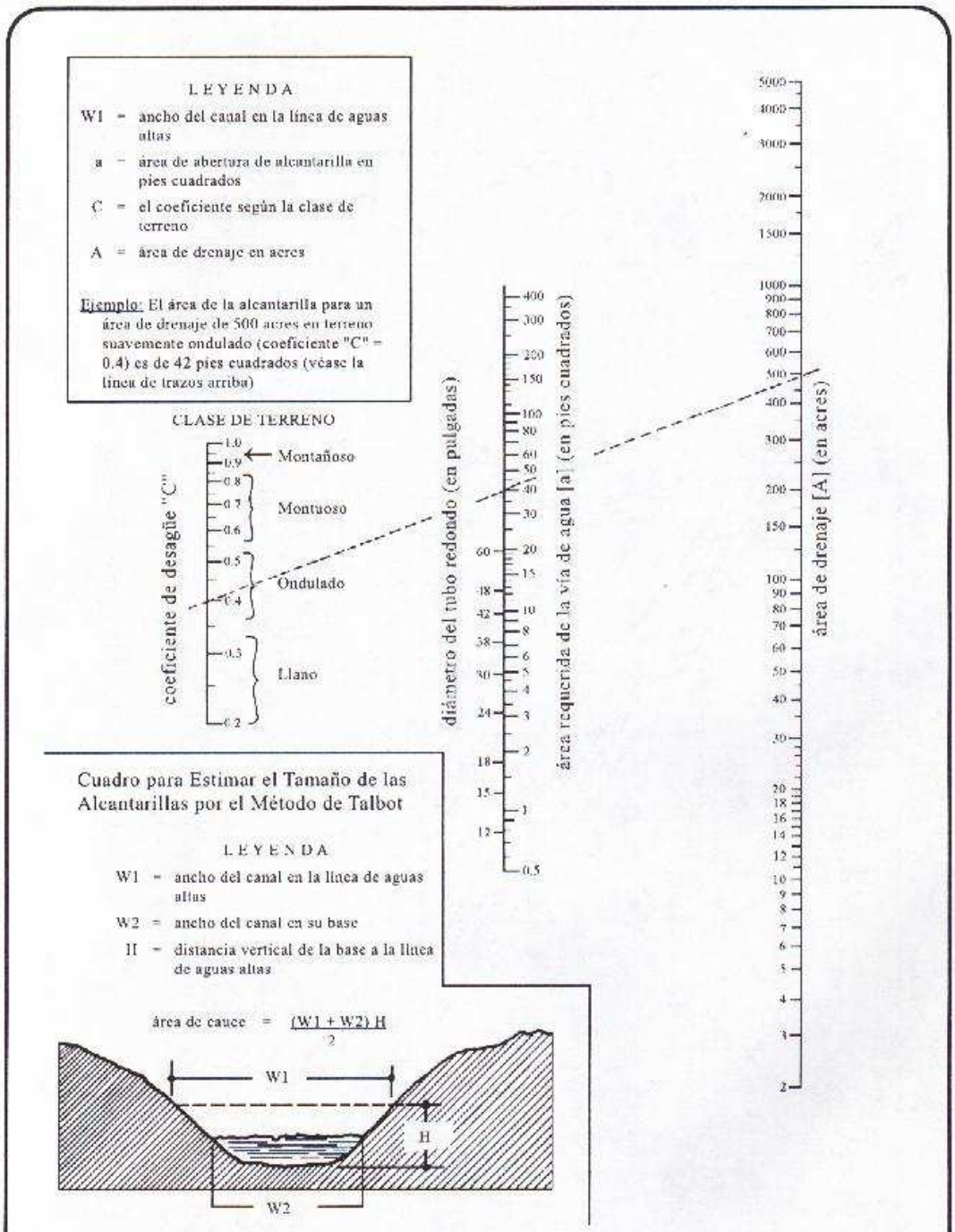


Figura 4.4.2. Nomograma para resolver la Fórmula de Talbot (Sistema Americano).

EJEMPLO 4.4.1.

CÁLCULO DEL ÁREA HIDRÁULICA USANDO EL MÉTODO DE TALBOT

Para este ejemplo, se escogió un camino rural en la Región del Valle Alto de Bolivia entre Cochabamba y Sucre. Se desea colocar una estructura en el camino a mejorar de Mizque a Aiquile, sobre la confluencia de dos quebradas, Huirki Khocha y Tunas Khasa en el poblado de Estancia Pojo (Figura 4.4.3).

1. ¿Cuál es el área hidráulica de la obra, necesaria para pasar el flujo de la cuenca?

Los Pasos para Calcular el Área Hidráulica:

Paso #1 Definir el área de la cuenca.

Paso #2 Medir el área de la cuenca.

Paso #3 Determinar el coeficiente (C) de escorrentía para el terreno de la cuenca.

Paso #4 Determinar el área hidráulica necesaria en la obra con la Fórmula de Talbot.

Solución para la Pregunta

Paso #1 Definir el área de la cuenca y marcar los cauces de agua (Figura 4.4.4).

Paso #2 Medición del área de la cuenca.

La escala del mapa es de 1:50,000 y cada cuadrícula es de 1 kilómetro por lado, contando los cuadros es aproximadamente:

$$A = 8.2 \text{ cuadros} = 8.2 \text{ km}^2$$

$$A = (8.2 \text{ km}^2)(100 \text{ ha/km}^2)$$

$$A = 820 \text{ ha}$$

Paso #3. Determinación de "C"

Conforme las curvas de nivel, se establece que el terreno donde pasa la quebrada es montañoso, sin vegetación con pendientes moderadas y el suelo es predominantemente aluvial, con sedimentación, por lo que no es permeable, así conforme la clasificación de "C" este es:

$$C = 0.65 \text{ (terreno quebrado, pendiente moderada)}$$

Paso #4. Aplicando la Fórmula de Talbot tenemos:

$$a = 0.183CA^{3/4}$$

datos A = 820 hectáreas

C = 0.65

a = $0.183\ (0.65)\ (820)^{3/4} = 0.183\ (0.65)\ (153)$

a = $18.23\ m^2$

Aplicando el nomograma en la Figura 4.4.1, se localiza en la horizontal el número de hectáreas (820 ha) y luego el valor "C" de aproximadamente el área de descarga en la coordenada vertical:

$$a = 18.5\ m^2$$

El área resultante denota que pasa una gran cantidad de agua por lo que la estructura a emplear deberá tener la capacidad y forma adecuada para su eficiencia (caja, bóveda, puente menor o badén).

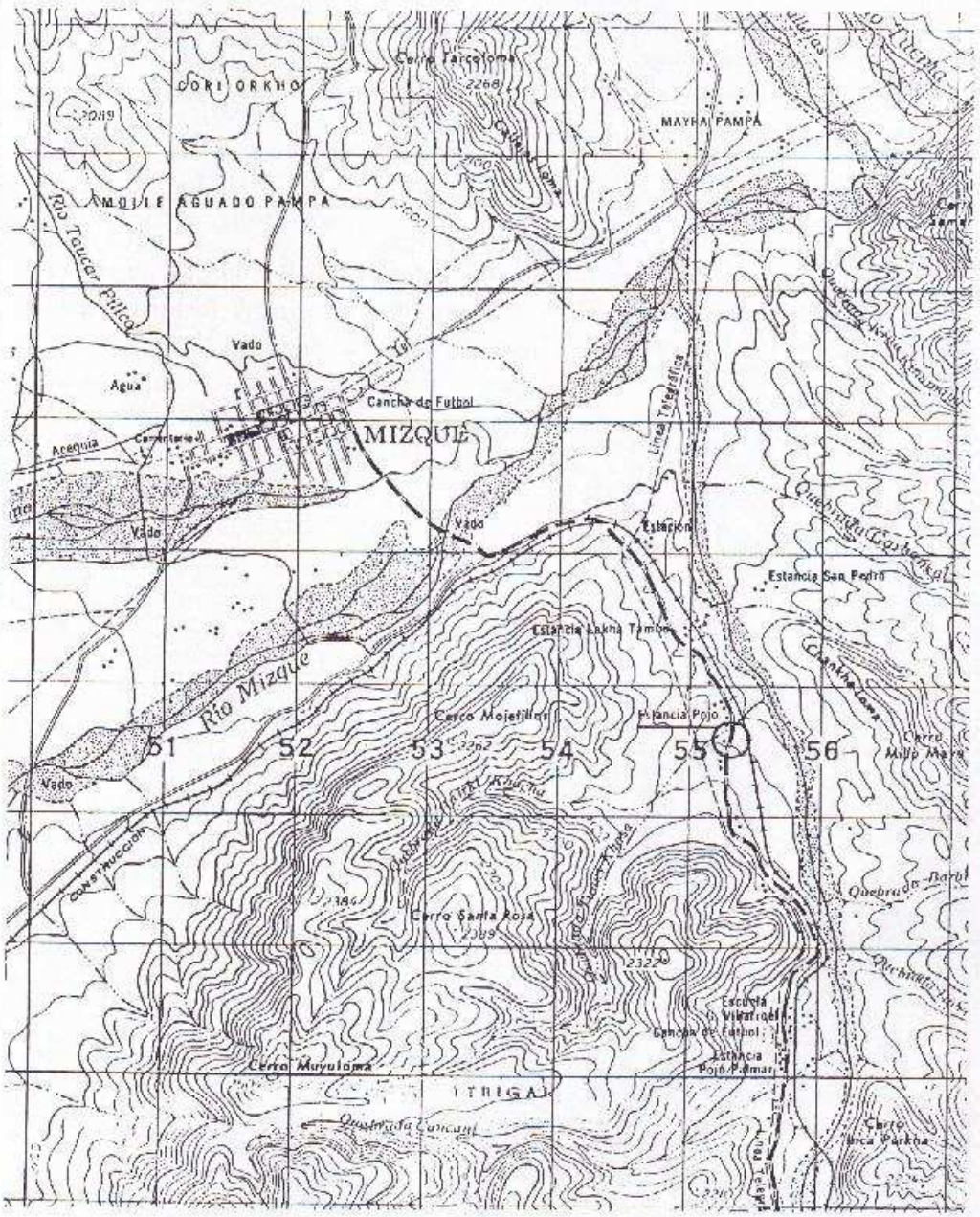


Figura 4.4.3. Mapa topográfico Mizque, Bolivia - Estación de Control "Pojo"

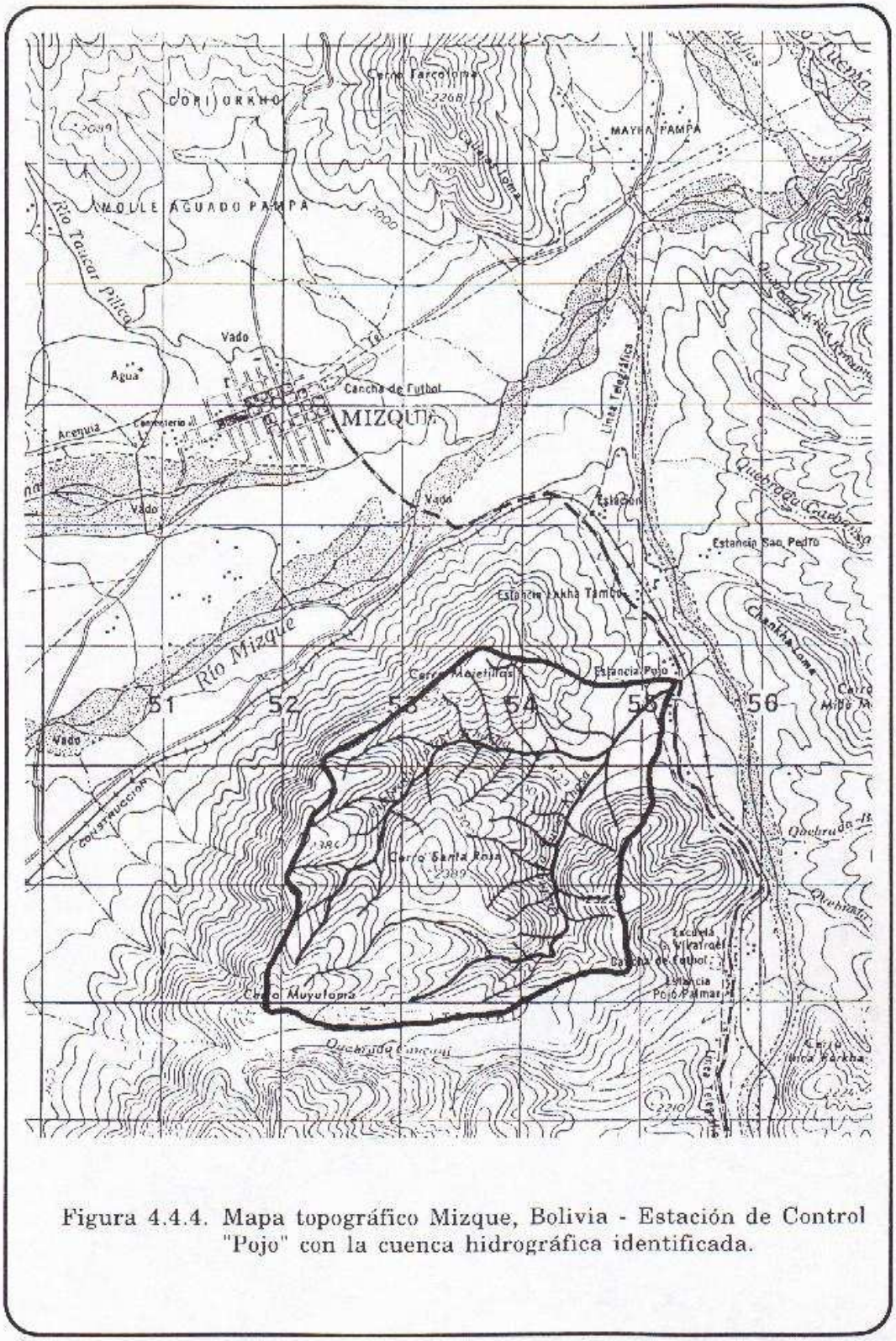


Figura 4.4.4. Mapa topográfico Mizque, Bolivia - Estación de Control "Pojo" con la cuenca hidrográfica identificada.

Capítulo 5

Información General Sobre Diseño Hidráulico, Zampeado, Filtros y Geotextiles

SECCIÓN 5.1.
FÓRMULA DE MANNING PARA CALCULAR VELOCIDAD DE DESCARGA DE ALCANTARILLAS, DRENAJES NATURALES Y TUBERÍAS

La Fórmula de Manning es una de las ecuaciones más utilizadas en análisis hidráulico y diseño de estructuras de drenaje. Se aplica a cauces naturales, arroyos, ríos, canales, zanjas, badenes o rampas. En otras formas, se aplica la ecuación también en tubos redondos, trabajando a sección llena pero sin presión.

El agua escurre en un canal de drenaje inclinado por la fuerza de gravedad. La corriente o flujo tienen una resistencia por fricción entre el agua y la superficie mojada del canal. La cantidad de agua fluyendo (Q), la profundidad del caudal, y la velocidad de corriente (V) depende de la foma del canal, rugosidad y pendiente (S). Algunas ecuaciones tienen diversas expresiones de la escorrentía de agua en canales abiertos.

Una de las ecuaciones usuales para diseño de canales es la Fórmula de Manning, llamada así por Robert Manning, un Ingeniero Irlandés. Esta ecuación determina la velocidad principal del flujo, en función de la forma del canal, rugosidad y pendiente.

La cantidad de descarga del canal (Q) es entonces el producto de la velocidad (V) y el área del canal (A). Para resolver la descarga (Q) de drenajes, canales, o alcantarillas se usa la siguiente fórmula:

Descarga= (Velocidad) (Área)

o

$$Q = (V)(A)$$

donde Q = la cantidad de descarga, en metros cúbicos por segundo (m^3/s)

V = velocidad promedio de descarga (metros/segundo) (m/s)

A = área de la sección transversal de cauce (metros cuadrados, m^2)

Para calcular la velocidad (V) del flujo en cualquier canal o cauce en la fórmula de descarga, se debe usar la "Fórmula de Manning".

1. Fórmula de Manning para calcular velocidad de descarga de canales abiertos y drenajes naturales

A. Para resolver en Metros por Segundo:

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

donde
- V = velocidad promedio de descarga (metros/segundo) (m/s)
- n = coeficiente de rugosidad (normalmente 0.04 - 0.07 para drenajes naturales; ver Tabla 5.1.1 para valores más específicos de "n")
- R = radio hidráulico (metros) = A/P
  donde A y P son:
  - A = área de sección transversal de canal (m^2)
  - P = perímetro mojado(m)
- S = pendiente del canal (metro/metro, m/m)

B. Para resolver en Pies por Segundo (Sistema Americano):

$$V = \frac{1.49}{n}(R^{2/3})(S^{1/2})$$

donde
- V = velocidad promedio de descarga (pie/segundo)
- n = coeficiente de rugosidad (0.04 - 0.07 para drenajes naturales; ver Tabla 5.1.1 para valores más específicos de n)
- R = radio hidráulico (pie) = A/P
  donde A y P son:
  - A = área de sección transversal del canal

P = perímetro mojado
S = pendiente del canal (pie/pie)

2. La Fórmula de Manning para calcular la velocidad de descarga de agua en las tuberías redondas (sin presión, llenas)

$$V = \frac{0.03428}{n}(D^{2/3})(S^{1/2})$$

donde
V = velocidad flujo a sección llena (metros/segundo)
n = coeficiente de rugosidad
(normalmente 0.015 - 0.03 para tubería;
ver Tabla 5.1.2 para valores más específicos de "n")
D = diámetro sección redonda (pulgadas)
S = pendiente de la gradiente hidráulica (metro/metro)

El Coeficiente de Rugosidad "n" varía considerablemente dependiendo de las características del canal o la superficie del mismo, tubería, etc. La Tabla 5.1.1 posee una lista de los valores de "n" de Manning, los cuales pueden calcularse para varios tipos de canales. Los valores de rugosidad típicamente aumentan cuando hay vegetación en el canal y el arrastre aumenta, así como en canales sinuosos. Note que algunas veces la profundidad de la corriente se incrementa con relación al tamaño de los materiales del canal (rocas) y la "rugosidad" efectiva del canal disminuye. Como la profundidad es más grande, relativamente al tamaño del material, el coeficiente se vuelve constante. La Tabla 5.1.2 presenta los valores de "n" Manning para diferentes tipos de canales y formas, zanjas y tuberías.

El radio hidráulico (R) está determinado por la sección transversal del canal (Área "A") dividida entre el perímetro mojado (P). El perímetro mojado es simplemente la distancia del ancho del canal (fondo) y los lados que están bajo agua o dentro del área (A) de la corriente.

Las pendientes (S) del canal, drenaje, etc., están determinadas por el alcance local del canal siendo analizado por la división de la altura en el alcance por la distancia de éste alcance. Puede ser el mismo promedio de pendiente determinada en el Capítulo 4 Sección 4.3 cuando se ha determinado el tiempo de concentración, o puede ser localmente diferente. En un cauce natural, se usa el promedio de pendiente de varios cientos de metros de longitud encontrados. La pendiente de un canal es típicamente medida en el campo con instrumentos de medición o clinómetros. También la pendiente puede ser chequeada o determinada

en un mapa topográfico, utilizando las diferencias en elevación entre curvas de nivel y la distancia entre el contorno cercano al sitio que está siendo analizado.

La descarga (Q) determinada por la velocidad de Manning (V) y el área (A) no tiene una precisión en el cual los cálculos pueden ser llevados. Los resultados de los cálculos de la descarga son generalmente redondeados sin causar un gran error de precisión.

La Fórmula de Manning puede ser resuelta por un canal dado cuando se conoce o asume la profundidad de la corriente. Muchas veces al determinar la profundidad que una descarga dada producirá en un canal, se requiere una solución de prueba y error usando la Fórmula de Manning. El uso de nomogramas resuelve la ecuación de los cálculos hidráulicos.

La Figura 5.1.1 presenta una solución gráfica de la Fórmula de Manning usando las unidades métricas. La Figura 5.1.2 también presenta una ecuación gráfica de Manning usando unidades Inglesas. Además, algunos de los Nomogramas presentados en el Capítulo 8, ofrecen soluciones basadas en la Fórmula de Manning para velocidades de corriente y capacidad (descarga) en tipos específicos de canales.

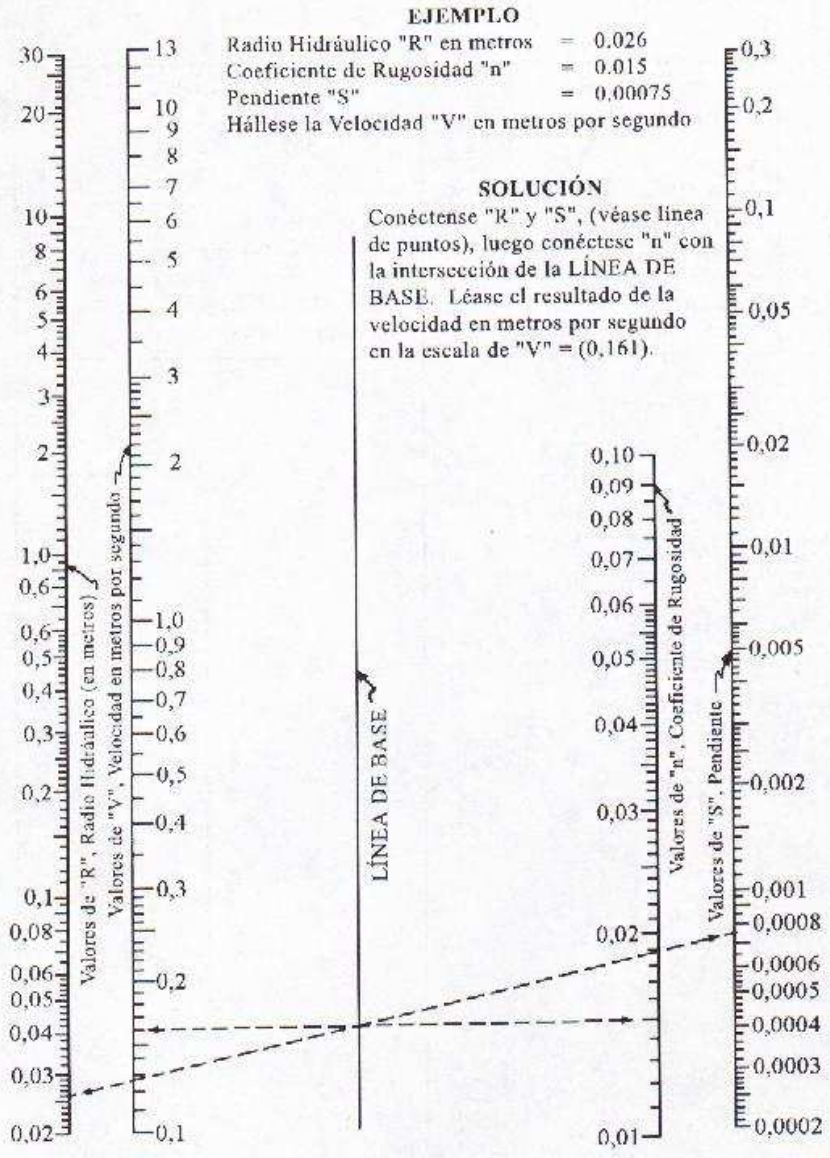
Trabajando con canales naturales, con frecuencia un canal ancho puede variar en forma con la parte de un flujo normal comenzando en una profundidad, el canal regularmente formado y parte del flujo corriendo en las afueras a lo ancho, inundando así áreas poco profundas. En cada caso, cualquiera de los valores promedio de rugosidad "n" o valor promedio para velocidad, es insignificante o engañoso. Debe ser usado juiciosamente, pero el canal pudo ser partido en dos ó más secciones lógicas o segmentos con distintas propiedades geométricas, entonces las características del canal y la velocidad son determinadas para cada segmento. Finalmente, la capacidad de flujo del canal total está determinada como la suma de cada área y la velocidad de ésta. Esta relación puede ser expresada así:

$$Q(total) = (V1)(A1) + (V2)(A2) + \ldots$$

En la determinación de la capacidad de los canales abiertos es frecuentemente sabio permitir un área mayor o extra más allá de los cálculos mostrados usando la Fórmula de Manning. Esto es porque la fórmula no cuenta los factores del canal tales como escombros. También la selección del coeficiente de rugosidad es al mismo tiempo dificultoso, así el proceso tiene espacio para error. Frecuentemente es deseable chequear la velocidad del canal y la descarga,

medir nuevamente los cálculos del nivel del agua, las cantidades "pico" de nivel y observar las mareas más altas, añadiéndole confianza al análisis.

El Ejemplo 5.1.1 muestra el uso de la Fórmula de Manning en un camino típico y la aplicación de tuberías y zanjas o cunetas. El Ejemplo 5.1.2 es un problema simple de un canal natural, semejante como para la localización de un puente pequeño, el cual es inicialmente evaluado y analiza su capacidad hidráulica usando la Fórmula de Manning. Un tratamiento más completo del uso de la Fórmula de Manning en el diseño hidráulico es presentado en "Hydraulic Design of Highway Culverts", Hydraulic Design Series No.5, FHWA, 1985, or "Design of Roadside Drainage Structures", Hydraulic Design Series No. 4, FHWA, 1973 (ver bibliografía).



NOTA: Conéctense las 2 escalas exteriores o las 2 escalas interiores con el punto común en la LÍNEA DE BASE. Nunca se deben conectar cualquiera de las escalas exteriores a cualquiera de las escalas interiores.

Figura 5.1.1. Nomograma para resolver la Fórmula de Manning en el Sistema Métrico.

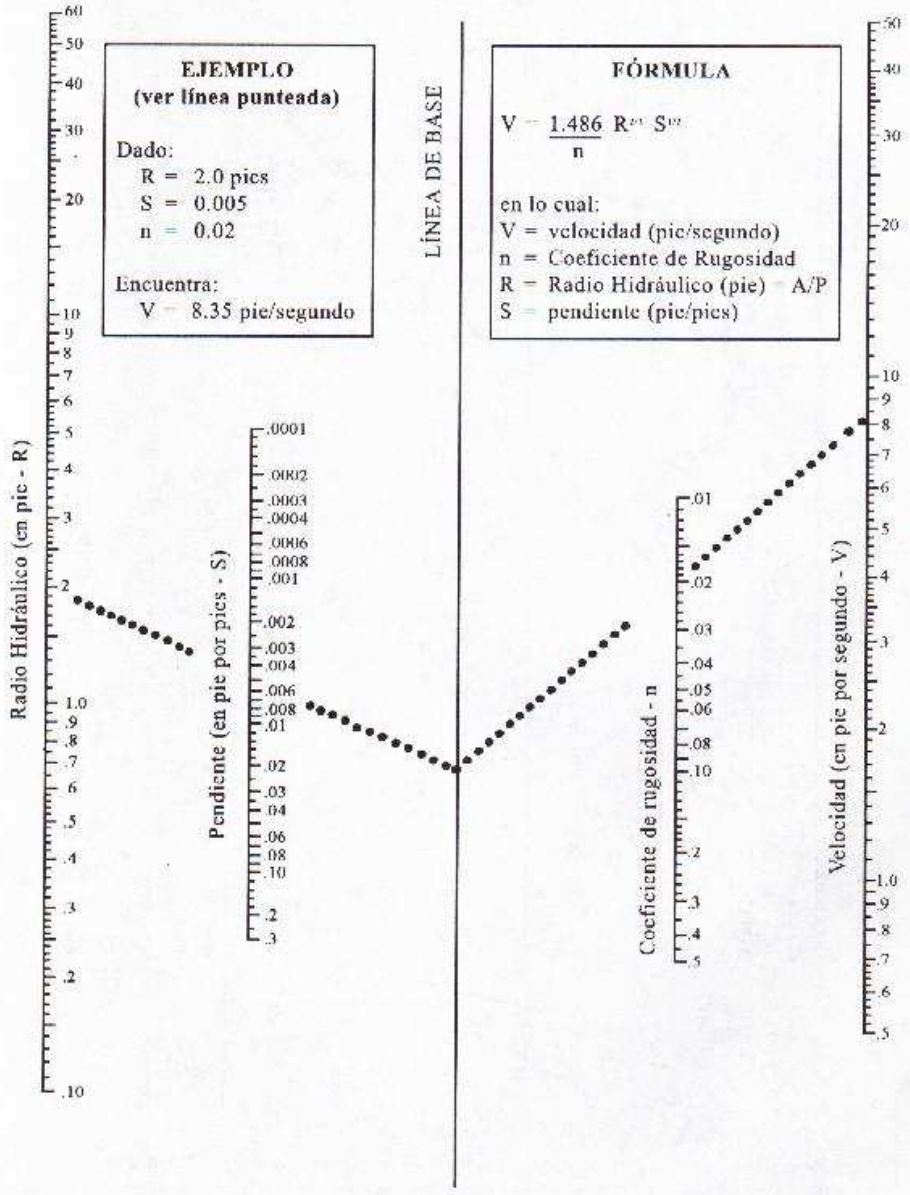


Figura 5.1.2. Nomograma para resolver la Fórmula de Manning en el Sistema Americano.

Tabla 5.1.1. Fórmula de Manning: Coeficiente de Rugosidad "n" para ríos y otros cauces naturales.[1]

Naturaleza del cauce	Bueno	Regular	Malo
1. Limpio, con márgenes rectas, tirante grande, sin bajas ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Limpio, con márgenes rectas, tirante grande, sin bajos ni pozos profundos con algo de yerbas y piedras	0.030	0.035	0.040
3. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, limpio	0.330	0.040	0.045
4. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, limpio, tirante pequeño y secciones y pendientes menos efectivas	0.040	0.050	0.055
5. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, con algo de yerbas y piedras	0.035	0.045	0.050
6. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, tirante pequeño, secciones y pendientes menos efectivas, cauce pedregoso	0.045	0.055	0.060
7. Tramos de corriente muy lenta, con mucha yerba o con pozos muy profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos demasiado llenos de yerbas, y muy poca profundidad	0.075	0.125	0.150
9. Quebradas Montañosas, sin vegetación en el canal, taludes con mucha pendiente, vegetación a lado del cauce sumergido durante tiempos de flujo alto			
• el fondo de la quebrada consiste en grava pequeña, mediana y pocos cantos rodados	0.030	0.040	0.050
• el fondo de la quebrada consiste en grava pequeña y cantos rodados grandes	0.040	0.050	0.070
• el fondo de la quebrada consiste en cantos rodados, desperdicios orgánicos, con flujo sinuoso	0.050	0.070	0.100
10. Llanura de Inundaciones			
• pasto, sin arbusto			
-grama corta	0.025	0.030	0.035
-grama alta	0.030	0.035	0.050
• área cultivada			
-sin siembra	0.020	0.030	0.040
-cultivos sembrado en líneas (como maiz y frijoles)	0.025	0.035	0.045
-cultivos sembrados en pareja (como trigo y avena)	0.030	0.040	0.050

[1] El coeficiente "n" es función del alineamiento, rugosidad, vegetación o roca del cauce.

Tabla 5.1.2. Fórmula de Manning: Coeficiente de Rugosidad "n" para canales y tuberías.[1]

Naturaleza del cauce	Buena	Regular	Mala
1. Canales limpios, con márgenes rectas, tirante grande sin bajos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Canales de placas con remaches embutidos, juntas perfectas y aguas limpias. Tubos de cemento y de fundición, en perfectas condiciones	———	0.011	———
3. Canales de concreto muy liso de dimensiones limitadas, de madera lijada, en ambos casos, tramos rectilíneos y curvas de gran radio y agua limpia	———	0.012	———
4. Canales con aplanado de cemento liso, pero con madera lisa y con curvas de radio moderado	———	0.013	———
5. Canales con aplanado de cemento no completamente liso; de madera como en el no. 2, pero con trazado sinuoso y curvas de pequeño radio y juntas imperfectas	———	0.014	———
6. Canales con paredes de cemento no completamente lisas con curvas estrechas y aguas con detritos; construidos de madera no lijada de chapas remachadas	———	0.015	———
7. Canales con aplanado de cemento no muy alisado y pequeños depósitos en el fondo; revestidos con madera, no lijada y de mampostería construida con esmero; de tierra, sin vegetación	———	0.016	———
8. Canales con aplanado de cemento incompleto, juntas irregulares, trazado sinuoso y depósitos en el fondo; de mampostería revistiendo taludes no bien perfilados	———	0.017	———
9. Canales con aplanado de cemento rugoso, depósitos en el fondo, musgo en las paredes y trazado tortuoso	———	0.018	———
10. Canales de mampostería en malas condiciones de conservación y fondo con barro, o de mampostería de pedruscos de tierra, bien construidos, sin vegetación y con curvas de gran radio	———	0.020	———

[1] El coeficiente "n" tiene un valor de 0.015 para tubos de concreto prefabricado y de 0.013 para tubos fundidos en el lugar, considerando en ambos casos, tubos de longitud normal. Para tubos de asbestos cemento hasta 6 metros de largo y de 24 pulgadas de diámetro, se recomienda emplear n - 0.010.

Tabla 5.1.2. Fórmula de Manning: Coeficiente de Rugosidad "n" para canales y tuberías (continuación).

Naturaleza del cauce	Buena	Regular	Mala
11. Canales con placas remachadas y juntas irregulares, de tierra, bien construidas con pequeños depósitos en el fondo y vegetación rasante en los taludes	———	0.022	———
12. Canales de tierra: con vegetación rasante en el fondo y en los taludes	———	0.025	———
13. Canales de tierra, con vegetación normal, fondo con escombros o irregular a causa de las erosiones, revestidos de pedruscos y vegetación	———	0.030	———
14. Canales revestidos con zampeado			
• pequeña, promedio 8 cm	———	0.030	———
• pequeña, promedio 20cm	———	0.035	———
• grande, promedio 45 cm	———	0.040	———
• grande, promedio 90 cm	———	0.045	———
15. Excavaciones naturales, cubiertas de escombros y vegetación	———	0.035	———
16. Excavaciones naturales, trazado sinuoso	———	0.040	———
17. Tubería de concreto prefabricado	0.011	0.015	0.017
18. Caja de concreto	0.014	0.016	0.018
19. Tubería metal corrugado			
• ondulaciones pequeñas 68mm x 13 mm, sin revestir	———	0.024	———
• ondulaciones pequeñas 68mm x 13 mm, 25% revestido	———	0.021	———
• ondulaciones grandes 152mm x 51 mm, sin revestir	———	0.033	———
• ondulaciones grandes 152mm x 51 mm, 25% revestido	———	0.026	———
20. Concreto, construido en sitio, suave	———	0.013	———
21. Cemento asbesto, hasta 60 cm diámetro	———	0.010	———

EJEMPLO 5.1.1.

CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA CUNETAS Y TUBERÍAS USANDO LA FÓRMULA DE MANNING

Tenemos un sitio en donde se necesita pasar la descarga de 2.38 m^3/ segundo (determinada en el Ejemplo 4.3.1).

1. ¿Cuál es el tamaño de tubería necesaria para pasar la descarga?

2. ¿Puede pasar la descarga por arriba de un cajón de concreto de 1.5 m de ancho y 0.5 m de alto?

Hay un canal con pendientes a los lados de 2:1 construido de roca o empedrado.

3. ¿Cuál es la velocidad máxima de este canal con flujo de un metro de profundidad? ¿Cuál es la capacidad?

4. ¿Cuál es el tamaño de roca que puede resistir deslazamiento usando los criterios de la Figura 5.2.1 (para roca estable con pendientes de 2:1 y velocidad = 2.89 metros/segundo)?

Pregunta #1: ¿Cuál es el tamaño de tubería necesaria para pasar 2.38 m^3/seg.?

Solución para Pregunta #1:

Se recomienda utilizar los nomogramas basados en la Fórmula de Manning que se encuentran en el Capítulo 8 para determinar el tamaño y la capacidad de tubería. Al contrario, utilizando la Fórmula de Manning directamente resultará en un proceso de aproximaciones sucesivas, seleccionando el tamaño de tubería, calculando la velocidad, y determinando la capacidad como el producto del la velocidad y el área.

Paso #1 Seleccionar la Figura 8.2.3, asumiendo el uso de tubería de CMP (tubería de metal corrugado), con He/D = 1, tipo de entrada (2), cortado a Bisel.

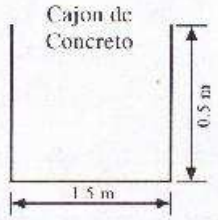
Paso #2 Trazar una línea de la escala He/D = 1 (Entrada 2) hacia la escala de gasto (Q) en el punto donde Q = 2.38 m^3/ seg. y

extendiendo la línea hasta la escala de diámetro de tubería.

Paso #3 La línea proyectada intercepta la escala de diámetro de tubería en el punto que corresponde a 1.3 metros. Como tal, se necesita tubería de metal corrugado de 1.3 metros, o 54 pulgadas (utilizando el próximo tamaño estándar más grande disponible).

Pregunta #2: ¿Un cajón de 1.5 metro por 0.5 metros tendrá la capacidad de pasar una descarga de 2.38 m^3/ seg.?

Solución para Pregunta #2



Supuesto: Pendiente Mínima (S) = 2%;
Coeficiente de Rugosidad (n) = 0.018 (ver Tabla 5.1.2.)

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

Paso #1 Determinar el Área

$$A = 1.5 \text{ m} \bullet 0.5 \text{ m} = 0.75 \text{ m}^2$$

Paso #2 Determinar el Perímetro Mojado

$$P = 1.5 \text{ m} + 0.5 \text{ m} + 0.5 \text{ m} = 2.5 \text{ m}$$

Paso #3 Determinar el Radio Hidráulico

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.75\ \text{m}^2}{2.5\ \text{m}} = 0.30\ \text{m}$$

Paso #4 Calcular la Fórmula de Manning para Velocidad

$$V = \frac{1}{0.018}(0.30)^{2/3}(0.02)^{1/2}$$

$$V = 55.5(0.446)(0.141)$$

$$V = 3.49\ \text{m/seg}$$

Paso #5 Determinar la capacidad del canal

$$Q = V \bullet A$$

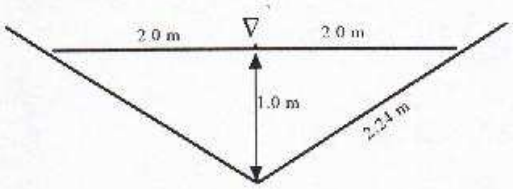
$$Q = 3.49\ \text{m/seg} \bullet 0.75\ \text{m}^2$$

$$Q = 2.62\ \text{m}^3/\text{seg}$$

Paso #6 La capacidad Q de 2.62 m^3/seg es más de la descarga de 2.38 m^3/seg. Entonces este cajón o cuneta de concreto con una pendiente de 2% es adecuado para pasar el flujo de diseño.

Pregunta #3 **¿Cuál es la velocidad máxima y la capacidad de una cuneta de forma de "V" con taludes enrocados a 2:1 con un flujo de 1.0 metro de profundidad (ver abajo)?**

Solución para Pregunta #3



Supuesto: Pendiente $(S) = \frac{4.5\text{ m}}{150\text{ m}} = 0.03$ o 3%

Paso #1 Determinar el Coeficiente de Rugosidad (n) de la cuneta enrocada. Utilizando la Tabla 5.2.1, n= 0.035

Paso #2 Determinar el Área (A) del flujo.

$$A = 2 \bullet \frac{1}{2} \bullet \text{Profundidad} \bullet \text{Ancho}$$

$$A = 2 \bullet \frac{1}{2} \bullet 1 \bullet 2$$

$$A = 2.0\text{ m}^2$$

Paso #3 Determinar el Perímetro Mojado (P)

$$P = \sqrt{1^2 + 2^2} + \sqrt{1^2 + 2^2}$$

$$P = \sqrt{5} + \sqrt{5}$$

$$P = 2.24 + 2.24$$

$$P = 4.48\text{ m}$$

Paso #4 Determinar el Radio Hidráulico (R)

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{2.0\text{m}^2}{4.48\text{ m}}$$

$$R = 0.446\text{ m}$$

Paso #5 Cálcular la Fórmula de Manning para velocidad

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

$$V = \frac{1}{0.035}(0.446)^{2/3}(0.03)^{1/2}$$

$$V = 28.6(0.584)(0.173)$$

$$V = 2.89\text{ m/seg}$$

Paso #6 Verificar la solución utilizando la Figura 5.1.1. para:

$S = 0.03$, $n = 0.035$, $R = 0.45$, $V = 2.9$ m/seg

2.9 es aproximadamente 2.89, pues esta bien

Paso #7 Determinar la capacidad (Q) de la cuneta

$$Q = V \bullet A$$

$$Q = 2.89\text{ m/seg} \bullet 2.0\text{ m}^2$$

$$Q = 5.8\text{ m}^3\text{/seg flujo}$$

Pregunta #4 **¿Cuál es el tamaño de roca (zampeado) que puede resistir desplazamiento de un flujo con una velocidad de 2.89 m/seg.?**

Solución para Pregunta #4

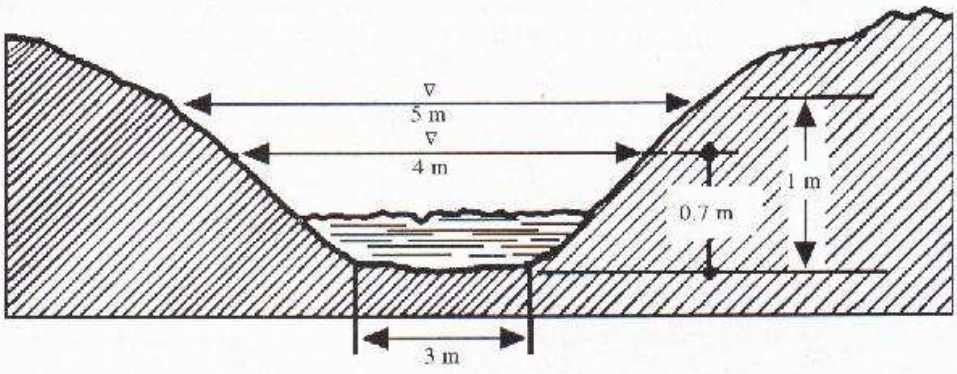
Paso #1 Ver la Figura 5.2.1, y seleccionar la curva para una pendiente de talud de 2:1.

Paso #2 Desde el punto de velocidad de agua de 2.9 metros/ segundo, trazar una línea horizontal para interceptar la curva de pendiente de talud de 2:1. Desde este punto trazar una línea vertical hacia abajo a la escala de "Diámetro de roca redonda". En este caso el diámetro indicado es de 24 centímetros. Nótese que este debe ser el tamaño de la mayoría de las rocas, sin embargo el zampeado graduado de varios tamaños debe usarse compuesto de roca más pequeña, tal como zampeado de Clase II.

Una cuneta revestida con concreto o mampostería tendrá un coeficiente de rugosidad más bajo, una velocidad más alta, y entonces una capacidad de flujo más alta.

EJEMPLO 5.1.2
CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA UN RIACHUELO NATURAL USANDO LA FÓRMULA DE MANNING

Se utiliza la fórmula de Manning para determinar el caudal máximo de un riachuelo (mostrado abajo) de una cuenca pequeña con un flujo de diseño de 50 años (Q_{50}) de unos 15 m^3/seg (aprox. 500 pie^3/seg). Se está considerando el sitio para construir un puente.



Dado:

- Ancho del lecho = 3 metros
- Promedio de pendiente de canal (determinado por medio de Mapas topográficos o mediciones en el campo) 120 m/1,700 m = .07 o 7%
- El canal es sinuoso con guijarro, y piedra grande hasta un metro de diámetro, con algunos matorrales en la orilla. De la Tabla 5.1.1, el Coeficiente de Rugosidad (n) = .050

SE ENCUENTRA LA SOLUCIÓN A TRAVÉS DE APROXIMACIONES SUCESIVAS

Ensayo #1

Paso #1 — Dibujar una sección transversal detallada del canal (con base de un bosquejo de campo o una mediación del sitio). En base a la linea de marea alta o propio juicio, estimar el nivel de marea alta. Usar una profundidad de flujo de 0.7 metros con un ancho de superficie de 4 metros.

Paso #2 — Para la profundidad de flujo estimada de 0.7 metros (el Paso #1), determinar el Área de Flujo, Perímetro Mojado, y Radio Hidráulico.

$$\text{Area de Flujo}(A) = \frac{3\text{ m} + 4\text{ m}}{2} \cdot 0.7\text{ m}$$

más irregularidades (o determinar el área gráficamente o con un planímetro)

$$A = 3.5\text{ m} \cdot 0.7\text{ m}$$

$$A = 2.5\text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro Mojado } (P) = 3\text{ m} + 0.9\text{ m} + 0.9\text{ m}$$ más irregularidades

$$P = 4.8\text{ m}$$

$$\text{Radio Hidráulico } (R) = \frac{A}{P} = \frac{2.5\text{ m}^2}{4.8\text{ m}} = 0.52\text{ m}$$

Paso #3 — Determinar la Velocidad del Canal para una profundidad de flujo de 0.7 m utilizando la Fórmula de Manning.

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

$$V = \frac{1}{0.05}(0.52)^{2/3}(0.07)^{1/2}$$

$$V = 20(0.646)(0.265)$$

$$V = 3.42\text{ m/seg}$$

Paso #4 Determinar la Descarga (Q)

$$Q = (V)(A)$$

$$Q = 3.42 \text{ m/seg} \bullet 2.5 \text{ m}^2$$

$$Q = 8.56 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Paso #5 8.56 m^3/seg es menos que el flujo Q_{50} de 15 m^3/seg. En este caso la profundidad de flujo es mayor, entonces se debe probar un valor de profundidad de flujo mayor.

ENSAYO #2

Paso #1 Ahora probar una profundidad de flujo de 1.0 metros, con un ancho de superficie de agua de 5.0 metros.

Paso #2 Para la profundidad de flujo de 1.0 metros, determinar el Área de Flujo, Perímetro Mojado, y Radio Hidráulico.

$$\text{Area de Flujo}(A) = \frac{3 \text{ m} + 5 \text{ m}}{2} \bullet 1.0 \text{ m}$$

más irregularidades (o determinar el área gráficamente o con un planímetro)

$$A = 4.0 \text{ m} \bullet 1.0 \text{ m}$$

$$A = 4.0 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro Mojado } (P) = 3 \text{ m} + 1.4 \text{ m} + 1.4 \text{ m}$$ más irregularidades

$$P = 5.8 \text{ m}$$

$$\text{Radio Hidráulico } (R) = \frac{A}{P} = \frac{4.0 \text{ m}^2}{5.8 \text{ m}} = 0.68 \text{ m}$$

Paso #3 Determinar la Velocidad del Canal del un metro de profundidad de flujo.

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

$$V = \frac{1}{0.05}(0.68)^{2/3}(0.07)^{1/2}$$

$$V = 20(0.77)(0.265)$$

$$V = 4.09 \text{ m/seg}$$

Paso #4 Determinar la Descarga (Q)

$$Q = (V)(A)$$

$$Q = 4.09 \text{ m/seg} \bullet 4.0 \text{ m}^2$$

$$Q = 16.4 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Paso #5 16.4 m^3/seg/ es mas que el Q_{50} flujo de 15 m^3/seg, entonces el nivel real de la marca alta es ligeramente menor que 1 metro.

Si se coloqua un puente en este sitio, la estructura debe ser por lo menos 1 metro del lecho del canal (arriba del nivel más alto de la corriente), mas un espacio libre para el paso de arrastre.

SECCIÓN 5.2.
DISEÑO CON ROCA PARA PROTECCIÓN DE SOCAVACIÓN Y LA EROSIÓN
(Revestimiento de Zampeado)

El revestimiento de zampeado es usado para la prevención de socavación y la protección de rellenos, canales, estribos y otras áreas de suelo desnudo de la acción erosiva del agua. Típicamente, el tamaño de piedra usada es suficientemente grande para que no se mueva por la fuerza del agua. También, se nivela la roca y se coloca de manera que forme una masa densa. Una capa de filtro se pone debajo de la roca grande para prevenir el movimiento del suelo nativo fino debajo de la roca. Los otros términos generalmente utilizados asociados con revestimiento con roca incluyen "enrocado", "enrocamiento", "piedraplen", "roca ", y "revestido de piedra".

La resistencia al movimiento de material es principalmente una función de tamaño del material, pero es influido por la forma, el ángulo, graduación, y densidad de la roca, así como también la inclinación sobre la que está asentada la roca. Las rocas esféricas angulares y de densidad alta, sería mejor ponerlas sobre una superficie plana. La arena fina puede solamente resistir una velocidad de 0.5 metros/segundo; la grava fina puede resistir una velocidad de 2 metros/segundo y la grava gruesa o guijarro resiste una velocidad de alrededor 2.5 metros/segundo. Para velocidades de corrientes más fuerte que éstas, se necesita roca mas grande, como se indica en la Figura 5.2.1.

La Figura 5.2.1 permite al usuario determinar el tamaño (diámetro) de roca, la cual debe ser estable, y no moverse debido a la fuerza de la corriente de agua de un rango de velocidades de agua promedio. Se muestran distintas curvas para zampeado colocadas en varias laderas con pendientes desde 1:1 de inclinación hasta terreno casi plano. Utilizando estos datos, puede determinarse el peso y tamaño necesario para resistir el movimiento.

La velocidad media del agua es frecuentemente determinada utilizando la Fórmula de Manning. Las medidas reales de corrientes altas pueden ser utilizadas si están disponibles. Debe anotarse que la velocidad superficial es 1.1 a 1.2 veces la velocidad media en un canal. La velocidad inferior es 0.3 a 0.7 veces la velocidad media. El tamaño del zampeado básico se determina por las

velocidades medias, entonces el uso de las medidas superficiales será ligeramente conservador. Sin embargo, ya que el proceso de determinar el tamaño del zampeado es inexacto, es preferible ser conservador.

La siguiente es una lista de los factores principales a considerar cuando se utiliza zampeado:

1. Figura 5.2.1 es una gráfica para ayudar en la selección del tamaño promedio de piedra que se necesita para resistir el movimiento de cualquier velocidad fija de agua. Aproximadamente la mitad (50%) de la roca debe ser más grande que el tamaño mostrado, incluyendo la roca con hasta dos veces el peso de la roca mediana.

2. Poner el enrocado encima de un filtro o cobertura para prevenir la migración del suelo. El filtro debería basarse en la graduación de la mitad menor de roca, usando los criterios de filtro presentados en la Sección 5.3. El material de filtro usado para zampeado es frecuentemente una mezcla pareja de arena y grava. El zampeado de mayor tamaño puede requerir algunas gravas gruesas o las del tamaño utilizado para empedrar. Como alternativa, se puede utilizar una capa geotextil relativamente gruesa y duradera. Puede ser necesaria más de una capa de filtro.

3. El enrocado debe hacerse con variedad de tamaños, graduando del tamaño más grande hasta el más pequeño para reducir al mínimo los vacíos, para hacer una estructura compacta, y prevenir su movimiento, también para evitar el movimiento de suelo detrás del enrocado.

   La Tabla 5.2.1 indica un rango de graduaciones y tamaños (y pesos) recomendado para zampeado por el Servicio Forestal de EEUU. La Figura 5.2.2 indica el tamaño máximo de la roca por cada clase de zampeado. La Figura 5.2.3 se usa para convertir directamente el diámetro esférico de cualquier roca al peso o masa de rocas. Nótese que la gravedad específica de la mayoría de las rocas puede asumirse en aproximadamente 2.65.

4. La profundidad de la capa del enrocado debe ser 1.5 veces el grueso de las piedras más grandes del zampeado. Si el espesor de la capa de zampeado es únicamente del tamaño de roca, no forma una masa que pueda ofrecer protección uniforme a la inclinación que cubre.

5. Si no hay rocas de suficiente calidad y tamaño, deberá considerarse el uso de gaviones, piedra cimentada, o el uso de protección con mampostería. El zampeado debería ser duro y resistente, que no se deshaga al golpearlo con un martillo.

6. Es muy beneficioso mezclar roca con algún tipo de vegetación para aprovechar las raíces de las plantas para un mejor amarre. La roca provee la protección inicial mientras que la vegetación ofrece apoyo a largo plazo y resistencia adicional al movimiento.

7. La Figura 5.2.1 se desarrolló para revestimiento con zampeado de canales relativamente rectos. Cuando se coloca el zampeado sobre las curvas de un canal el tamaño especificado debería aumentarse de 25 a 100%. El exterior de las curvas cerradas donde la fuerza del agua es mayor requiere el zampeado más grande.

8. El zampeado debe ser colocado con algún borde libre arriba del nivel alto previsto del agua. Frecuentemente el zampeado se coloca para proteger una zona 25% más alta que la profundidad prevista de la corriente.

9. La información presentada arriba se aplica para el flujo en canales. La roca utilizada para protección de erosión y la disipación de energía en la salida de alcantarillas debe ser suficientemente grande para absorber la energía y no moverse. El tamaño máximo de roca sugerido para proteger la salida de las alcantarillas de diferentes capacidades de flujo total con diferentes capacidades se presenta más adelante. Nótese que para la misma descarga un tubo menor tendrá una velocidad más alta de salida.

Tamaño de Alcantarilla (pulgadas [cm])	Descarga (pcs)	Tamaño de Roca (cm)
12 [30 cm]	3 a 10	11 a 23
24 [60 cm]	15 a 50	19 a 45
36 [90 cm]	40 a 100	23 a 54
48 [120 cm]	80 a 200	30 a 60

10. El Coeficiente de Rugosidad de Manning (Mannings Roughness Coefficent) para zampeado, desde rocas de tamaño pequeño a rocas de tamaño grande, tiene rangos desde .035 a .050.

La Figura 5.2.4 muestra una aplicación típica de zampeado puesto sobre una capa de material de filtro usada en protección de riberas. Nótese que idealmente la roca debería colocarse sobre una inclinación

de 1.5:1 ó más plana y la roca debería ponerse sobre una capa de filtro. La zona de protección debería estar desde arriba del nivel más alto previsto, proveyendo algún borde libre, hasta el fondo del canal, más la profundidad estimada de socavación. Si no se hace una excavación y revestimiento hasta la profundidad de socavación, entonces puede colocarse una platea al pie del talud para llenar cualquier depresión causada por la acción de socavación.

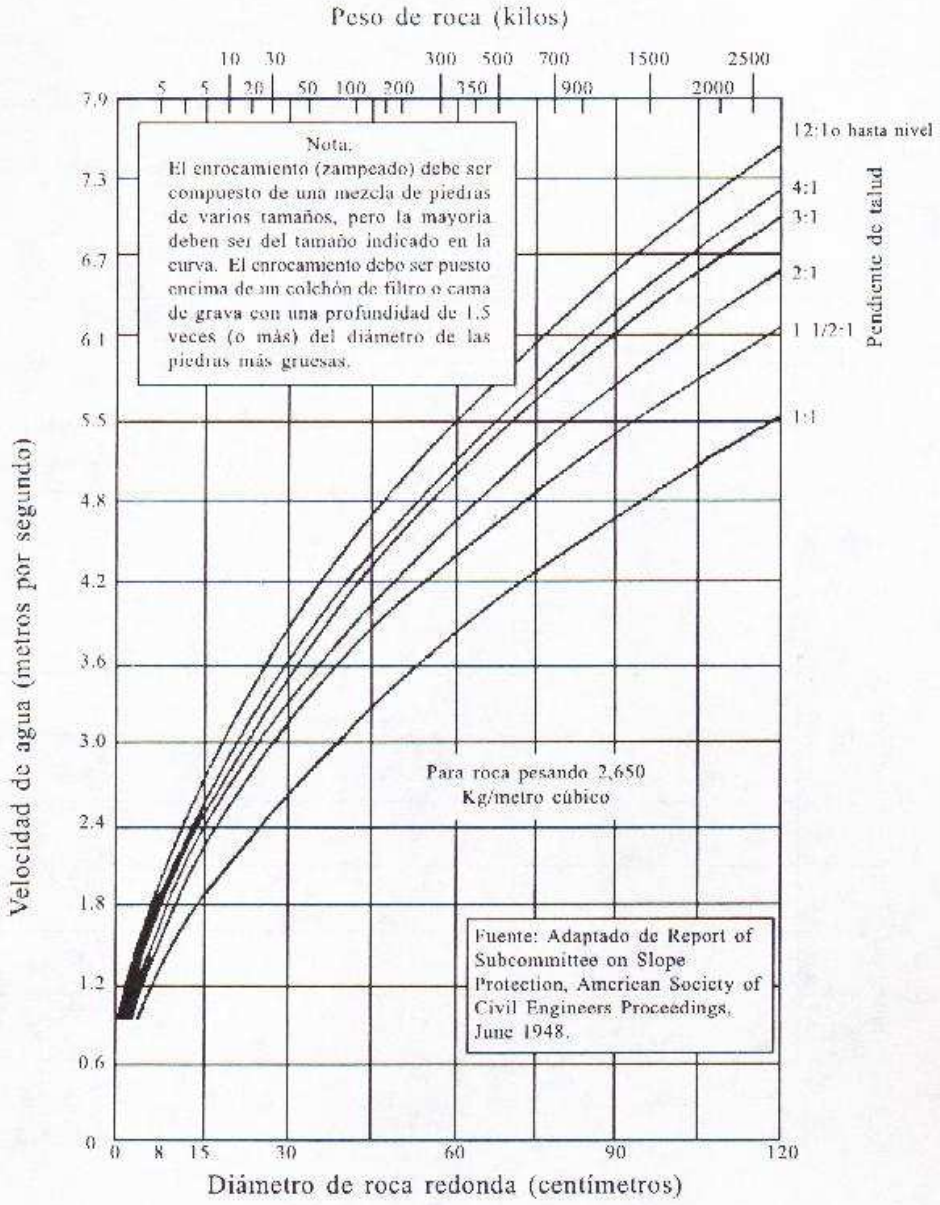


Figura 5.2.1. Tamaño de roca para resistir desplazamientos para varias velocidades de agua y pendientes de taludes.

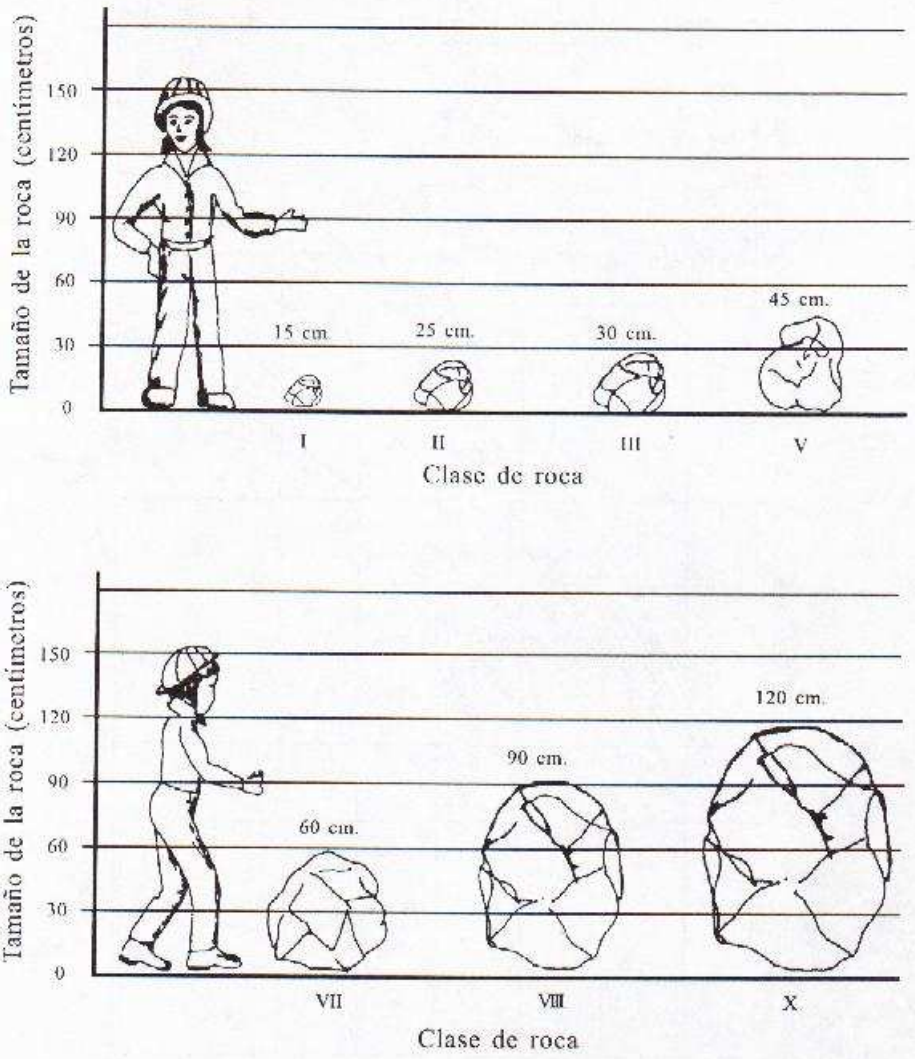


Figura 5.2.2. Clasificación del zampeado.

Fuente: Adaptado de USDA-Forest Service, S. Carpenter.

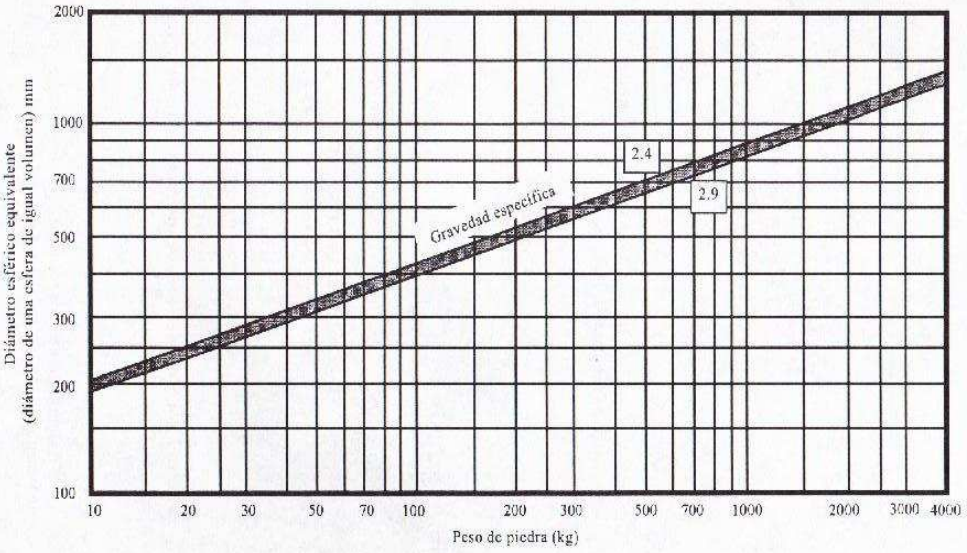
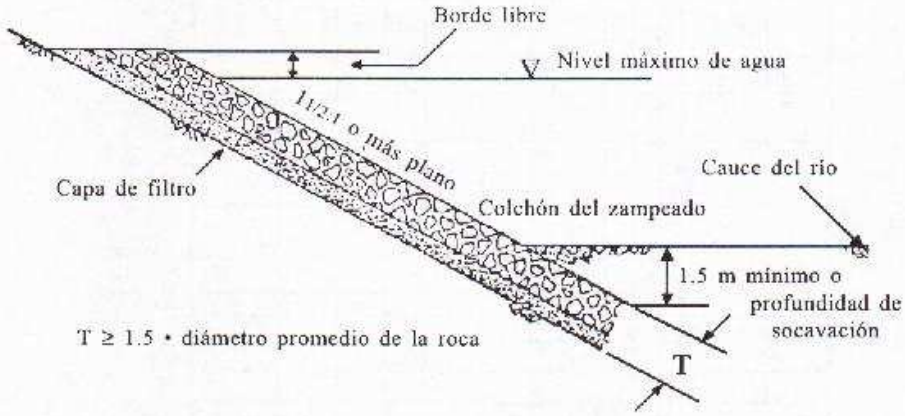


Figura 5.2.3. Gráfica de conversión: tamaño de piedra-peso.



Gáfica A - Detalle del colchón del zampeado prolongado debajo del fondo del cauce.

Gráfica B - Detalle del colchón del zampeado hasta el fondo del cauce.

Figura 5.2.4. Uso del zampeado para proteger las orillas de los cauces.

Tabla 5.2.1. Clasificación y graduación del zampeado por el peso y tamaño de la piedra.[1]

Categoría	Peso	Tamaño de Piedra*	Porcentaje Que Pasa (total menos del diámetro indicado)	
	kilogramos (libras)	centímetros		
Clase I	5 (11)	15	100	
	2.5 (5)	12	80	
	0.5 (1)	7	50	
	0.1 (.2)	3	10	máximo
Clase II	25 (55)	25	100	
	15 (35)	20	80	
	5 (11)	15	50	
	0.5 (1)	8	10	máximo
Clase III	50 (100)	30	100	
	30 (60)	25	80	
	10 (25)	20	50	
	1 (2)	10	10	máximo
Clase V	100 (220)	45	100	
	70 (150)	35	70	
	35 (75)	25	30	
	7 (15)	15	10	máximo
Clase VII	300 (650)	60	100	
	200 (440)	50	70	
	100 (220)	40	30	
	10 (22)	20	10	máximo
Clase VIII	1,000 (2,200)	90	100	
	600 (1,320)	70	70	
	200 (440)	50	30	
	30 (65)	25	10	máximo
Clase X	2,000 (4,400)	120	100	
	1,000 (2,200)	90	80	
	300 (660)	60	50	
	40 (90)	30	10	máximo

*diametro esferico equivalente

Fuente: Adaptado de USDA-Forest Service.

SECCIÓN 5.3.
CONCEPTOS SOBRE FILTROS DE AGREGADOS Y GEOTEXTILES

Esta sección establece el criterio de diseño para filtros. Los filtros son específicamente usados en drenajes subterráneos, en presas, debajo de un zampeado, detrás de muros o estructuras de contención, para drenar y estabilizar deslizamientos y para prevenir la contaminación de materiales de la plataforma de la carretera. El uso de filtros es muy importante para asegurar el funcionamiento de su diseño y la vida de sus estructuras. Un filtro debe seguir criterios de diseño específicos.

Los filtros para suelos son generalmente hechos de un agregado bien graduado y muy poroso o de un geotextil diseñado para prevenir la migración de partículas de suelo entre materiales que tienen diferente graduación (o diferentes gama) o migración de un suelo dentro de un drenaje o dentro de un enrocado, y al mismo tiempo dar paso libre al drenaje del suelo (agua dentro de los poros). Estos dos objetivos se cumplen si se mantiene el cuidado de la conservación de la distribución de los tamaños del suelo (graduación) y del material filtrante que esté dentro de un rango relativo.

CRITERIO GENERAL PARA AGREGADO

Para prevenir la migración de finos dentro de un material grueso, el material grueso solamente necesita retener el 15% del material fino ó D_{85} (85% del material es más fino que este diámetro de grano). La necesidad de una relación efectiva entre la distribución de tamaños de los granos de ambos materiales puede ser expresado así:

- D_{15f} (material grueso o agregado de filtro) $\leq 5D_{85s}$ (material fino o suelo)

Cuando un tubo perforado o geotextil es utilizado, el tamaño de la apertura tiene que ser menos de D_{85} a D_{60} del material adyacente a la tubería, (o geotextil):

- D (diámetro de perforación o tamaño de la abertura) < D_{60} (material con graduación uniforme).
- D (diámetro de perforación o tamaño de la abertura) < D_{85} (material bien graduado).

Para prevenir un acumulamiento de presión de poros (presión hidrostática) en los materiales finos, el material de filtro debe ser relativamente poroso y tener la capacidad de sacar el agua que entra en este material. Esta condición deberá ser satisfecha por el agregado filtrante, utilizando las siguientes relaciones de tamaños de granos:

- D_{15f} (material grueso o agregado filtrante) > $5D_{15s}$ (material fino o suelo)

Ambas relaciones presentadas pueden ser expresadas en una ecuación así:

$$\frac{D_{15f}}{D_{85s}} \leq 4 \text{ a } 5 \leq \frac{D_{15f}}{D_{15s}}$$

- Esta ecuación se aplica a arenas, gravas y limo-arenosos y limo-arcillosos.
- Para limos de baja plasticidad usar $D_{15f} < 0.3$ mm.
- Para arcillas (D_{85} = .03 - 0.1 mm) usar $D_{15f} < 0.5$ mm.

Para geotextiles o tubos perforados, la apertura deberá ser lo más grande posible y todavía satisfacer criterio de D_{85} o D_{60} especificado previamente. Un geotextil tejido deberá tener un área abierta de mas del 4%.

Estas relaciones deberían satisfacerse cuando dos materiales de diferente tamaño de grano son adyacentes uno a otro y está sujeto al movimiento de agua subterránea. También las relaciones deberían ser respetadas para tantas capas como sean necesarias para cubrir adecuadamente la gama de los tamaños de grano que involucran. Por ejemplo, un zampeado grueso colocado junto con un suelo compuesto de sedimentación fina puede requerir una capa de material de filtro fino seguido por una capa de filtro grueso junto al zampeado.

Para determinar la distribución apropiada del tamaño del grano de un agregado del filtro primero se debe determinar el rango de distribución del

tamaño del grano de los suelos o materiales finos a ser protegidos o drenados (mediante el análisis de cedazo) y graficado. D_{15} y D_{85} de ese suelo se encuentran, y los límites de la materia de filtro se determinan entonces entre $5D_{15}$ y $5D_{85}$ del suelo en la línea "15% passing" (ver Figura 5.3.1). La gama de filtro se extiende entonces mediante estos puntos sobre líneas aproximadamente paralelas a la curva de distribución del tamaño de grano del suelo. El Coeficiente de Uniformidad (D_{60}/D_{10}) del filtro debería ser menor de 20. Para la mayoría de filtros de suelo el tamaño máximo del agregado no debería exceder de 6 cm y debería tener menos de 2% que pasa el tamíz No.200.

CRITERIOS GENERALES DE GEOTEXTILES

Los geotextiles ofrecen una alternativa práctica: arena y grava como material de filtro. Pueden ser fáciles de usar durante la construcción y satisfacen los criterios necesarios de filtro cuando el equipo o control de calidad no está disponible para producir un agregado de un grado específico. También los filtros geotextiles son deseables y ofrecen flexibilidad cuando los suelos son variados o cuando la información sobre las propiedades y graduaciones de suelo específicos no existen. Este es el caso en la mayoría de los proyectos.

La Figura 5.3.2 muestra el concepto de filtros con agregados y geotextiles en un suelo. Algún movimiento de suelo ocurre dentro del filtro pero el tamaño relativo de las partículas previene el movimiento de la mayoría del suelo. Entonces, es muy importante saber las características de graduación del suelo y de geotextiles o el agregado del filtro. El movimiento de las partículas grandes de suelo (D_{85}) dentro del filtro, es restringido por el tamaño relativo de los vacíos en el mismo. Una "zona de filtración" resulta en la interfase del suelo-filtro. El filtro, agregado o geotextil, debería tener una permeabilidad o transmisibilidad mayor que la permeabilidad del suelo, para no restringir el flujo del agua.

La Tabla 5.3.1 muestra los criterios recomendados de filtro para geotextiles establecidos por AASHTO-AGC-ARTBA TASK FORCE 25 (el 1990). Para la mayoría de los proyectos una tela no tejida perforada es mejor, con un peso mínimo de 4.5 onzas por yarda cuadrada. Un material de 6 onzas es deseable para las condiciones difíciles de construcción y se recomienda para el uso general. Los geotextiles tejidos son deseables en situaciones críticas de filtración donde existe información sobre la graduación de suelos. La mayoría de fabricantes de geotextiles ofrecen una variedad de materiales de filtro. El

ingeniero debería discutir su proyecto con el fabricante para cónseguir el tipo apropiado de geotextil.

LOS REQUERIMIENTOS DE DRENAJE

La ley de Darcy es muchas veces utilizada para determinar los requisitos de drenajes en el suelo. La fórmula usada es:

$$Q = kiA$$

donde Q = caudal

k = permeabilidad de la materia

i = gradiente (pendiente) de flujo de agua friática

A = área de la sección transversal en donde mueve el agua friática

Por ejemplo, con agregados filtrantes, de tal manera que la capa permeable drenante, debe determinar su espesor así como la adecuada transmisibilidad para quitar el agua rápidamente dentro del filtro. Este espesor de materia filtrante puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{Q}{ki}$$

donde T = espesor o tamaño del material filtrante

Q = la cantidad de agua esperada que ingresará en la zona permeable por ancho unitario

k = la permeabilidad del material filtrante (cm/ segundo)

Nota: La permeabilidad "**k**" (en cm/ segundo) puede aproximarse desde la ecuación siguiente cuando la graduación de suelo se conoce: $K = 100\ (D_{10})^2$

i = la pendiente hidráulica en la zona permeable (que usualmente puede ser aproximada a la pendiente de la superficie del terreno donde se colocará el filtro)

La Tabla 5.3.2 muestra la graduación típica, sugerida para varios materiales de filtro bien graduados, generalmente usados en los Estados Unidos. La Tabla 5.3.3 presenta graduaciones de agregados para graduaciones abiertas o la materia uniforme de drenaje que puede usarse conjuntamente con geotextiles.

La Figura 5.3.3 muestra los valores típicos de permeabilidad (k), en pies por día y graduaciones, para materiales diversos de filtro y agregados de graduación abierta. Los agregados graduados abiertos se pueden usar en drenajes subterráneos o drenajes franceses únicamente cuando están envueltos en un filtro geotextil (necesarios para satisfacer criterios de filtro). En el Capítulo 9 se presenta la información adicional sobre diseño de estructuras de subdrenaje utilizados en drenajes subterráneos.

Una capa de filtro de grava comúnmente tiene un espesor mínimo de 15 cm. El tubo para sacar agua desde el filtro debe tener una capacidad mayor que la capacidad de la capa del filtro. Un tubo de plástico con un diámetro de 10 a 15 cm se usa generalmente para sacar agua de material del filtro. En un "drenaje francés" no se usa tubo colector. En la mayoría de las aplicaciones de filtro un tubo colector perforado o drenaje francés puede extenderse desde 20 a 60 metros antes de salir del terreno.

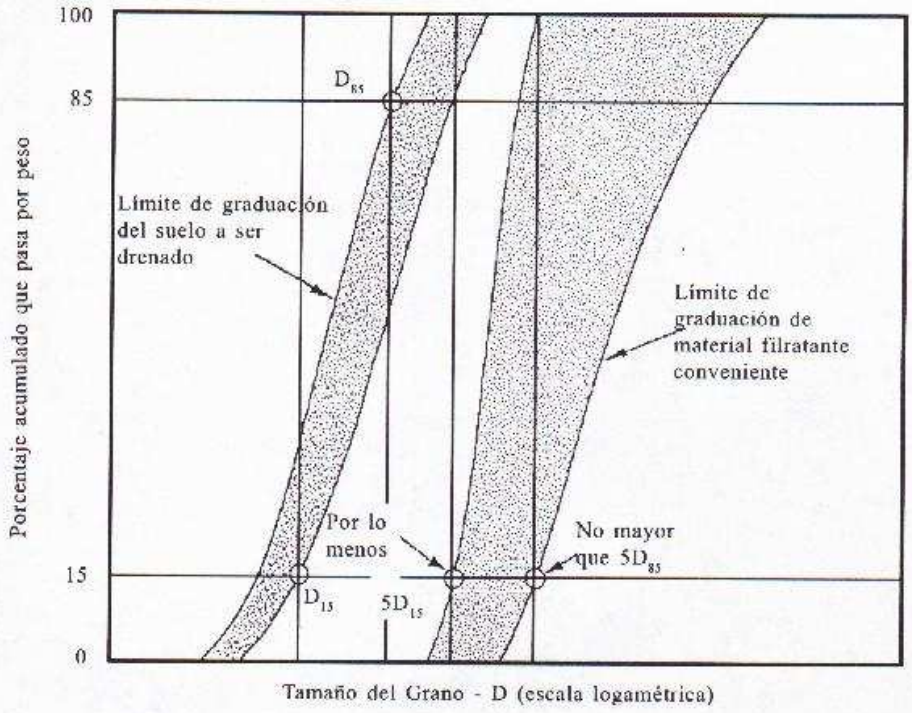
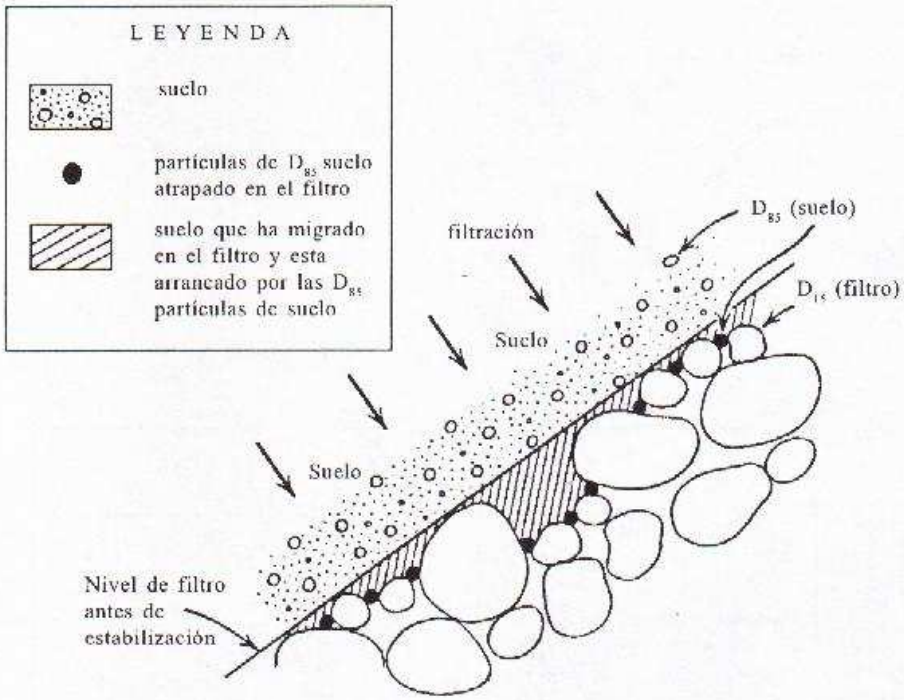
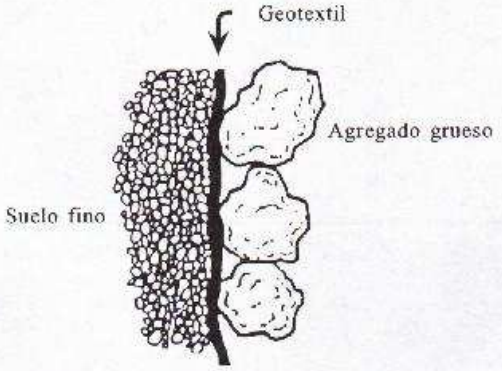


Figura 5.3.1. Requisitos granulométricos para filtros.



Gráfica A - Filtro de Agregado - Ilustración mostrando evitar el movimiento del suelo a lo largo del filtro.



Gráfica B - Filtro de Geotextil - el geotextil posee una estructura de fibra/poro que promueve puenteando las partículas entre el suelo y el filtro.

Figura 5.3.2. Concepto del uso de filtros con agregados y geotextiles.

Fuente: Adaptado de Candergren, 1977.

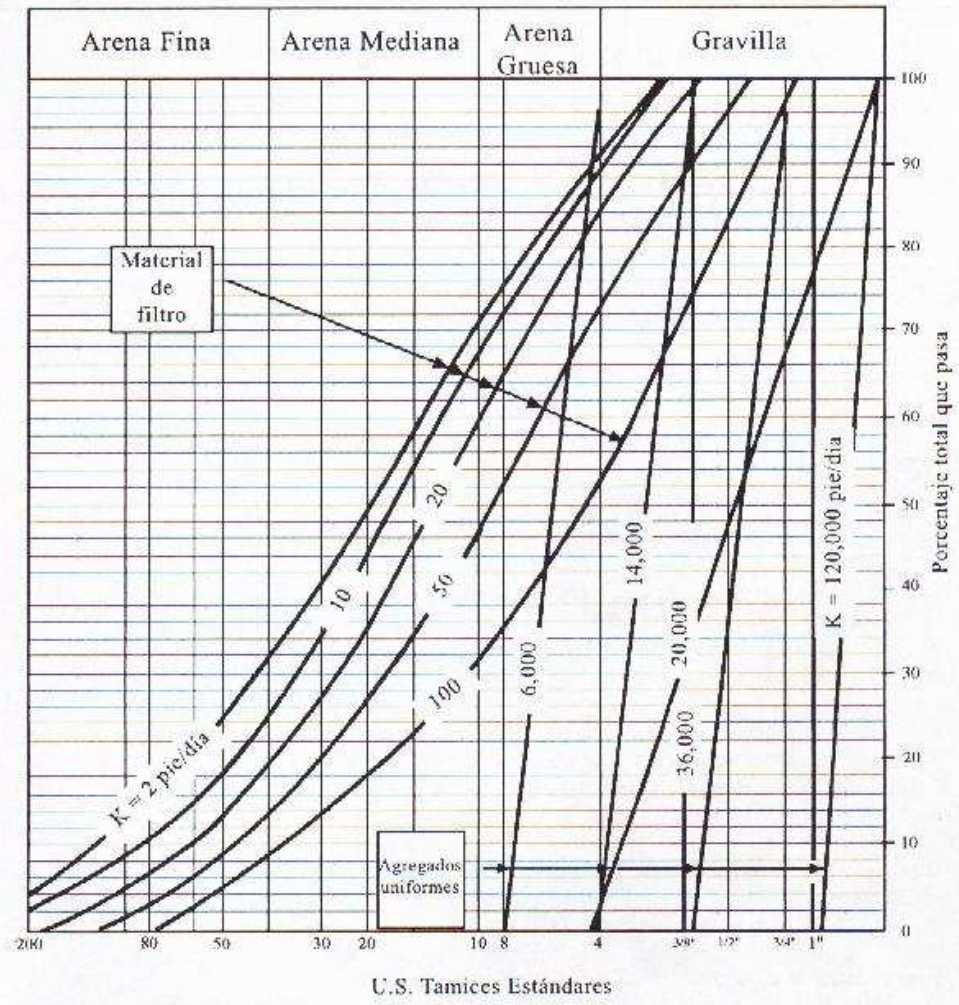


Figura 5.3.3. Graduaciones y permeabilidades típicas de varios agregados uniformes y varios materiales de filtros.

Tabla 5.3.1. Criterio mínimo para uso de geotextil.

Recomendación mínima para Ingeniería en el Criterio de Selección de Geotextil en Drenajes y Aplicaciones para Filtración

I. Resistencia a la filtración (retención suelo - todas las aplicaciones)

A. Suelo con menos del 50% de partículas por peso que pasa el tamiz U.S. No. 200.
AOS No. (geotextil) ≥ tamiz 30 sieve (abertura de agueros < 0.6 mm)

B. Suelos con más del 50% de partículas por peso que pasa el tamiz U.S. No. 200.
AOS No. (geotextil) ≥ tamiz 50 (abertura de agueros < 0.3 mm)

Nota:
1. Siempre que sea posible, usar el geotextil con el agujero menor posible AOS que el especificado (AOS = abertura aparente de poros)
2. Cuando el suelo protegido contiene partículas de 1 pulgada de tamaño y pasa el tamiz US No. 200, use solomente suelo graduado que pasa el tamiz US No. 4 en la selección del geotextil.

II. Permeabilidad

Aplicaciones Críticas/Severas*	Aplicaciones Normal
k (geotextil) ≥ 10 k (suelo)	k (geotextil) ≥ k (suelo)

*Solamente geotextil con tejido monofilamento: porcentaje en área abierto ≥ 4.0 y AOS No. ≤ tamiz 100.

III. Requerimientos/consideraciones de la Composición Química

A. Fibras en la fabricación de geotextil para trabajos de ingeniería civil consiste en una cadena larga de polímeros sintéticos, compuesto con no menos del 85% de peso de poliolefinos, poliéster y poliamidos. Estos geotextiles serán resistentes al de fuerzo de la exposición a los rayos ultravioletas.

B. El geotextil para ingeniería podría ser expuesto a los rayos ultravioletas (luz del sol) pero no mayor de 30 días en total posterior a la fabricación del geotextil y su colocación, cubriéndola con suelo, roca, concreto, etc.

IV. Requerimientos de propiedades físicas (todos los geotextiles)

	Valor máximo resistencia del Geotextil
• Resistencia a la Tensión [Grab] (ASTM D-4632) (Mínimo en cada dirección principal)	180 lbs.
• Resistencia a la Perforación (ASTM D-3787)	80 lbs.
• Resistencia al Estallido [Mullen] (ASTM D-3786)	290 psi.
• Resistencia al Desgarre Trapezoidal (ASTM D-4533)	50 lbs.

Fuente: Adaptado de AASHTO-AGC-ARTBA Task Force 25

Tabla 5.3.2. Graduaciones del material de filtrante típico con agregado bien graduado.

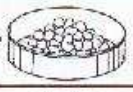
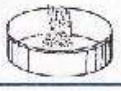
Tamaño de Tamiz	Porcentaje Que Pasa		
	Graduación de Filtrante para Arena Limosa	CALTRANS Clase II Drenante	AASHTO M6
Tamiz de 1" o 11/2" 	100	100	100
Tamiz de 3/8"	50-90	40-100	100
Tamiz #4	30-70	25-40	95-100
Tamiz #8	20-50	18-33	45-80 (Tamiz #16)
Tamiz #40	10-30	5-15 (Tamiz #30)	10-30 (Tamiz #50)
Tamiz #200 	0-2	0-3	2-10 (Tamiz #100)
Cazoleta de Fondo	0	0	0

Tabla 5.3.3. Graduaciones de agregados de filtrante uniformes y gruesos usados con geotextil.

Tamaño de Tamiz	Porcentaje Que Pasa		
	Fino	Fino Uniforme (Grava Pequeña)	Grueso
2"	100	100	50-100
1"	40-80	100	10-50
3/8"	10-40	90-100	0-10
#4	0-2	0-10	0

SECCIÓN 5.4.
USO Y FUNCIÓN DE GEOTEXTILES

El uso de geosintéticos en aplicaciones de ingeniería no es un concepto nuevo, las personas han intentado reforzar los suelos por muchos siglos. Los primeros intentos fueron realizados para estabilizar suelos pantanosos usando troncos, bambú, piedras, paja o arbustos pequeños. Este tipo de estabilización de suelos fue sin ninguna duda continuado con el desarrollo de técnicas más sistemáticas. El uso de pisos de troncos "corduroy" para estabilizar caminos se establece desde antes de Cristo.

El concepto de reforzar suelos de baja capacidad de carga se ha desarrollado hasta los tiempos presentes, y el uso de textiles en la construcción de carreteras fue realizado en los Estados Unidos en 1926. Los geotextiles tejidos fueron muy usados durante los años 60 para aplicaciones relacionadas con el control de erosión. Numerosas organizaciones y conferencias han ayudado al crecimiento rápido del uso de geosintéticos y geotextiles en ingeniería.

La cantidad y estilo de productos geosintéticos existentes en el mercado hoy se estima alrededor de varios cientos. Los productos geosintéticos que existen ahora incluyen:

- Geotextiles.
- Geomembranas.
- Georejilla (Geogrids).
- Geomallas.
- Geocelda (Geocells).
- Geocompuestos, y otros.

Los geotextiles más utilizados en proyectos de ingeniería son hechos de materiales de nylon, poliester, y polipropileno. Las dos formas generalmente son tejidos y no tejidos. Los geotextiles tejidos son cintas planas y de múltiple o mono fibrilado. Los geotextiles que son no tejidos son de filamentos continuos o de filamentos cortados con unión de material con calor o aguijado.

Esta variedad de materiales puede usarse en muchas aplicaciones de ingeniería involucrando proyectos tales como carreteras, vías ferroviarias, diques, muros de contención, túneles, rellenos sanitarios, áreas de recreación, etc. y para realizar tareas tales como drenaje subterráneo, refuerzo de suelo,

repavimentación, control de erosión, o estabilización del subrasante. Cualquier proyecto puede usar múltiples clases de materiales geosintéticos, tales como geotextiles para filtros debajo de los drenajes y otros materiales para refuerzo de subrasante.

La función actual de los geosintéticos o geotextiles puede ser dividida como sigue:

- Filtrar.
- Separar.
- Drenar.
- Reforzar.
- Proteger.
- Impermeabilizar.
- Encerrar.

La Figura 5.4.1 muestra una matriz de funciones típicas de geosintéticos y geotextiles en diversas aplicaciones en el campo. El encerramiento es una función adicional reciente de los geosintéticos que involucra el uso de pliegos de unidades celulares pequeñas (más o menos de 15 cm de diámetro y 10 a 20 cm de grueso) llamado geoceldas. Para trabajar con geosintéticos es importante tener una comprensión clara de qué es lo que los materiales deben hacer, y cuáles son las propiedades necesarias del material para cumplir con esa tarea. Actualmente, los fabricantes tienen una variedad amplia de productos disponibles que están hechos a la medida para realizar cada función. Frecuentemente un geotextil puede servir más de una función a la vez, por ejemplo filtración y separación. Los materiales compuestos diseñados específicamente para realizar más de una función están disponibles. Por ejemplo, los drenajes geocompuestos combinan un geotextil para la filtración con un material en el centro para el drenaje.

La Tabla 5.4.1 presenta una definición más detallada de cada una de las principales funciones de los geotextiles, su tarea, y las exigencias impuestas. Se están realizando investigaciones para desarrollar y refinar las especificaciones físicas de los geotextiles para cada función. A causa de los muchos criterios disponibles, se sugiere que el usuario de geotextiles discuta el proyecto con el fabricante (no el distribuidor) para determinar el tipo y requerimientos físicos necesarios de materiales a usar. El libro de texto "Diseñando con Geosintéticos" (Designing with Geosynthetics) por Robert Koerner es una referencia óptima sobre el tema.

La Figura 5.4.2 muestra muchas de las aplicaciones de geotextiles en proyectos de reparación de caminos y construcción. Las aplicaciones típicas

mostradas incluyen: a) un filtro detrás de una capa de zampeado para la protección de riberas, b) una capa entre la grava y un subrasante suave para la separación y refuerzo, c) el uso en un dique para la filtración y separación, d) el material debajo del drenaje envuelto en geotextil para la filtración, e) el refuerzo con georejilla en un relleno, y f) el geotextil usado como un "protector de sedimento" para el control de erosión. Las otras aplicaciones comunes no mostradas incluyen el uso de una capa debajo de un revestimiento de asfalto; forro impermeable para estanques o rellenos sanitarios; para el refuerzo de tierra en muros de contención y terraplenes sobre suelos blandos y en terraplenes en vías ferroviarias y estabilización de balastre.

Hay mucha información disponible proveniente de fabricantes diversos de geosintéticos, tal como el manual "Geosintéticos en Ingeniería" por José Roberto Montalvo del Polyfelt Corporation. Los geotextiles más utilizados para el drenaje y filtración en proyectos de caminos son las telas no tejidas y perforadas. Los tejidos con ranuras (slit-film woven) son más apropiados para aplicaciones de separación y refuerzo de subrasantes por su bajo costo y amplia resistencia a la tracción. Los tejidos geotextiles regulares son mejores para aplicaciones específicas de filtración, tales como en diques y presas, donde la función del drenaje es importante y donde los materiales son consistentes y sus propiedades de graduación son bien conocidas.

El Apéndice ___ contiene un documento llamado "Usos de Geotextiles para Estabilizar y Construir Carreteras Sobre Subrasante de Suelos Blandos". Los criterios específicos de diseño están presentes. Frecuentemente con el uso de una capa de geotextiles en áreas con suelos blandos para el refuerzo y la separación puede reducir el espesor agregado necesario de la estabilización por varios centímetros.

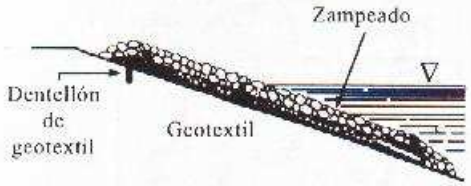
● Función Principal

○ Función Secundaria

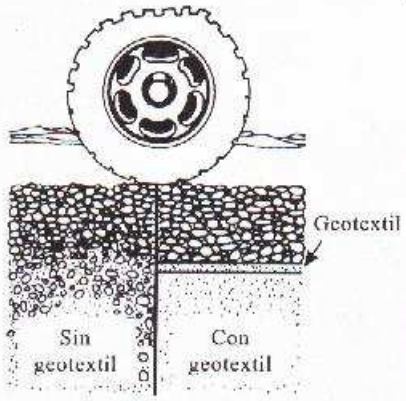
CAMPOS DE APLICACIÓN	FUNCIONES DEL GEOTEXTIL					
	SEPARAR	FILTRAR	DRENAR	REFORZAR	PROTEGER	IMPERMEABILIZAR
CAMINOS	●	○	○	○		
REASFALTADO				○		●
CONSTRUCCIONES FERROVIARIAS	●	●				
CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS	○	●				
DRENAJES	○	●	○			
CAMPOS DEPORTIVOS	●	●				
TERRAPLENES	●	○	○	○		
DRENAJES VERTICALES		●	●			
MUROS DE CONTENCIÓN			○	●		
TÚNELES			●		●	
DEPÓSITOS DE LÍQUIDOS Y DESHECHOS			○	○	●	

Figura 5.4.1. Funciones principales del geotextil dependiendo de la aplicación.

Fuente: Montalvo, José R., 1993.

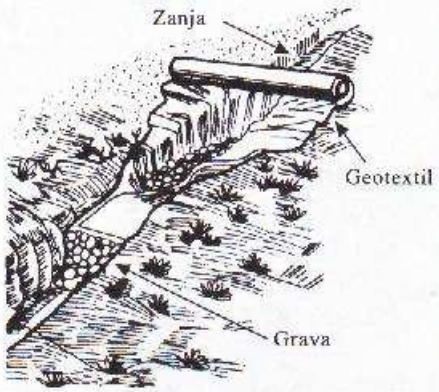


Gráfica A- Filtrante detrás de zampeado.

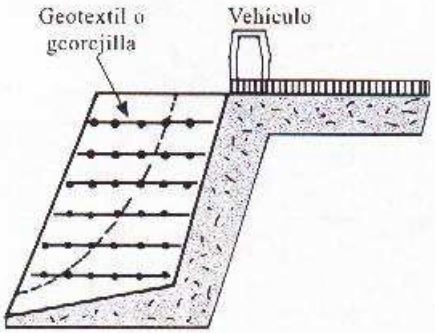


Gráfica B- Separar y reforzar subrasante.

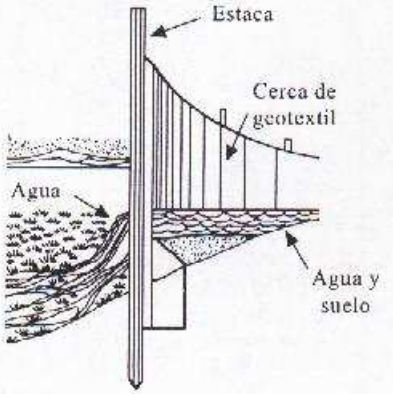
Gráfica C- Filtros en presas y diques.



Gráfica D- Filtrante en sub drenaje.



Gráfica E- Reforzar rellenos y muros.



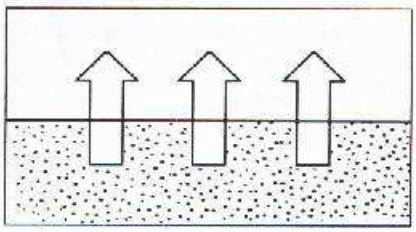
Gráfica F- Cerca para detener limo.

Figura 5.4.2. Aplicaciones típicas de los geotextiles.

Tabla 5.4.1. La función y exigencias impuestas por geotextiles.[1]

Las Seis Funciones Mayores de Geotextil

1. Función principal No. 1 - FILTRAR



Definición:

Retención de partículas de grano fino al fluir agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.

Tarea del geotextil:

Garantizar la estabilidad mecánica e hidráulica del filtro durante la vida útil de la obra.

Exigencias impuestas al geotextil:

Estabilidad mecánica del filtro

- evitar la migración de finos cumpliendo los criterios del filtro para la abertura eficaz de poros D_w

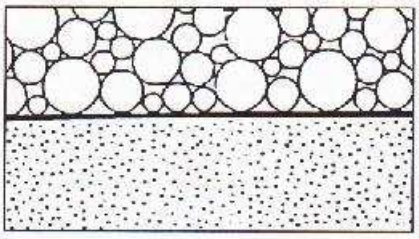
Estabilidad hidráulica del filtro

- garantizar un paso de agua sin presión de ser posible, cumpliendo los criterios de filtro para la permeabilidad k

Comportamiento a largo plazo

- evitar la colmatación del filtro de geotextil
- resistencia química, no degradable

2. Función principal No. 2 - SEPARAR



Definición:

Separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, consistencia, densidad).

Tarea del geotextil:

Evitar en forma permanente la mezcla de material.

Exigencias impuestas al geotextil:

Mecánicas

- el geotextil no debe dañarse en la colocación, ejecución de la obra o posteriormente

Hidráulicas

- retención de finos en el caso de solicitación estática o dinámicas del filtro

Comportamiento a largo plazo

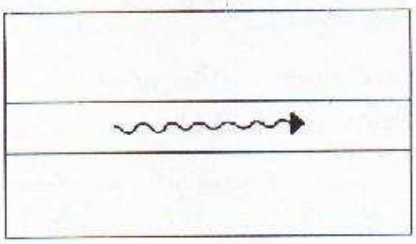
- resistencia química, estabilidad a la radiación UV, no degradable

[1] Fuente: Montalvo, José R., 1993.

Tabla 5.4.1. La función y exigencias impuestas por los geotextiles (continuación).

Las Seis Funciones Mayores de Geotextil

3. Función principal No. 3 - DRENAR



Definición:

Conducción de líquidos y gases; evacuación del agua y aire del suelo

Tarea del geotextil:

Garantizar el transporte del agua y del gas en el plano del geotextil.

Exigencias impuestas al geotextil:

Mecánicas

- el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal

Hidráulicas

Estabilidad mecánica del filtro

- impedir el lavado o transporte de partículas finas cuyo depósito en el geotextil conduce a una reducción de la permeabilidad horizontal k_s

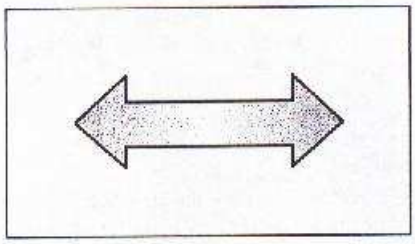
Estabilidad hidráulica del filtro

- garantiza el transporte de agua en el plano del geotextil sin mayores pérdidas de presión

Comportamiento a largo plazo

- evitar la colmatación del drenaje de geotextil

4. Función principal No. 4 - REFORZAR



Definición:

Mejorar la calidad del suelo para aumentar la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

Tarea del geotextil:

Aumento de la resistencia al corte del suelo mediante el mecanismo inducido al sistema "Geotextil-Suelo".

Exigencias impuestas al geotextil:

Mecánicas

- absorver tracciones por medio del "efecto de membrana" y transformar las fuerzas tangenciales debido al sistema de capas múltiples

Hidráulicas

- aumento de la estabilidad debido al cambio de condiciones de borde hidráulicas = aumento de la estabilidad mediante aceleración del proceso de consolidación

Comportamiento a largo plazo

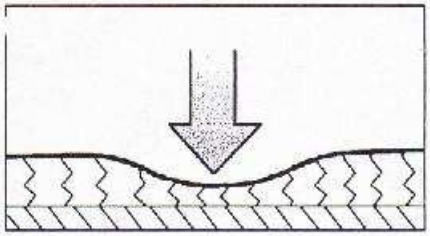
- no hay procesos de fluencia del sistema compuesto
- resistencia química y resistencia a la putrefacción

Limitación de la función: El refuerzo según "Tierra Armada" con su limitación de deformaciones no es tratado en el presente manual por razones de seguridad ya que el comportamiento tenso-deformacional del geotextil en el suelo no ha sido aún completamente aclarado.

Tabla 5.4.1. La función y exigencias impuestas por los geotextiles (continuación).

Las Seis Funciones Mayores de Geotextil

5. Función principal No. 5 - PROTEGER



Definición:

Protección mecánica de membranas sintéticas contra perforaciones y el desgaste.

Tarea del geotextil:

Protección permanente de sistemas de impermeabilización de geomembranas contra daños mecánicos en la etapa de construcción y posteriormente.

Exigencias impuestas al geotextil:

Mecánicas

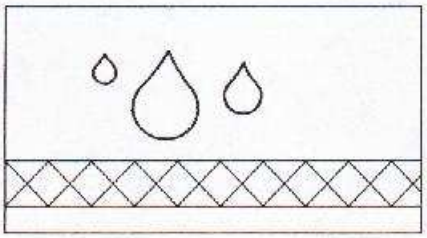
- absorver solicitaciones de reventón (Burst) sobre grietas y juntas del soporte de la impermeabilización
- efecto combinado de propiedades de resistencia mecánica y efecto amortiguador de la estructura tridimensional de las fibras del no-tejido, como protección contra la perforación y desgaste de la capa impermeabilzante

Comportamiento a largo plazo

- resistencia a la putrefacción y química durante la vida útil y compatibilidad con otros materiales sintéticos (no debe vorecer la migración de plastificantes)

---

6. Función principal No. 6 - IMPERMEABILIZAR



Definición:

Crear una capa impermeable mediante la impregnación del geotextil.

Tarea del geotextil:

Apropiarse como material de soporte adecuado para la impregnación con asfalto u otro material impermeablizante sintético modificado.

Exigencias impuestas al geotextil:

Físicas

- capacidad suficiente de almacenamiento de asfalto
- contracción térmica mínima
- alta afinidad con el material impermeable
- estructura homogénea del geotextil

Mecánicas

- resistencia mínima y rigidez suficiente para la colocación del geotextil
- capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas

Foto 5-1. Se debe usar los canales estables naturales para travesías cuando sea posible. Quiché, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 5-2. Los canales amplios y naturales tales como el ejemplo en esta foto son ideales para el uso de un badén revestido. Quiché, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 5-3. Se puede utilizar el zampeado para brindar protección a largo plazo a los canales de riachuelos. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 5-4. Se utiliza el geotextil para separar y reforzar el subrasante. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 5-5. Un ejemplo de geotextil utilizado en un subdren geocompositio para drenar el corte de un camino. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 5-6. Los protectores de sedimento protegen los riachuelos de los efectos de erosión y sedimentación causados por la construcción de caminos. Bosque Nacional Caribe, Puerto Rico, EE.UU. (Foto G. Bauer)

Capítulo 6

Puentes e Hidrológicos de Drenajes Mayores

SECCIÓN 6.1.
INTRODUCCIÓN

La construcción de puentes grandes representa una gran proporción del presupuesto de muchos proyectos de caminos rurales. Este factor combinado con la complejidad de cuencas hidrológicas de gran tamaño y el potencial para grandes impactos ambientales hace que los procedimientos de diseño, tales como, estudios de selección del sitio, análisis hidrológicos e hidraúlicos y evaluaciones geotécnicas sean de gran importancia.

Aunque los conceptos relacionados con dichos estudios no varían mucho de aquellos relacionados con el diseño de drenaje menor y cruces pequeños, el nivel de investigación es mayor.

Las cuencas de mayor tamaño presentan una serie de factores físicos más complejos, no tomados en cuenta en ecuaciones simples como el Método Racional y otros factores, tales como socavación y erosión, que son importantes para la viabilidad a largo plazo de la estructura. El diseño apropiado de puentes grandes está generalmente más allá del alcance de los equipos de campo.

Todos los aspectos de investigación deberían ser ejecutados por profesionales con experiencia en los campos apropiados. Estos estudios deben ejecutarse para prevenir fallas sobre la construcción y costos excesivos.

Los estudios principales para la selección del sitio, análisis geotécnicos, hidrológicos e hidraúlicos deberán realizarse con miras al diseño final de un puente en la forma más económica y segura posible. Un diseño que se adecúa a las características del sitio en vez de tratar de que el puente se adecúe al sitio implicará menos riesgos hidraúlicos y ambientales. Por esta razón, debe hacerse hincapié en que estos estudios son básicos y necesarios y que deben realizarse previamente al diseño y alineamiento del proyecto total. La Figura 6.1.1 presenta el esquema de los procesos de diseño para puentes. La modesta inversión económica necesaria para la adecuada etapa de diseño, se reflejará en los bajos costos de mantenimiento, reparación, y reemplazo de estructuras.

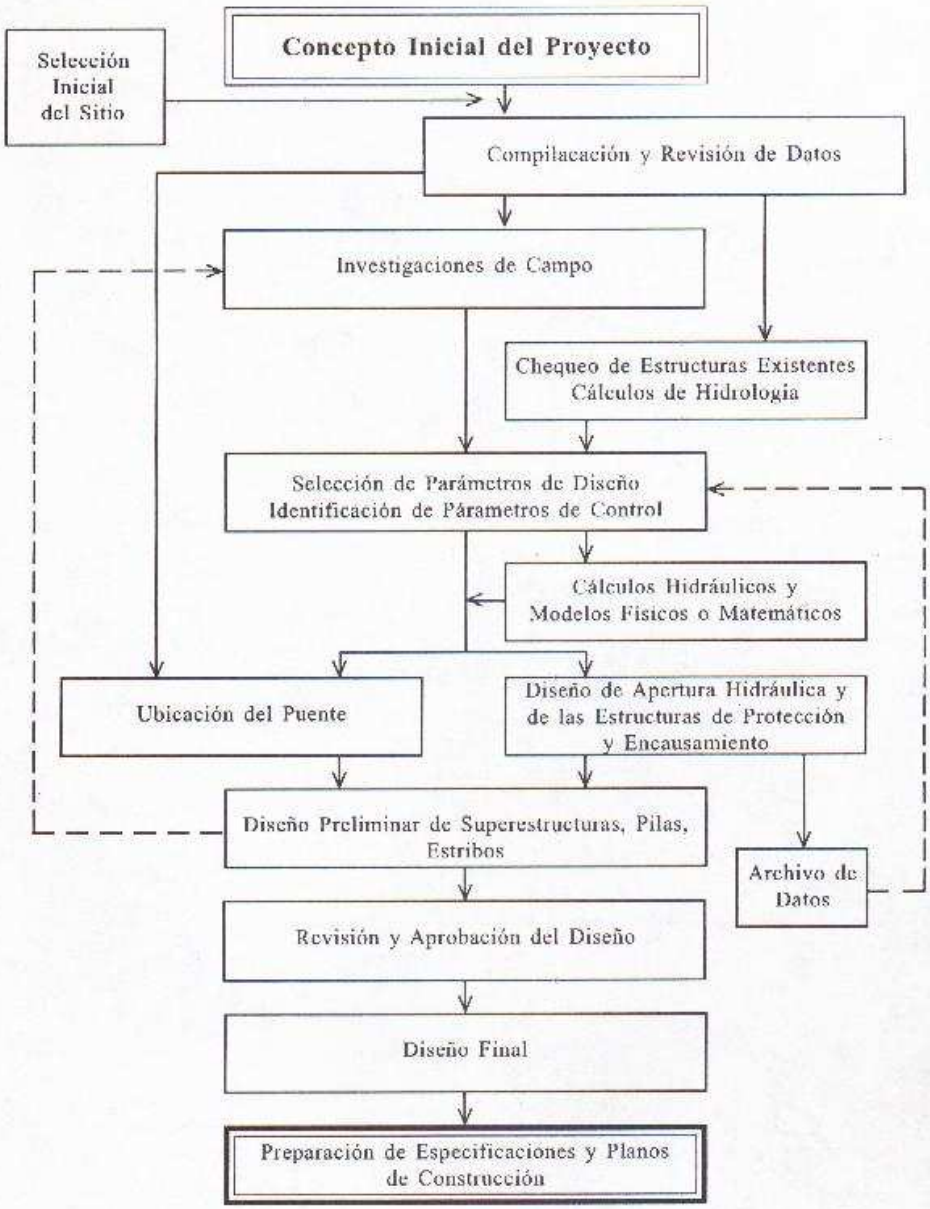


Figura 6.1.1. Esquema de los procesos de diseño para puentes.

SECCIÓN 6.2.
SELECCIÓN DEL SITIO

La selección inicial de un sitio debe tener relación pero no estar completamente determinada por la alineación inicial del camino, y deberá estar preferentemente guiada por los siguientes criterios generales:

- Máxima eficiencia económica.
- Mínimo impacto ambiental.
- Cimientos y accesos que sean sólidos y seguros.

De manera ideal estos criterios se aplicarán a un sitio que está conforme a los puntos mencionados a continuación. Situaciones comunes se presentan en la Figura 6.2.1. También, en la Tabla 6.2.1, se presenta información sobre problemas con los sitios de puentes para varias áreas geográficas:

- Situado en un tramo recto del río.
- Situado en el punto más estrecho posible.
- Construido sobre afloramiento de roca madre.
- Construido en ángulo perpendicular al curso.
- Construido en un sitio a donde no se necesita cambiar la forma del canal natural.

Es muy raro que las mencionadas características ocurran todas en la misma localidad. Una buena selección de sitio es el resultado de un cuidadoso equilibrio de aspectos positivos y negativos de todos los sitios posibles, hasta encontrar uno que se adapte mejor a los criterios globales.

Los aspectos a considerar en la selección de sitio incluyen (aunque no están limitados):

- Uso de tierras adyacentes y propiedad privada.

- Composición geológica de la cuenca y el sitio.
- Características químicas, biológicas y físicas del suelo en el cauce.
- Historial de migración del río y tendencias geomorfológicas (Figura 6.2.2).
- Puntos potenciales para control de hidráulica.
- Disponibilidad relativa de materiales de construcción.

El proceso de selección de sitio deberá ser la etapa inicial de pre-diseño de un puente; ésta implica una combinación de estudios de campo y laboratorio. Para la evaluación de un sitio se presentan datos básicos en la Tabla 6.2.2. Los resultados de éstos, tales como análisis de suelos, serán utilizados en la etapa de diseño si se escoge este sitio en particular. Entre las herramientas de bajo costo y metodologías disponibles en áreas rurales, se pueden mencionar:

- Análisis de fotografías aéreas tomadas a lo largo de los años.
- Análisis de mapas topográficos, geológicos, de uso de tierras y de suelos.
- Reconocimientos de campo del sitio potencial, preferentemente varios kilómetros río arriba y abajo.
- Análisis básicos de suelos de las orillas y lecho con la adición de perforaciones geotécnicas si fueran posibles, durante el proceso de diseño final.
- Entrevistas a los residentes locales.
- Datos sobre flujo y carga de sedimento.

Una vez que un sitio potencial reúne las características basadas en los criterios principales, o por lo menos se presenta como la mejor alternativa, el proceso de pre-diseño continuará hacia la fase siguiente: el objetivo, en esta etapa es el de suministrar suficiente información geotécnica, hidrológica, e hidráulica para el diseño apropiado y económico de la superestructura, cimientos, accesos, y estructuras de protección y encauzamiento del puente (si fuera necesario). Una detallada exploración de estos aspectos va más allá del contenido de este manual, pero se analizan a continuación en términos

generales. La Figura 6.2.3 presenta una forma útil para la evaluación en campo de un sitio para un puente, y la información necesaria para el diseño.

CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

La necesidad de realizar investigaciones geotécnicas adecuadas en la etapa de pre-diseño tiene el propósito de asegurar la integridad estructural del puente propuesto y de sus accesos. Son de especial importancia los efectos de socavación en los cimientos del puente y, de erosión en los estribos, accesos, cimientos y orillas del río. Sin las apropiadas estimaciones de profundidades de socavación, identificación de materiales erosivos, etc., es imposible determinar la profundidad apropiada de los cimientos, identificar zonas de falla de orillas y cambios de curso del río, etc., todo lo cual puede llevar a la falla total de las estructuras o por lo menos a un mantenimiento costoso. Tales cálculos requieren análisis cuantitativos de materiales para capacidad de carga, asentamiento, etc.

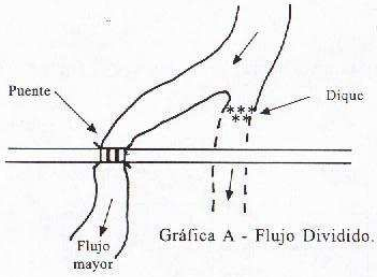
Aunque las muestras de poca profundidad y la inspección visual pueden ser suficientes para la selección inicial del sitio, la investigación geotécnica debe incluir pero no estar limitada a:

- Perforaciones geotécnicas hasta profundidad de materiales consolidados o roca madre, y profundidades de socavación estimada. En terreno rocoso con balones, meter las perforaciones más del doble del diámetro del canto rodado más grande.

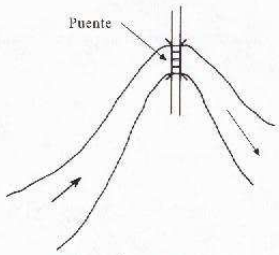
- Información de una investigación de perforaciones con respecto a la fuerza de suelo en orden o capacidad de carga (presión de apoyo) usando la prueba de penetración estándar (SPT), prueba de perforación o penetrómetro de cono. Se usa esta inforación para determinar un cimiento adecuado.

- Análisis de plasticidad y de granulometría de materiales del lecho del río y orillas a ser utilizadas en la determinación de socavación y erosión. También materiales que pueden ser usados en la construcción de la estructura.

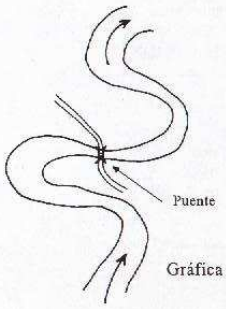
- Análisis de muestras de perforaciones o muestras de tierra para determinar la fuerza o reistencia del suelo, características de consolidación y asentamiento, necesidades de compactación, etc.



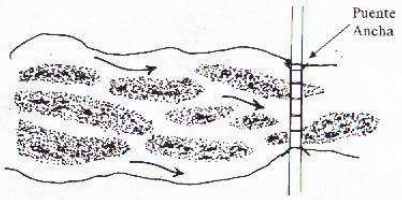
Gráfica A - Flujo Dividido.



Gráfica B - Ángulos Agudos.



Gráfica C - Punto Angosto



Gráfica D - Playas Anchas y Activas.

Figura 6.2.1. Ejemplo de situaciones comunes que necesitan puentes.

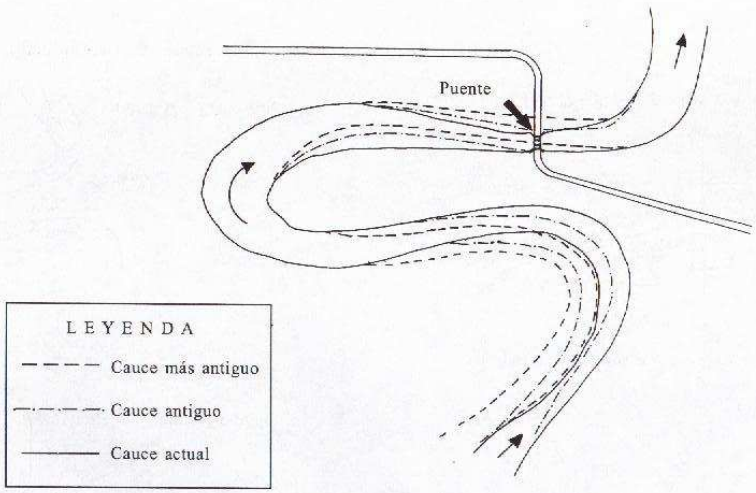


Figura 6.2.2. Ejemplo de la relación entre la dinámica de los ríos y la ubicación de puentes.

EVALUACIÓN DE SITIO DE PUENTE

Región/Distrito	Nombre del Camino o Tramo
Nombre del Puente	Nombre de la Cuenca
Número de Puente	Localización

A. DATOS HIDROLOGICOS E HIDRÁULICOS

1. Mostrar en Mapa Topográfico Área de Drenaje Km²	2. Fuente de Información
3A. Coeficiente de Rugosidad de Manning	3B. Pendiente Promedio Del Lecho 200 m Aguas Arriba 200 m Aguas Abajo
3C. Descripción de características de quebrada y su cauce a dentro de 350 metros del área	
4. Cantidad y tipo de vegetación, roca y sinuosidad en la cauce	
5. Anotar signos de inestabilidad en la ribera	

Nivel de Agua

6A. Hora de Deslindar: Fecha:	6B. Est. Nivel Mínimo (mes)	6C. Est. Nivel Normal (mes)	6D. Est. Nivel Máximo (mes)
6E. Desecho o Detrito (Cantidad)		6F. Desecho o Detrito (Característico)	
6G. Causas y Temporada de Inundaciones			

B. CONDICIÓN DEL CIMIENTO

1. Características del Material	
2A. Profundidad a la Roca Madre m	2B. Tipo y Condición
3. Condiciones Especiales sobre el Cimiento	

C. ESTRUCTURA EXISTENTE O PROPUESTA

1A. Tipo de Puente	1B. Cantidad y Longitud de Tramos	1C. Tipo de Alcantarilla	1D. Tamaño
2A. Sección Hidraulica m²		2B. Sección Hidráulica Adecuada Si ☐ No ☐	
3. Estructura Afectada Por: Basura ☐ Hielo ☐ Daño ☐ Socavación ☐		4. Estructura a Construir el Cauce Natural Si ☐ No ☐	
5. Máx. Peso de Vehículo		6. Dimensiones de Estructura	

D. OTRO

1. Paseo para Pez	2. Factores de Construcción, Área de Trabajo o Materiales
3. Cambios necesarios en el cauce o ribera	
4. Otro	Nombre: _____ Fecha: _____

Figura 6.2.3. Evaluación del sitio del puente.

Fuente: Adaptado de USDA-Forest Service Form R5-7700-71

Tabla 6.2.1. Algunos tipos de cruces y sus problemas.

Tipo de Terreno	Tipo de Río	Materiales Típicos del Cauce	Proceso Dominante/ Geológica/ Geomorfológica	Problemas Hidráulicos Potenciales de Puente
Montañas; Pendientes fuertes	Torrentera; Piedra grandes	Roca madre; Piedras grande	Degradación; Cascadas	Erosión de las orillas de troncos, etc.
	Río de flujo dividido	Arena, grava, piedras manzana (canto rodedo)	Transporte de material aluvial; cambio rápido de cauce principal	Ubicación entre playa grande; selección de longitud económica; socavación
	Depósito aluvial	Arena, grava, piedra manzana	Deposición de materials cambios rápidos de cauce principal	Ubicación del cruce; control de alineamiento; socavación
Pie de monte; Pendientes moderadas	Río con cauce bien definido	Roca madre	Degradación; Transporte de materiales aluviales no profundos	Pocos problemas
	Meandros activos	Arena, grava, piedra manzana	Valle abierto por erosión; Transporte de materiales aluviales; Formación de playas anchas	Erosión de las orillas y taludes; socavación, dificultades en ubicación
Planicie; Piendientes planas	Río aluviales con meandros	Arena y lima	Cambios en configuración de la playa por migración sistemática de meandros; erosión de las orillas y terrazas	Puentes colegidos por desvíos de meandros, socavación
	Riachuelos de baja velocidad	Arena y lima	Pocos cambios	Construcción
Boca de ríos	Delta	Arena y lima	Deposición; cambios frecuentes de cauce	Dificultades en ubicación;zonas grandes de inundaciones; elmientos blandos

Tabla 6.2.2. Datos básicos.

Tipo de Información	Datos Necesarios	Investigacions de Campo
Mapas y fotos aéreas	Cartas topográficas, mapas del geologia y suelos fotos aéreas, e imágenes de satélites con escalas pequeñas y grandes	Análisis de cambios en curso del rio
Estructuras existentes	Dimensiones del área; detalles y fechas de construcción; perfil del camino en zona de inundaciones; cotas de cimientos; niveles máximos de crecidas reales; datos geotécnicos; cálculos de socavación	Conocimiento de sitios; busca evidencia de daño cambios en los diseños originales; analizar socavación y eficacia de estructuras de protección; tomar en cuenta huellas de riadas antiguas y sus efectos.
Hidrologia y análisis de la cuenca	Archivos de fluviometria de la zona; archivos de pluviometria de la zona; curvas de frecuencia de riadas; curvas de intensidad, duración y frecuencia; informes de proyectos similares en la zona; área de la cuenca; uso de la tierra y cobertura vegetal; pendientes, clasificación de suelos; intensidades y distribución de lluvia; caracteristicas climatológicas	Tomar en cuenta huellas de riadas antiguas y sus efectos; chequeo de confiabilidad de los datos; recoger datos de lluvia, flujo y escurrimiento; conocimiento de la cuenca
Hidráulica	Fotos aéreas para ayudar al levantamiento; fotos áreas para investigación del campo; Pendientes de la zona; mapas topográficos y terrenos afectados	Obtener dimensiones del cauce playa; sacar fotos de cauce y zonas; buscar evidencia y rutas; medir pendiente de cauce principal; Estimar daños potenciales por remanso; analizar lugares de control hidráulico; estimar coeficientes de rugosidad
Geotécnica	Informes geotécnicos de estructuras existentes. Perfiles longitudinales de calicates Investigaciones de suelos Profundidad de lecho rocoso	Sacar muestras de material del lecho; buscar muestras del tamaño máximo de piedra transportable; Describir y sacar fotos de las orillas, buscar floramiento de roca madre; cumplir análisis subterráneo hasta la profundidad máxima posible de socavación; excavar a encontrar roca madre
Geomorfologia	Analizar mapas y fotos de distintos años; buscando evidencia de migración lateral, meandros, erosión, etc.	Medir profundidad de socavación a curvas, coustricciones, y estructuras exitentes; buscar ejemplos de erosión, cambios del cauce, etc. y buscar la fuente del problema; buscar indicaciones de deposición y transporte; notar caracreristicas y movimiento de las formas de lecho del rio

SECCIÓN 6.3.
ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE DRENAJES MAYORES

El propósito de toda la investigación hidrológica relacionada con proyectos de drenaje e infraestructura es simple: proporcionar el caudal de diseño para definir los parámetros hidraúlicos óptimos. Aunque los métodos simplistas como el Método Racional son excelentes para drenajes menores, las grandes cuencas relacionadas con puentes grandes requieren un método más complejo, de acuerdo con su magnitud y costo.

La acumulación, generación y análisis estadístico de datos pluviométricos y fluviométricos se tratan más adelante en este manual; todos estos datos se aplican de igual modo a puentes. La principal diferencia está en el manejo de estimados de escurrentía y regulación de las crecidas (routing).

Aunque la mayoría de los métodos aplicables al análisis hidrológico de cuencas grandes requiere innumerables datos, la falta de los mismos en áreas rurales y algunos países no es razón suficiente para eliminar este paso. El programa HEC1 de U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingeniería del Ejército de los Estados Unidos), utilizado junto con el reconocimiento de campo, historial de la zona, y métodos simplistas de correlación han dado resultados de gran utilidad en muchos lugares así como en las montañas y áreas de selva. Para ayudar a determinar el diseño de drenaje use datos de caudal del río (stream flow) del área del drenaje que atraviesa o datos de otros drenajes cercanos.

En forma mínima, los estudios hidrológicos deben incluir lo siguiente:

- Análisis estadísticos de registro disponibles sobre precipitación y escurrentía.
- Análisis de cuencas adyacentes o similares (si fuera posible).
- Reconocimiento de campo de huellas de nivel máximo; características de cuencas tales como suelos, cubierta vegetal; coeficientes de rugosidad, ubicación de terrazas antiguas, etc.

- Análisis de gabinete de pendientes de cuencas, patrones de drenaje, forma de la cuenca, etc., para lo cual deben utilizarse mapas topográficos, fotos aéreas, etc.

- Tormenta de diseño y cálculo de escurrimiento por sub-cuencas .

- La regulación de las crecidas (routing) de flujos de sub-cuenca al puente, para determinar el caudal pico de diseño.

Generalmente, los caudales picos para puentes grandes se estiman utilizando datos pluviométricos que representen un período de retorno de 100 años, considerándose razonable un período de 50 años para puentes pequeños (o alcantarillas grandes). Con la actual desestabilización de muchas cuencas en áreas remotas del mundo, y la falta de datos de confianza, se recomienda el análisis de un período de retorno de 100 años para cualquier puente con un tramo mayor a los 20 metros.

SECCIÓN 6.4.
DISEÑO HIDRÁULICO

Una vez procesados los datos geotécnicos e hidrológicos y con levantamientos precisos del perfil y de las secciones hidráulicas, se llevará a cabo un análisis hildráulico del diseño, los objetivos claves son:

- Determinación de velocidades y profundidades de flujo, para uso en cálculos de socavación y estructuras de protección, así como el tamaño del puente.
- Determinación de la apertura de puente de mayor eficiencia, incluyendo tramo, configuración de pilotes y altura de estructura.

Una vez identificado lo anterior, se pueden proporcionar al ingeniero estructural los parámetros para el diseño hidráulico y el diseño final del proyecto.

Aunque los modelos físicos son muy populares a veces, los modelos matemáticos tales como HEC2 y Fluvial 12, son más económicos y consumen menos tiempo. Un prerequisito para la utilización de dichas herramientas, es el mapa topográfico adecuado del cauce y sitio del río para entrada de datos geométricos, gasto que debe tomarse en cuenta.

En ríos o cuencas de pequeño hasta medio tamaño y caudal, se puede utilizar las características del cauce con la Fórmula de Manning para estimar por un proceso interactivo, la velocidad promedio de descarga. Es necesario conocer las dimensiones de las secciones de escurrimiento y la pendiente del arroyo así como el coeficiente de rugosidad del cauce, que es función del material en su lecho. A veces se puede obtener el dato por la velocidad del cauce usando otros métodos como medidas de flujo. Usando la velocidad y la cantidad de descarga determinadas por los estudios hidrológicos, se puede producir el área del flujo necesario debajo de su estructura.

Porque la información es variable y limitada, siempre es deseable comparar el nivel de agua máximo obtenido por cálculos de métodos estadísticos y dato de escorrentía local con huellas de las crecientes máximas observadas en el campo o lo dicho por los reconocimientos de la gente de la localidad. Así gana confianza en su diseño.

SECCIÓN 6.5.
OTROS ASPECTOS DE DISEÑO

El diseño de la estructura está completo una vez que las investigaciones hidrológicas, hidráulicas y geotécnicas han sido realizadas, y puede involucrar un número de consideraciones y aspectos, tales como los siguientes:

- Determinar la profundidad máxima probable de socavación y/o poniendo una fundación más abajo que ese nivel o protegiendo la fundación con zampeado, como se discute en el Capítulo 5.
- Diseñar una estructura apropiada de cimiento, así como también, estructuras de protección de estribo y canal, embasamiento, pilotes, pilones, etc..
- Determinar la carga de diseño y vehículos de diseño para la estructura (típicamente AASHTO H-20 para carga de camiones).
- Determinar el diseño estructural del puente para la carga y distancia entre soportes, y decidir entre acero, madera, o estructura de concreto.
- Considerar factores ambientales para reducir al mínimo la perturbación en el sitio e incorporar un corredor para peces, etc.
- Asegurar que la estructura, particularmente la de concreto reforzado, sea antisísmica, con el mínimo de oblicuidad y mínima variación en la rigidez, usando refuerzo contínuo en la estructura, y usando estribos que provean resistencia lateral a la estructura.

La Tabla 6.5.1 presenta una guía útil para revisar las propuestas de diseño y construcción de puentes, para asegurar que los aspectos importantes como localización, selección y diseño han sido tomados en consideración.

EL CORREDOR PARA PECES

El corredor para peces siempre se debería considerar en el diseño de puentes ya que las estructuras frecuentemente cruzan arroyos y ríos. La necesidad del corredor para peces debería ser determinada por conversaciones

con habitantes locales, biólogos o funcionarios de agencias responsables de los impactos ambientales en el área. Si hay una probabilidad de que existe un hábitat de pesquería, y si no hay información disponible, entonces el diseño debería tomarse en cuenta para proteger o mejorar el mismo.

Afortunadamente, los puentes generalmente no representan una barrera para la movilización de los peces, ya que atraviesan todo o una porción del canal fluvial y usualmente reducen al mínimo la perturbación del canal.

SOCAVACIÓN

La socavación es una consideración clave de diseño para puentes construidos sobre depósitos de material aluvial fino. Los diseños de puentes que involucran condiciones críticas de socavación deberían ser analizados por personal con experiencia considerable sobre el tema. La socavación y la falla del cimiento es la causa más común de ruptura de un puente.

La Figura 6.5.1 muestra las áreas de erosión local y socavación típicamente causadas en un canal por constricción, deflectores, riberas u otras estructuras que encausan el agua. La Tabla 6.5.2 plantea algunos de los efectos de estructuras y cambios de canal sobre la dinámica fluvial.

La socavación es el movimiento de material fluvial del canal o cauce debido a la fuerza ejercida por el movimiento de agua sobre el material. Los sedimentos de grano fino y la arena son particularmente susceptibles de socavación. Los suelos arcillosos, gravas y los guijarros también pueden ser desgastados y movidos, pero son mucho menos sensibles.

La socavación comúnmente ocurre durante las corrientes altas y cuando la profundidad y la velocidad de la corriente del canal aumentan. La socavación natural ocurre por variaciones en la corriente, o con cambios a largo plazo en el perfil del canal debido a modificaciones geológicas o hechas por el hombre. La socavación general ocurre a través del canal en una corriente de agua controlada. La socavación local ocurre debido a cambios en la dirección y velocidad del agua ocasionados por muelles, estribos, bancos de guía, u otras estructuras en el canal. La Figura 6.5.2 muestra las diferentes condiciones, terminología, y localización de socavaciones alrededor de puentes y las estructuras típicas de fundaciones de puentes.

El cálculo de profundidad de socavación real requiere información sobre el tipo de material, geometría, y contracciones en el canal, profundidades de corriente, velocidad y volumen, alineación y geometría de estructuras en el

canal. La socavación también depende de la cantidad de sedimento transportado por el agua, y el balance entre el material desgastado y el depositado. El mayor socavamiento ocurre justamente después que el máximo de una creciente ha pasado.

Una estimación de la profundidad de socavación puede hacerse al conocer la profundidad de la corriente, los materiales y características de un canal. El cálculo de la profundidad máxima de socavación puede hacerse con base en la profundidad de los depósitos de granos finos en el canal fluvial o usando lineamientos aproximados tales como una profundidad general de la socavación igual al valor de varias veces la profundidad máxima de la corriente de agua. El socavamiento local alrededor de estructuras frecuentemente será uno a tres veces más que la profundidad de socavación general del canal. Estos criterios particularmente se aplican a canales con lechos fluviales arenosos o sedimentarios.

Cuando se han obtenido los valores de la Prueba Estándar de Penetración (SPT) (Standard Penetration Test) durante perforación subterránea, se pueden aplicar criterios tales como asumir que la materia corriente, con una penetración de sobre 30 a 40 soplos por pie, será relativamente resistente al socavamiento. Los conteos inferiores indicarán materiales susceptibles a socavación.

Finalmente, se han desarrollado métodos numéricos específicos para determinar la profundidad de socavación, basados ambos sobre los estudios de modelos incluyendo el matemático. Alguna de la información de socavación más útil ha sido desarrollada por Laursen y Toch (ver Bibliografía).

Ya que la profundidad de socavamiento es frecuentemente muy difícil de predecir, la mejor solución de diseño será usar una fundación de puente que no sea susceptible a la socavación. Idealmente la fundación puede ponerse fuera del canal fluvial sobre el nivel más alto del agua. Alternativamente, los cimientos o pilotes/pilones pueden colocarse debajo de la profundidad de socavación, sobre el manto rocoso sólido, o puestos sobre estratos resistentes, tales como piedras, guijos gruesos y peñas que no son susceptibles a socavación. Ocasionalmente un canal puede modificarse o ampliarse para reducir la velocidad del canal y su susceptibilidad a socavación. Por último, la protección de socavación puede colocarse alrededor de las estructuras de fundación, utilizando zampeado, gaviones, diques de desviación, etc.

INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE PUENTES

Ya que los puentes definitivamente involucran una gran inversión, y su utilización involucra seguridad pública, las estructuras deben ser inspeccionadas periódicamente y darles el mantenimiento necesario. Se recomienda una inspección cada dos años.

Los siguientes puntos deben ser examinados durante la inspección del puente:

- Condición de la estructura superior, plataforma, armadura y cables.
- Condición de la estructura inferior, vigas, vigas maestras, estribos, muelles y cimientos.
- Accesos, barandillas y materiales de piso.
- Condición del canal bajo el puente y arrastre en el canal.
- Agujeros de socavación alrededor de la fundación y del canal, etc.

El mantenimiento de los puentes puede ser necesario solamente cada 5 ó 10 años. El trabajo en general es relativamente menor, como limpieza de la plataforma, asiento del puente, drenajes, pintura de la estructura, llenado de grietas, remplazo de barandas y señalización, remoción de detrito y limpia de arbustos del canal, etc.

Ocasionalmente se puede realizar un mantenimiento mayor, tal como soldadura de vigas o patines dañados, reemplazo de cables o vigas dañadas o desgastadas, colocando zampeado o alguna otra protección bajo el puente, o aplicando lechada o reforzando las áreas de socavación. Generalmente, no es necesario un mantenimiento o reparación mayor, a menos que la estructura haya sido dañada durante un accidente o inundación.

Es decir, un mantenimiento mayor puede ser necesario solamente cuando la estructura se acerca al final de su vida útil, la cual es generalmente de 50 a 75 años. Sin embargo, en el caso de que las reparaciones o el mantenimiento sean muy significativos, se debe considerar el reemplazo del puente.

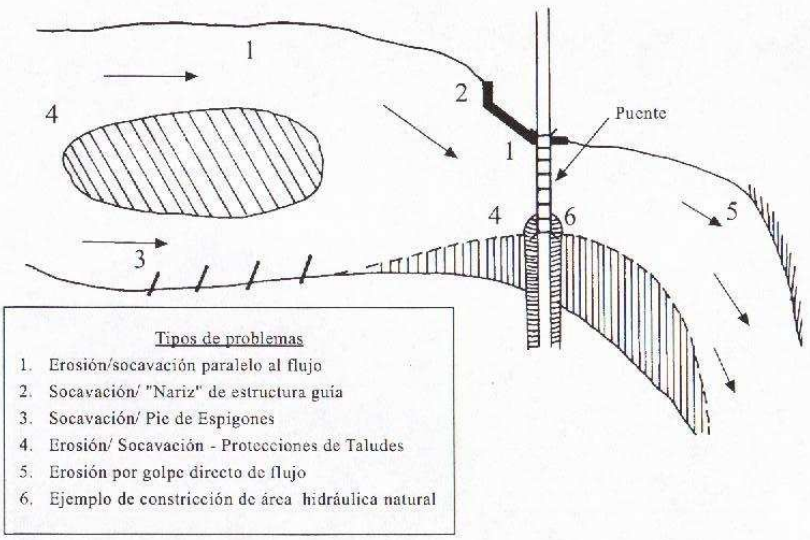


Figura 6.5.1. Problemas potenciales de erosión y socavación.

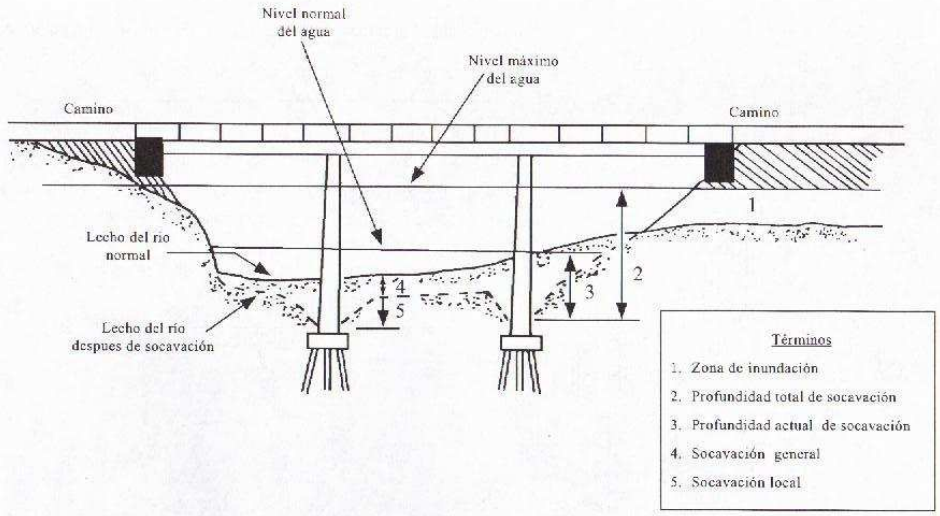


Figura 6.5.2. Términos técnicos de socavación de un puente.

Tabla 6.5.1. Guía para revisar propuestas para la construcción de puentes.

Aspecto de Diseño	Preguntas por Resolver
Ubicación alineamiento	• ¿Planos que muestran claramente la relación entre el puente y el sitio? • ¿El diseño y Ubicación es económico y apropiado al sitio? • ¿Han tomamdo en cuenta terrenos privados, estructuras existentes, etc.?
Altura y Ancho	• ¿Cómo se han determinado niveles máximos de crecidas y caudales de diseño? • ¿Hay suficiente espacio entre el nivel máximo y el fondo de la superestructura? • ¿El puente podría sobrevivir una crecida en exceso de la tormenta de diseño? • ¿Cómo es la velocidad de flujo y profundidad de socavación durante la crecida máxima? • ¿Hay demasiada área hidraúlica? • ¿Sería posible bloquear esta apertura con troncos, etc.?
Estructuras de Encauzamiento y Protección	• ¿Hay previsiones para estructuras necesarias, ahora y en el futuro? • ¿Han tomado precauciones contra la destrucción de esas estructuras por socavación o erosión? • ¿Si los accesos al puente potencialmente serían inundados, han diseñado protección adecuada? • ¿Han estimado los efectos del remanso? • ¿Hay suficiente detalle sobre los materiales y métodos de construcción de las estructuras? • ¿Hay zampeado suficientemente largo para resisitir movimiento y asientido con filtro?
Estribos y Pilas	• ¿Los cimientos no van a fallar por socavación general ni local? • ¿Los componentes de la cimentación tienen alineamiento apropiado? • ¿Las dimensiones de las pilas y zapatas son suficientes para disminuir socavación local y satisfechar la capacidad de carga? • ¿Las cimentaciones necesitan protecciones locales? o sobre la roca madre?
Construcción	• ¿Será necesario bloquear el río durante la construcción? • Si es posible, ¿qué planes hay para evitar problemas durante una lluvia?
Aprobación y Normas	• ¿Había cumplimiento con todas las reglas oficiales? • ¿Haber aprobación de todas las organizaciones necesarias? • ¿El proyecto es aceptable por la óptica de estándares medio ambientales? Si no, han considerado otras alternativas?

Tabla 6.5.2. Relaciones cualitativas de los cambios en la configuración de un río y sus efectos.

Proceso	Cambio Principal
Ancho reducido	• Aumento de profundidad por socavación
Pendiente más fuerte	• Aumento en la velocidad • Aumento grande en el transporte de sedimentos de materiales del lecho y las orillas
Caudales mayores	• Aumento en ancho, profundidad y erosión; pendiente reducida
Carga de sedimentos reducidos	• Pendiente menor por degradación - río abajo
Carga de sedimentos aumentada	• Pendiente mayor por deposición; más tendencia para migración lateral/ancho aumentado

Fuente: Neill, 1973.

oto 6.1 Un puente de tramo corto de trozos de madera ien construido. Bosque Nacional Plumas, California, E.UU. (Foto G. Keller)

Foto 6-2. Un puente de tramo largo de concreto de normas altas. Chapare, Bolivia. (Foto G. Bauer)

oto 6-3. Un puente de concreto, bajo construcción con aviones y aleros bien diseñados, para proteger las rillas del riachuelo. Chapare. Bolivia. (Foto G. Bauer)

Foto 6-4. Un ejemplo de zampeado y vegetación utilizados para proteger las orillas rio arriba y abajo de un puente de tramo corto de concreto. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

oto 6-5. Un ejemplo de un estribo de un puente de concreto con cimientos inadecuados. Nótese el hoyo de ocavación que está formando. Chapare, Bolivia. (Foto G. Keller)

Foto 6-6. Un puente de concreto con cimientos asentados en el lecho rocoso. En este caso la socavación y el mantenimiento es mínimo. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Capítulo 7

Travesías de Agua de Bajo Nivel (Badenes)

SECCIÓN 7.1.
INTRODUCCIÓN

Las travesías de agua de bajo nivel pueden ser una alternativa económica a la construcción de puentes o tuberías para cruzar arroyos o quebradas en una variedad de localizaciones. Las opciones incluyen vados, badenes, travesías mejoradas y alcantarillados, y puentes sumergibles. Como cualquier estructura hidráulica, los costos pueden ser relativamente altos y pueden tener efectos ambientales significativos porque requieren una estructura puesta en un sitio sensitivo ambiental y socialmente. La Tabla 7.1.1 presenta un resumen de los factores principales que deben considerarse en la selección, ubicación, diseño, y construcción de travesías de bajo nivel.

También costos verdaderos incluyen la inversión inicial, reparación y mantenimiento durante su vida útil. El costo de una travesía deberá evaluarse al principio del proceso de planificación. Cada tipo de travesía de bajo costo tiene su correcta disposición y uso. No siempre es claro cuál sería el tipo más económico en cada situación. Cuando existen dudas se deberán evaluar travesías alternativas y se construirá la más económica. Los costos de la estructura dependerán mayormente de la localización del sitio y el tipo de materiales de construcción, preferiblemente usando materiales locales del lugar de la construcción.

Tabla 7.1.1. Factores a considerar en la ubicación, diseño y construcción de travesías.

Sumario de Factores

A. FACTORES AMBIENTALES
- sedimentación y calidad del agua
- protección para la vida silvestre, paso de pez
- uso de la tierra en la cuenca y debajo de la estructura
- reglamentos y leyes

B. UBICACIÓN DEL SITIO/LOCALIZACIÓN FISICA
- forma y perfil del canal
- estabilidad del canal
- fluctuaciones de descarga
- limitaciones del sitio, propiedad privada

C. INFORMACIÓN DE CAMPO QUE SE NECESITA
- perfil del canal, fotografías, investigación del sitio, levantamientos
- características del flujo bajo y flujo máximo, huellas de agua
- materiales del cauce y profundidades de materiales
- llenar el formulario de "Evaluación de Sitio de Puente"

D. FACTORES DE DISEÑO
- hidrología, flujos (máximo y típico), descargas, riesgos
- hidráulica del sitio, uso de la Fórmula de Manning
- tamaño de roca, estabilización vegetal, socavación
- diseño para el peso del vehículo de diseño, pendiente del camino, y diseño para reducir al nivel de mantenimiento
- suelos flojos o suaves, necesidad de filtros
- seguridad del chofer y el usuario

E. FACTORES DE CONSTRUCCIÓN
- localización del sitio,
- dificultad del trabajo o excavación
- disponibilidad de materiales locales
- control del sedimento
- espacio para trabajar, eliminación de agua

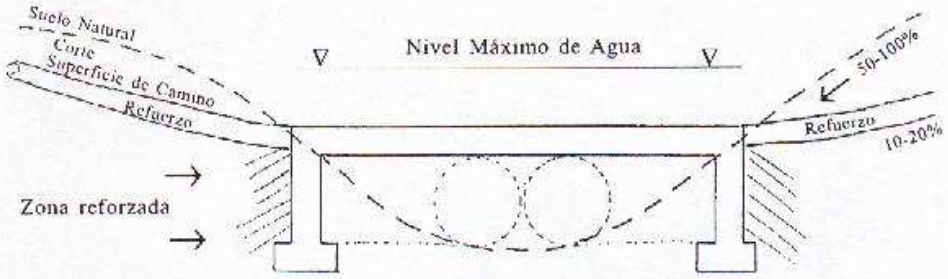
F. FACTORES DE COSTOS
- precio y tipo de materiales
- lugar del sitio
- vigas para puentes, tuberías
- gaviones, concreto, piedras, otros materiales
- disponibilidad de materiales
- diseño simple contra complejo

SECCIÓN 7.2.
SELECCIÓN

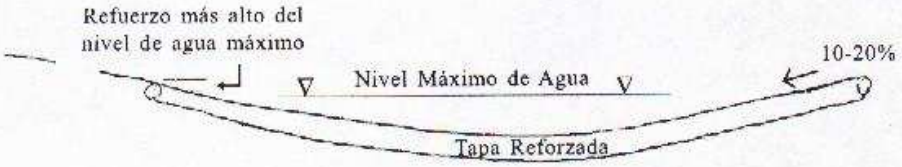
La selección de la estructura deberá hacerse con mucho cuidado y solamente después de considerar los factores del sitio, del canal, del diseño técnico, de costos y estudios ambientales. Un examen completo del sitio o área es necesario para proveer la mejor información y tomar la mejor decisión. Luego la misma información será útil para el diseño técnico y para la construcción. En arroyos anchos y secos, frecuentemente se prefiere un vado. Al mismo tiempo una alcantarilla de cajón o tubería grande puede costar menos que un badén pavimentado en una travesía estrecha de arroyo y deben ser usados en drenajes profundos, travesías con tubería o puentes. La Figura 7.2.1 muestra las aplicaciones básicas de travesías en diferentes formas de drenajes naturales.

La selección del sitio para una travesía debe ser un lugar estable o un sitio que reducirá al mínimo su longitud y tamaño, los impactos, y los costos de construcción y mantenimiento de cualquier estructura. Los factores principales que influyen en el uso de una travesía son:

- Fondos disponibles.
- El uso del camino (volumen de tráfico, tiempo de espera aceptable del usuario).
- Impactos y costos de demoras.
- Tiempo de duración del nivel alto de agua y número de veces por año.
- Volumen de escorrentía y rango de fluctuación de agua.
- Las características del sitio.
- Costo total la vida de la estructura.



Gráfica A - Drenajes profundos (con puente o alcantarillas).



Gráfica B - Drenajes superficiales (con vado o badén).

Figura 7.2.1. Travesías de agua de bajo nivel en varias formas de drenajes (badenes, cajas, puentes, vados y otros).

SECCIÓN 7.3.
TIPOS DE ESTRUCTURAS

Los tipos básicos de travesías de agua de bajo nivel incluyen:

- Travesías: badenes, vados, vados reforzados, trozas, empedrados, gaviones, estructuras de concreto.
- Travesías mejoradas: travesías con tubería o alcantarillado, travesías con fundaciones y gabachas, travesías de vigas de concreto.
- Puentes para agua de bajo nivel: cajas de concreto, cajas de vigas de acero o madera, puentes con vados al lado, puentes sumergibles, puentes flotantes, puentes "Bailey".

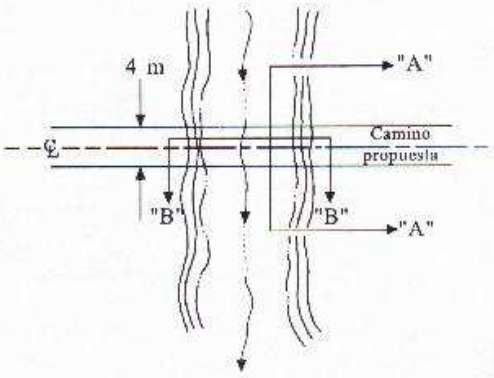
Los badenes o vados pueden estar sin refuerzo en suelos rocosos y cauces estables. En suelos erosivos y arcillosos serán reforzados y estabilizados por el tramo del camino con trozas, grava, zampeado, gaviones u otro tipo de revestimiento o barreras. También se puede usar una combinación de materiales incluyendo concreto o asfalto para proveer una superficie estable. La Figura 7.3.1 muestra un vado natural de arroyo con la superficie reforzada con roca.

Los badenes mejorados pueden ser relativamente simples, tal como una plataforma reforzada con roca o gaviones, y una boca de caída o revestimiento para el control de socavación (Figura 7.3.2); pueden tener revestimiento con material duradero o estribos de concreto o gaviones y dientes para el control de socavación, dependiendo de qué tan erosivo pueda ser el lecho (Figura 7.3.3). La Figura 7.3.4 Gráfica A presenta planos y vista transversal de una travesía mejorada usando una plancha de concreto. La Figura 7.3.4 Gráfica B muestra otro ejemplo (sección de cruce) de un vado de concreto que atraviesa el camino. Este diseño es muy duradero y útil en canales que llevan mucho arrastre.

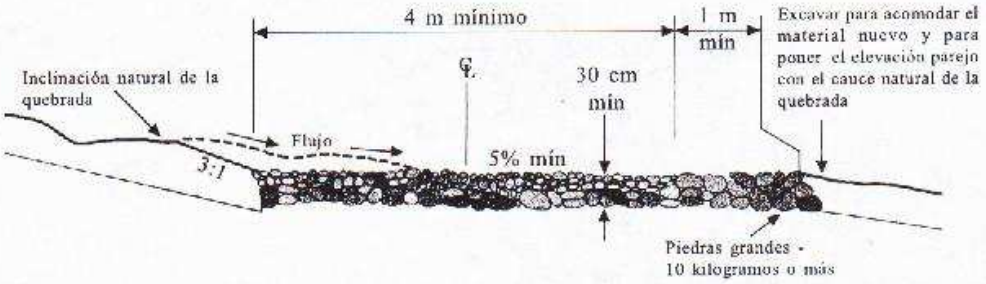
También los badenes mejorados pueden ser combinados con tubería (alcantarillado) y dan la oportunidad para el paso de agua, manteniendo los vehículos fuera del agua, cruzando por un tramo seco, durante los períodos de flujos bajos, como se muestra en la Figura 7.3.5. Se puede proveer la oportunidad para el cruce de peces y otros animales acuáticos sin ser molestados por el tráfico. En períodos de corriente alta, la estructura entera estará debajo el agua.

Los puentes sumergibles son aquellos que pueden acomodar corriente considerable a través de la estructura, aún cuando ésta se inunde totalmente. La Figura 7.3.6 muestra un diseño de puente de bajo nivel con varios canales. La diferencia primaria entre este diseño y un puente convencional es el refuerzo que la plataforma necesita durante la inundación. También el puente está ubicado en un punto bajo de una curva vertical.

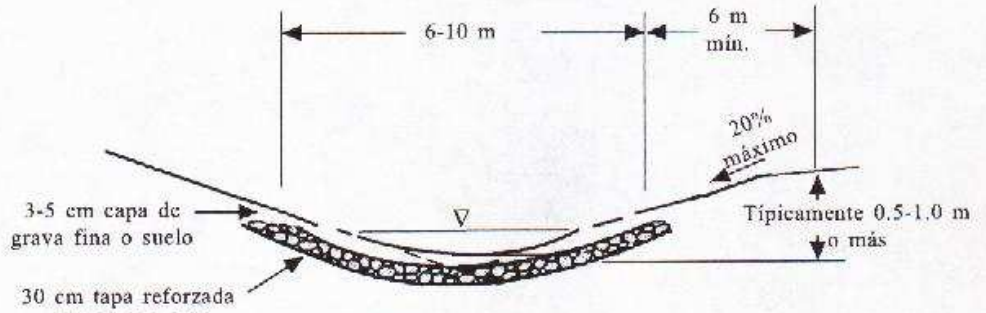
Además existen los puentes temporarios, que son los removidos con anterioridad a las corrientes altas. Para acomodar los flujos medio altos de agua o mantener una estructura de perfil bajo, se puede utilizar puentes sumergibles o de flotación. Los puentes temporales, como puentes "Bailey", frecuentemente son usados en tiempo de medio o bajo flujo para proveer paso, pero no son sumergibles, y se necesita quitarlos antes de flujos altos.



Gráfica A - Vista en Planta.

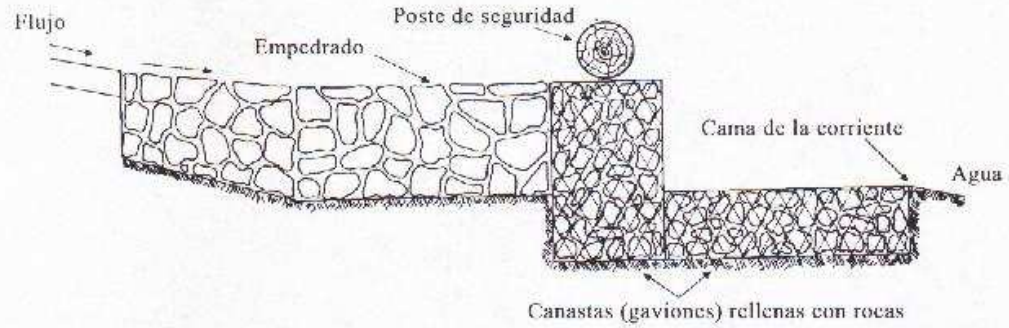


Gráfica B - Corte A-A.

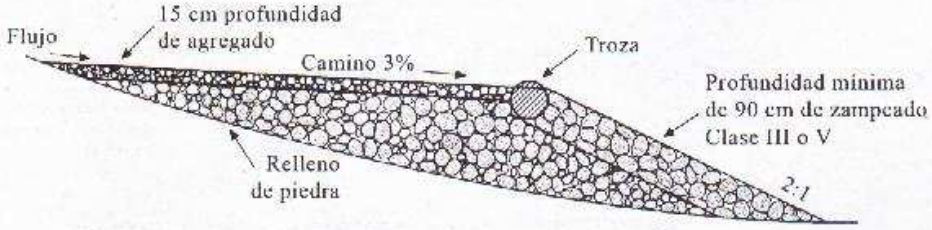


Gráfica C - Corte B-B.

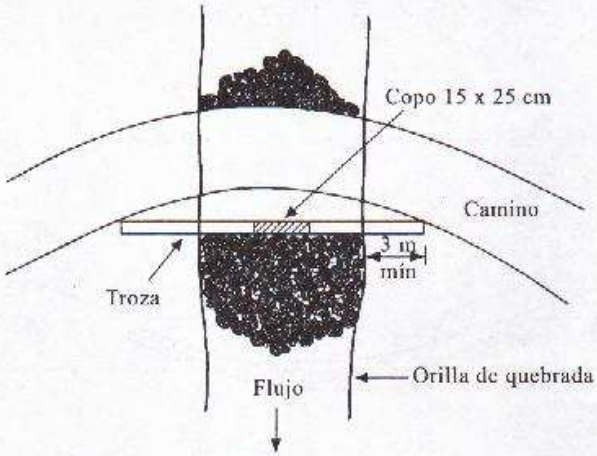
Figura 7.3.1. Badén simple: reforzado en cauce natural.



Gráfica A - Baden con gavion.

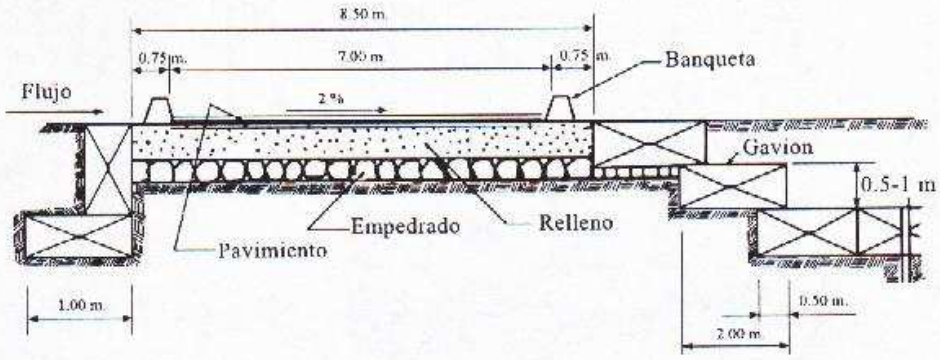


Gráfica B - Badén de zampeado: sección transversal.

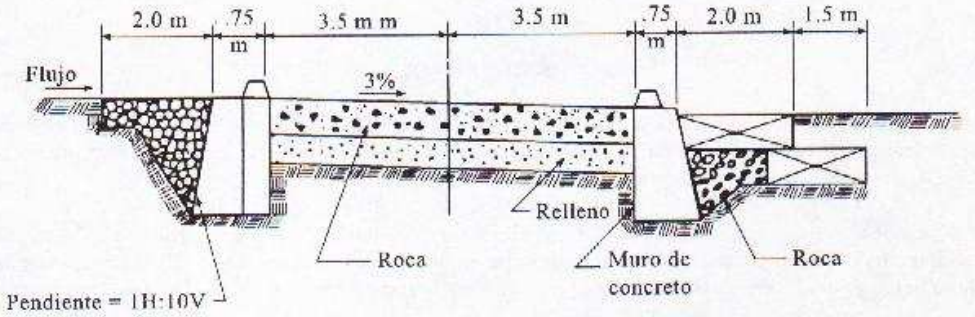


Gráfica C - Vista en planta.

Figura 7.3.2. Badenes simples mejorados.

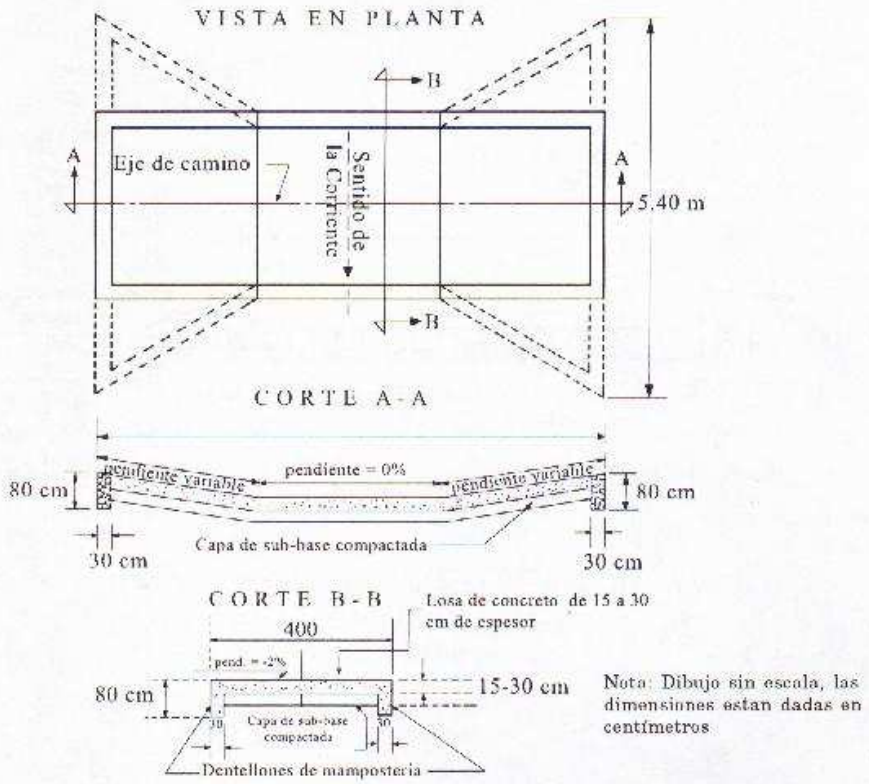


Gráfica A - Badén sobre plataforma susceptible a socavación.



Gráfica B - Badén sobre plataforma no susceptible a socavación.

Figura 7.3.3. Tipos de badenes mejorados (sin tuberías) en cauces erosionables y firmes.



NOTAS GENERALES

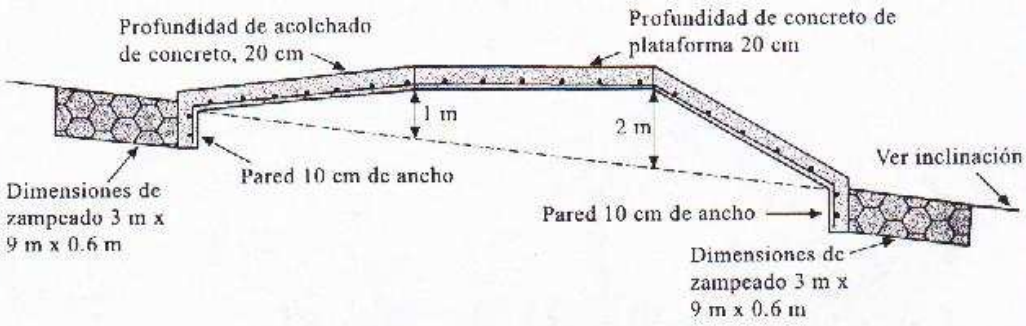
La calidad de los materiales y mano de obra será la indicada en las especificaciones. El espesor y especificación de la capa de sub-base (o rellenos de mampostería), dependerá de las características del terreno de desplante pudiendo llegar al extremo de prescindir de su uso.

Cuando en el cruce de un río o quebrada se use el terreno natural, podría construirse los dentellones únicamente del lado de las aproximaciones del camino y aguas abajo de la corriente y la anchura del vado será establecida de acuerdo a la anchura observada durante el nivel de agua máximo.

En el caso que la obra se encuentre en curva o que el cauce del río o quebrada sea indefinido, se construirán sobreanchos (aletas), de forma que proporcione a los vehículos una aproximación segura a la obra.

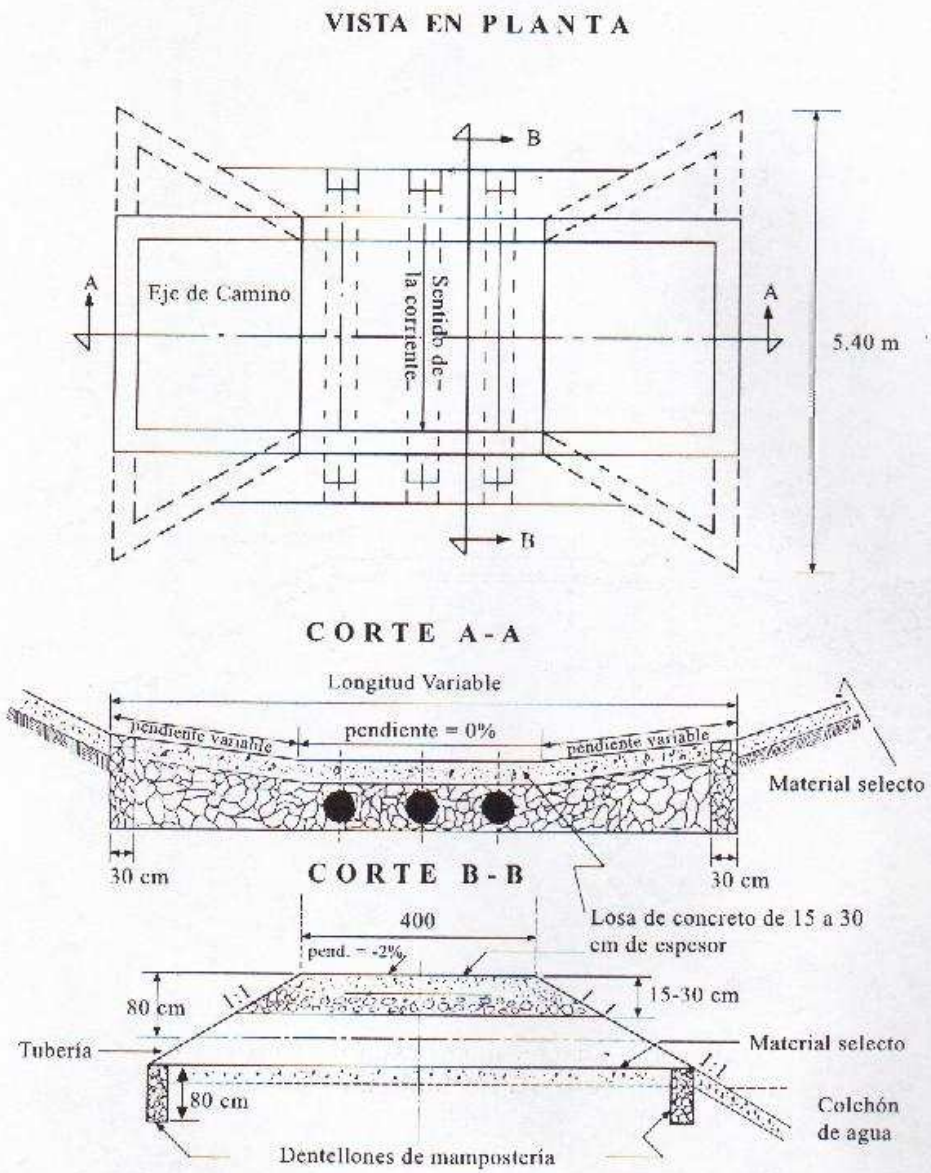
Gráfica A -Vista en planta y corte de badén de concreto.

Figura 7.3.4. Sección típica de badén de concreto.



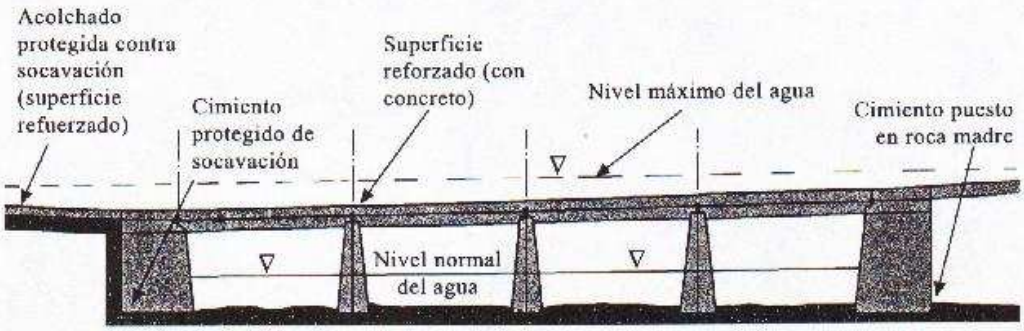
Gráfica B - Diseño modificado de Corte B-B
para badén de concreto mejorado sin tubería.

Figura 7.3.4. Sección típica de badén de concreto (continuación).



Nota: Dibujo sin escala; las dimensiones están dadas en centímetros.

Figura 7.3.5. Sección típica de badén mejorado de concreto con tubería.



Notas:

- Solamente deben construirse puentes de agua de bajo nivel en localizaciónes con cimientos duros, preferiblemente encima de roca madre.
- La plataforma del camino y los estribos deben ser reforzados completamente, más alto al nivel máximo de agua para prevenir socavación y erosión.
- Deben poner rotulación para anunciar el peligro del uso durante épocas de inundaciones.

Figura 7.3.6. Puente de agua de bajo nivel.

SECCIÓN 7.4.
HIDROLÓGICOS Y DISEÑO HIDRÁULICO

Los estudios hidrológicos son los mismos para cualquier tipo de estructura. Se usa el tipo de información que existe y que puede producir un valor de descarga preciso. Los métodos incluyen el Método Racional, estudios de la cuenca adyacente o similares análisis estadísticos de registros disponibles sobre precipitación y escorrentía, huellas de nivel máximo de agua, y otros. Los métodos son similares al proceso usado en los estudios de alcantarillas y puentes (Capítulo 6).

La forma del drenaje, materiales del cauce, características del flujo y condiciones ambientales, como limitaciones por sedimentos, requerimientos de fauna acuática o cantidad de materia ajena que puede entrar al cauce, usualmente influyen en el diseño de la estructura. También se incluye la nivelación y formación del camino para que el agua que cae o que baja de terrenos mas altos desagüe con un mínimo de daño.

Los aspectos mas importantes del diseño son:

- Un diseño efectivo en cuanto al costo.
- Un paso cómodo para el vehículo de diseño.
- Una apertura adecuada para la corriente de diseño.
- Un "badén" bien definido para asegurar que el agua se quede sobre la estructura.
- Un canal estable o adecuado revestido.
- La protección del canal hasta el nivel máximo del agua con un mínimo de por lo menos 0.5 metros de altura extra.
- Proveer corredores de peces en arroyos de pesquerías.

El diseño específico de la estructura deberá incluir la carga del vehículo de diseño, buenos datos hidrológicos (considerando flujos altos y bajos), datos hidráulicos que permitan el paso del agua, un diseño con registros adecuados y protección del cauce, etc. Normalmente se usa la Fórmula de Manning

(discutida en la Sección 5.1) para determinar la capacidad de su travesía y la velocidad de su flujo. Una fórmula de vertedero puede ser utilizada para determinar la capacidad de flujo actual sobre una sección transversal para muchas travesías elevadas de nivel bajo. Muchas travesías son similares a un vertedero de cresta ancha.

Se necesita proteger su lecho contra la socavación y la erosión con uso de roca (zampeado) (Sección 5.2.), gaviones, concreto, etc. Donde cae o pasa la travesía del agua se necesita proteger el cimiento con un colchón o con dientes enterrados debajo de la profundidad de socavación. No incluir un muro de guardia y una gabacha en el diseño, usualmente resulta en la formación de un hoyo de socavación y corrientes más fuertes (remolino) debajo de la estructura.

Las cajas o tuberías pequeñas usualmente no deben ser usadas en drenajes muy empinados, porque el lecho llevará mucho arrastre, que tapará o dañará la tubería. También los drenajes que llevan un gran volumen de material o mueven piedras grandes que pueden bloquear las estructuras es preferible diseñarlos sin tubería. En estos sitios una estructura mejorada con concreto es preferida. Los drenajes de alta velocidad requieren el uso de gaviones, zampeado de gran dimensión, revestimiento de concreto, o uso de gabachas y dientes para disipar la energía y prevenir erosión. Un drenaje hondo necesita una tubería o estructura de caja en vez de un vado para mantener una alineación vertical satisfactoria del camino.

SECCIÓN 7.5.
CONSTRUCCIÓN

La construcción para travesías de agua de bajo nivel es similar a la construcción de la mayoría de tipos de alcantarillas, trabajando dentro del canal de arroyo. Desaguar el sitio, trabajar durante períodos de corriente baja, o trabajar en un canal seco debería considerarse para reducir al mínimo los impactos, la calidad del agua y la pérdida de sedimento. Un sitio seco de trabajo simplificará mucho la construcción. La tubería de plástico flexible puede frecuentemente ser utilizada para secar o desviar una corriente de agua alrededor del sitio de construcción.

El costo y la facilidad de construcción dependerá mucho de la posibilidad de utilizar materiales locales (como grava y roca), carencia de espacio para trabajar, la lejanía del proyecto, y la dificultad de excavación, especialmente en el manto rocoso. Una travesía en un manto rocoso es excelente para tener una fundación fuerte, resistente a la socavación, y para tener una plataforma estable, sin embargo, puede ser inicialmente más costosa y difícil de construir.

La topografía que tiene una pendiente fuerte y con drenajes profundos, requiere un diseño particularmente difícil y representa una situación de construcción igualmente difícil para travesías de agua de bajo nivel. El volumen del flujo en estos drenajes es bajo o mínimo la mayoría de las veces. Muchos de estos drenajes han sido formados por torrentes periódicas de detrito, particularmente en terreno volcánico joven. Una travesía de agua de bajo nivel es el tipo ideal de estructura para un drenaje que está normalmente seco y que ocasionalmente recibe una corriente de gran volumen que lleva detrito. Un travesía de agua no tiene los mismos problemas de obstrucción que un tubo. Además, es más fácil diseñar para acomodar una cantidad desconocida o grande de corriente.

Sin embargo, los drenajes profundos hacen necesario cuestas empinadas o mucho movimiento de tierras con cortes, y usualmente rellenos elevados para la travesía. Si el drenaje es demasiado profundo, entonces se necesita un relleno con conductos grandes o un puente. Normalmente, una travesía mejorada de agua de bajo nivel puede diseñarse usando un relleno reforzado, protegiendo la ladera río abajo con zampeado para acomodar el rebalse y usando un tubo de tamaño moderado. Estas travesías son difíciles y serán relativamente caras,

pero el vado reforzado ofrece una solución más segura y económica que un puente o conductos grandes. Se requiere considerable atención a los detalles del diseño y reforzamiento total de la travesía y el canal.

Foto 7-1. Un badén sin mejoras que atraviesa un camino de material nativo. La erosión causará la falla de la superficie y/o deslizamientos. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 7-2. La construcción de un badén de concreto con muros de guardia que brindará protección a largo plazo con un costo de mantenimiento bajo. Chapare, Bolivia. (Foto G. Keller)

Foto 7-3. Un ejemplo de un badén de concreto mejorado resistente a la acción de socavación y erosión. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 7-4. Un ejemplo de un badén mejorado de concreto sobre tubería para flujo de bajo volumen, con gramíneas sembradas en las orillas para proteger el suelo. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU.

Foto 7-5. Un badén mejorado de concreto con buena protección aguas abajo y un muro de guardia para evitar la socavación. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

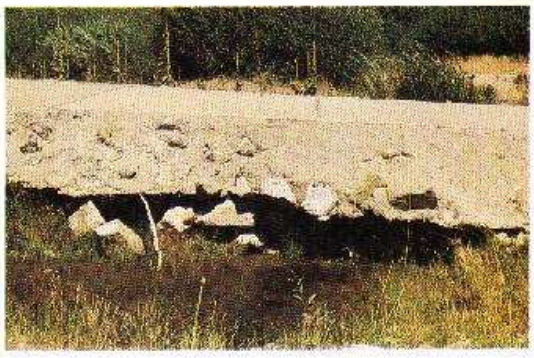


Foto 7-6. Un badén mejorado sin protección aguas abajo contra la socavación. Nótese la socavación que ha ocurrido y que probablemente causará la falla de la estructura. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU.

Capítulo 8

Uso de Nomogramas para Determinar Capacidad de Alcantarilles y Canales

SECCIÓN 8.1.
INTRODUCCIÓN

Los nomogramas se ponen de manifiesto en este capítulo ya que facilitan los cálculos de drenaje permitiendo al usuario determinar directamente la capacidad de canales y alcantarillas de diversas formas como una función del diámetro (o altura de una caja) o profundidad de escurrimiento.

La capacidad de escurrimiento para los tipos más usuales de alcantarillas se presenta con el control de entrada, ya que la mayoría de drenajes de carretera usan el control de entrada. Estos incluyen las alcantarillas de caja (Figura 8.2.1), alcantarillas redondas de concreto (Figura 8.2.2) y alcantarillas de tubo metálico corrugado (CMP) (Figura 8.2.3). Ya que el tubo corrugado es muy utilizado, y la mayoría de tubos de metal son importados de los Estados Unidos, los cálculos para la capacidad de escurrimiento de CMP (tubo metálico corrugado) se presentan en el sistema inglés de pulgadas y pies cúbicos por segundo en la Figura 8.2.4. Finalmente, un nomograma para la capacidad de escurrimiento de CMP con control de salida se muestra en la Figura 8.3.1.

Las últimas dos figuras de este capítulo muestran soluciones para la capacidad del canal. La Figura 8.4.1 presentada en unidades métricas, determina la capacidad de escurrimiento de un canal regular trapezoidal con inclinación lateral de 2:1 y un fondo de 2 pies (0.6m). La Figura 8.4.2 presenta información similar en unidades Inglesas sobre un canal similar con un fondo de 4 pies (1.2 m).

Los ensayos de laboratorio y las observaciones en el campo, han puesto de manifiesto dos formas típicas de escurrimiento en alcantarillas: 1) escurrimiento con control de entrada, y 2) escurrimiento con control de salida. La Figura 8.1.1 muestra las condiciones de nivel de agua en una alcantarilla bajo condiciones de control de salida y control de entrada. Para cada tipo de control, se aplican diferentes factores y fórmulas en la determinación de la capacidad hidráulica de una alcantarilla.

En las obras de control de entrada tienen primordial importancia, la sección transversal del conducto, la geometría de la entrada y la profundidad del agua a la entrada, o altura de remanso. La aspereza, longitud, y las condiciones de salida no son los factores determinantes en la capacidad. La

entrada puede o no sumergirse y la salida no es restringida, como se ve en la Figura 8.1.1 Gráfica A.

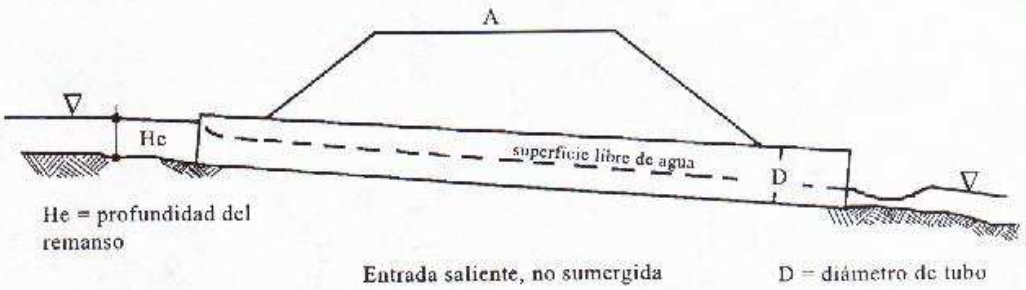
En las obras con control de salida, se debe tener en cuenta, además, el nivel del agua en el cauce de la salida, la pendiente, rugosidad y longitud del conducto. La profundidad de escurrimiento en la salida se define y se sumerge frecuentemente, o la salida del tubo fluye llena como se ve en la Figura 8.1.1 Gráfica B. Los cálculos para el control de salida se complican mucho más que para el control de entrada.

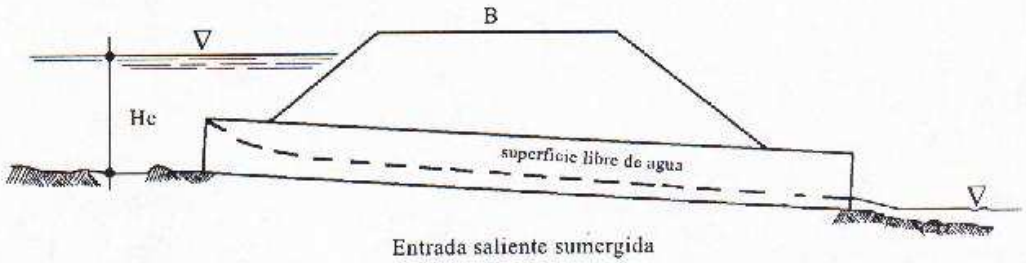
Es posible determinar por medio de complicados cálculos hidráulicos, el tipo probable de control de escurrimiento bajo el cual funcionará una alcantarilla para un conjunto de condiciones dadas. En todo diseño de alcantarillas un factor importante en la capacidad de descarga (Q), es la profundidad del agua en la entrada o profundidad del remanso (He).

Sería posible evitar esos cálculos determinando la profundidad del agua a la entrada, de acuerdo a las gráficas de este manual para cada tipo de control a la entrada y a la salida, y luego adoptar el valor más alto de dicha profundidad que indicará el tipo de control que la determina.

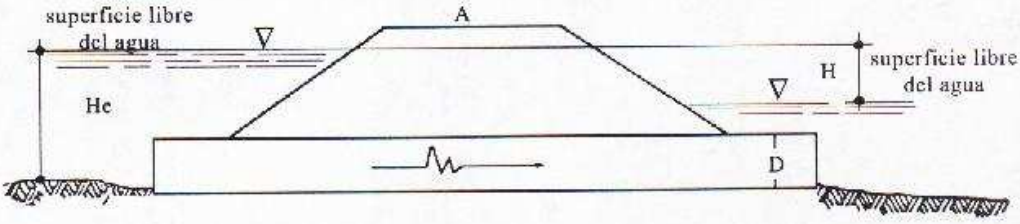
Un conjunto más completo de nomogramas para el análisis hidráulico se presenta en "Diseño Hidráulico de Alcantarillas de Carretera" (Hydraulic Design of Highway Culverts", Series 5, FHWA), y en el "Manual Para el Uso de Gráficas Hidráulicas para el Diseño de Alcantarillas", Dirección General de Caminos Rurales, Guatemala. Estas fuentes incluyen nomogramas para algunos conductos tales como ovalados de concreto (óvalos) y abovedados (arcos de CMP), y arcos de media luna sin fondo. Algunos nomogramas son para control de entrada mientras otros son para el control de salida.

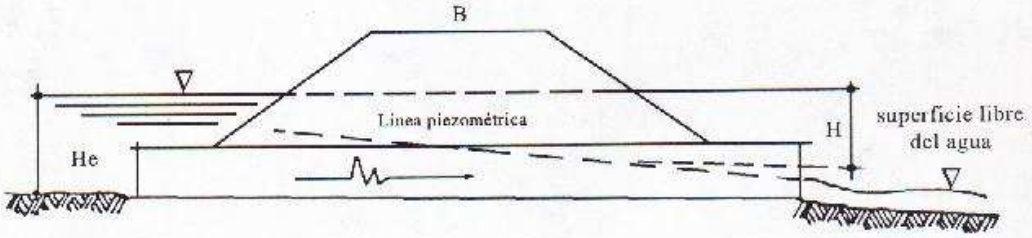
Cada referencia presenta la teoría de flujo a través de conductos y las ecuaciones para el cálculo de parámetros, tales como la profundidad de escurrimiento, velocidad y el perfil de escurrimiento. También se presentan las tablas de soluciones para las fórmulas de drenaje y la influencia de varios tipos de estructuras de entrada.





Gráfica A - Escurrimiento con control de entrada.





Gráfica B - Escurrimiento con control de salida.

Figura 8.1.1. Escurrimento con control de entrada y salida.

SECCIÓN 8.2.
ESCURRIMIENTO EN ALCANTARILLAS CON CONTROL DE ENTRADA

El control de entrada, significa que la capacidad de descarga de una alcantarilla está regida en ese lugar por la profundidad del remanso (He) y su geometría, que incluye la forma y área de la sección transversal del conducto, y el tipo de aristas de aquella. En la Figura 8.1.1 Gráfica A, se muestran esquemas de escurrimiento con control de entrada en alcantarillas con entrada saliente, no sumergida (A) y sumergida (B), respectivamente.

INSTRUCCIONES PARA EL USO DE FIGURAS 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, Y 8.2.4 CON CONTROL DE ENTRADA

Determinación de la altura de la entrada (He), a partir de los datos (Q), dimensiones y tipo de alcantarilla:

Paso #1 Se une mediante una línea recta, el diámetro o altura (D), con el gasto (Q), o Q/B para alcantarillas de cajón; y se marca la intersección de esta recta sobre la Escala (1) de He/D.

Paso #2 Si la Escala (1) de He/D representa el tipo de entrada usada, se lee el valor He/D sobre esta escala. En caso contrario, desde este punto de intersección, se prolonga horizontalmente hasta la Escala (2) ó (3) según corresponda y se lee He/D.

Paso #3 Se calcula He, multiplicando He/D por D.

Determinación del gasto (Q) que puede descargar una alcantarilla dado su tipo, tamaño del conducto y He.

Paso #1 Se calcula He/D para las condiciones dadas.

Paso #2 Se ubica He/D en la escala correspondiente al tipo de entrada. Si esta Escala es de la (2) ó la (3) se prolonga horizontalmente desde ese punto hasta la Escala (1).

Paso #3 Se une este último punto de la Escala (1) con el diámetro o altura D en la escala de la izquierda. Se lee Q o Q/B sobre la escala de gastos.

Paso #4 Si se ha leído Q/B como se indica en (c), se multiplica por el ancho B de la alcantarilla para obtener Q.

Determinación de las dimensiones del conducto, dados Q, He y el tipo de alcantarilla.

Paso #1 Adoptar las dimensiones aproximadas y calcular He/D.

Paso #2 Se ubica He/D sobre la escala que corresponda al tipo de entrada. Si esta Escala es la (2) ó la (3), se traza desde este último punto una horizontal hasta la Escala (1).

Paso #3 Se une este último punto de la Escala (1) con el gasto Q (o Q/B, leído en la escala correspondiente), y se prolonga hasta la escala de la izquierda donde se leerá el diámetro (D), altura o de dimensiones de la alcantarilla, compatibles con el valor He/D.

Paso #4 Si el valor D obtenido no es el supuesto previamente, se repite el procedimiento con un nuevo valor de D.

Se ha preparado la Figura 8.2.1 bis, para incluir escalas correspondientes a alcantarillas de cajón con clave de aristas redondeadas. Además, con el fin de evitar el cálculo adicional de Q/B, se ha reemplazado esta escala por dos escalas separadas, una de gastos Q y otra de anchos B; en consecuencia, como esta gráfica reemplaza a la Figura 8.2.1 la redacción de los puntos mencionados debería ser la siguiente:

- Se une a este último punto de la Escala (1) con el diámetro ó altura D en la escala correspondiente. Se lee Q sobre la escala de los gastos y se marca el punto de intersección con la recta de cruce.

- Si se ha marcado el punto de intersección, como se indica antes, se une con el ancho B sobre la escala correspondiente. Luego, se lee Q en la escala de gastos.

- Se une este último punto con el gasto leído en su escala, y se lee el diámetro, altura o de dimensiones en la escala correspondiente.

- Para el caso de la Figura 8.1.1 Gráfica A (A) se une el punto hallado arriba con la altura D leída en su escala y se marca la intersección con la recta de cruce. Se une este punto con el gasto Q en su escala y se lee el ancho B en la escala de la izquierda.

- Si el valor de D obtenido en el punto arriba no es el supuesto previamente, se repite el procedimiento con un nuevo valor de D. Si el valor de B obtenido no es satisfactorio, se repite el procedimiento con un nuevo valor de D.

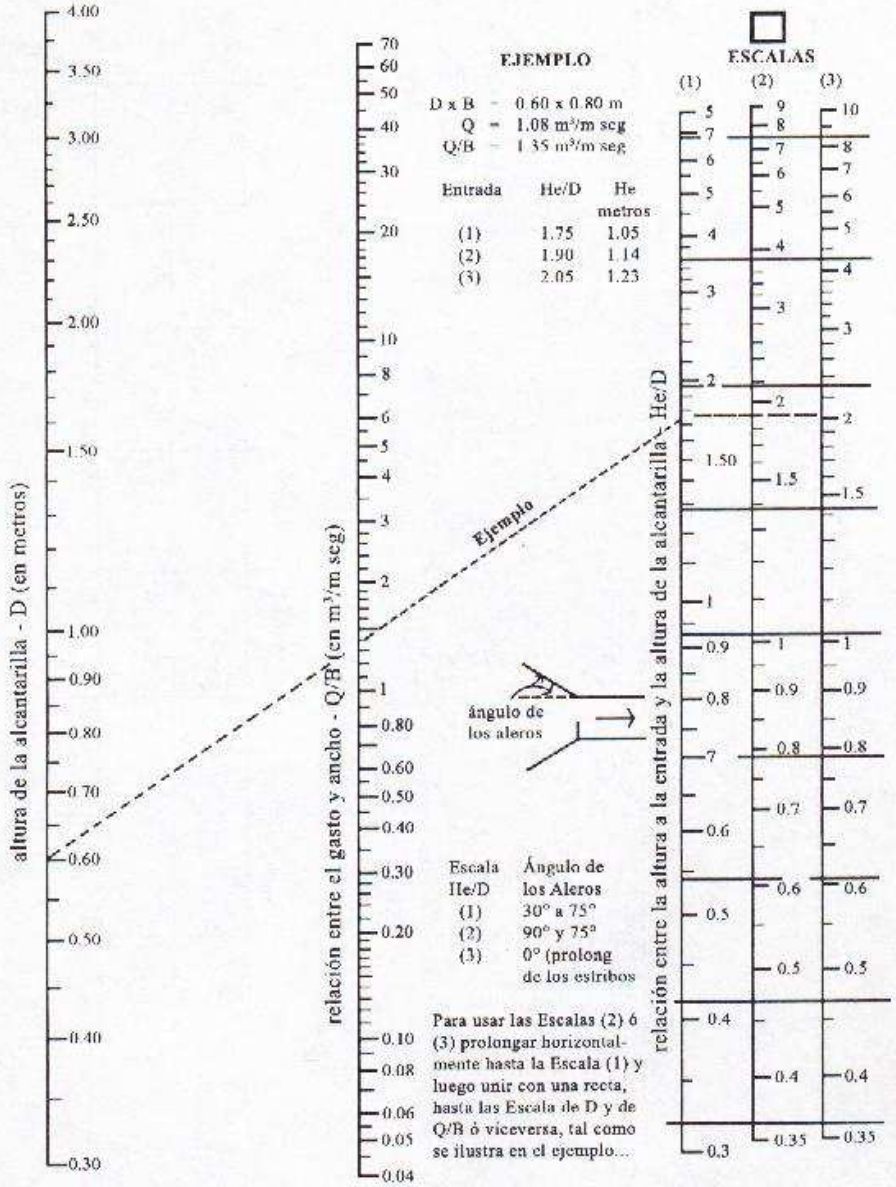


Figura 8.2.1. Altura a la entrada para alcantarillas de caión de concreto con control de entrada.

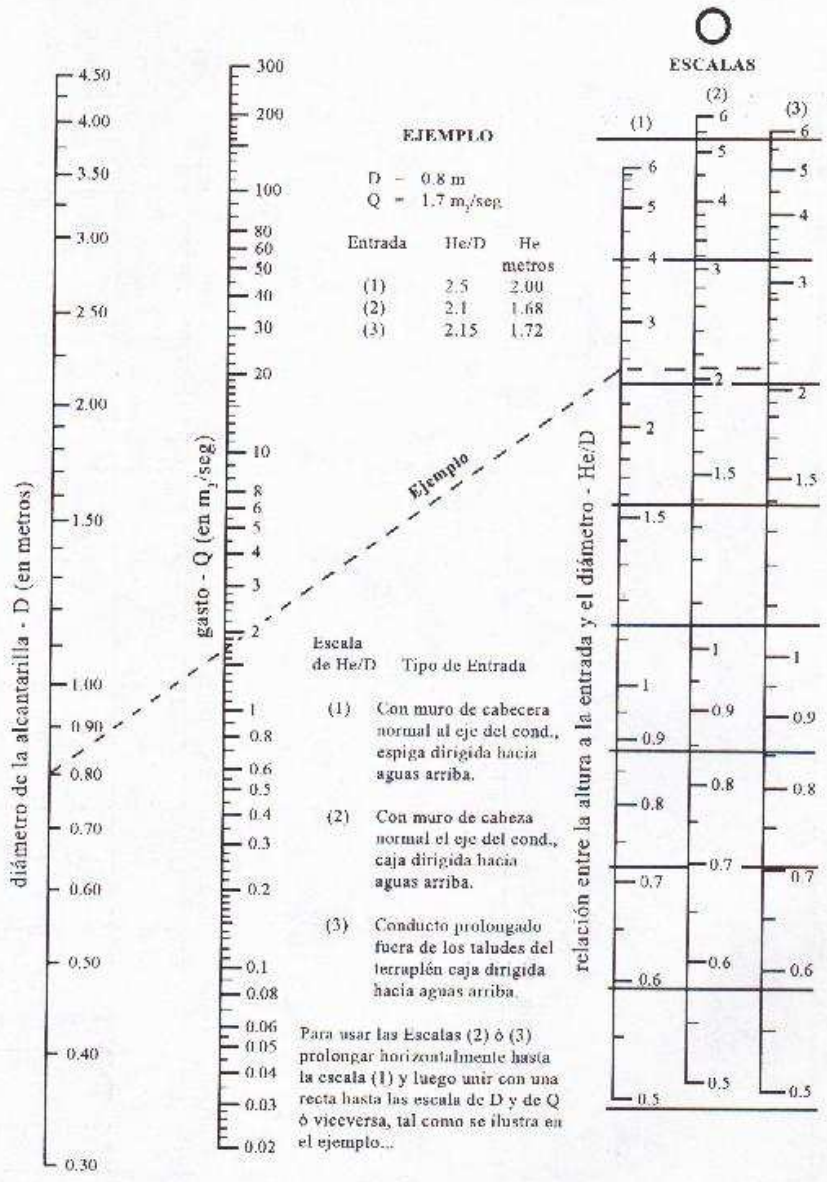


Figura 8.2.2. Altura a la entrada para alcantarillas de tubos de concreto con control de entrada.

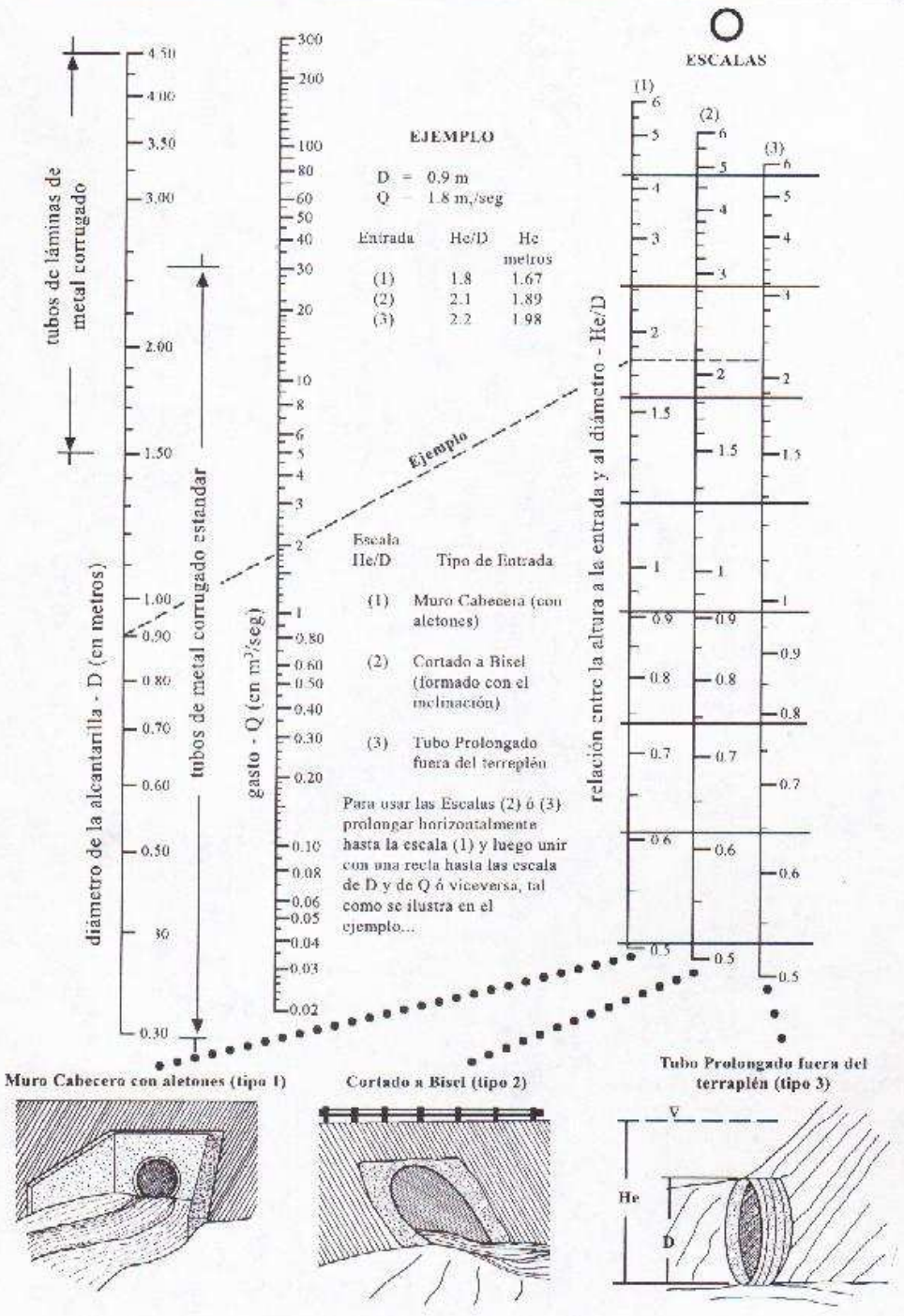


Figura 8.2.3. Altura a la entrada para alcantarillas de tubos circulares de metal corrugado, con control de entrada (Sistema Métrico).

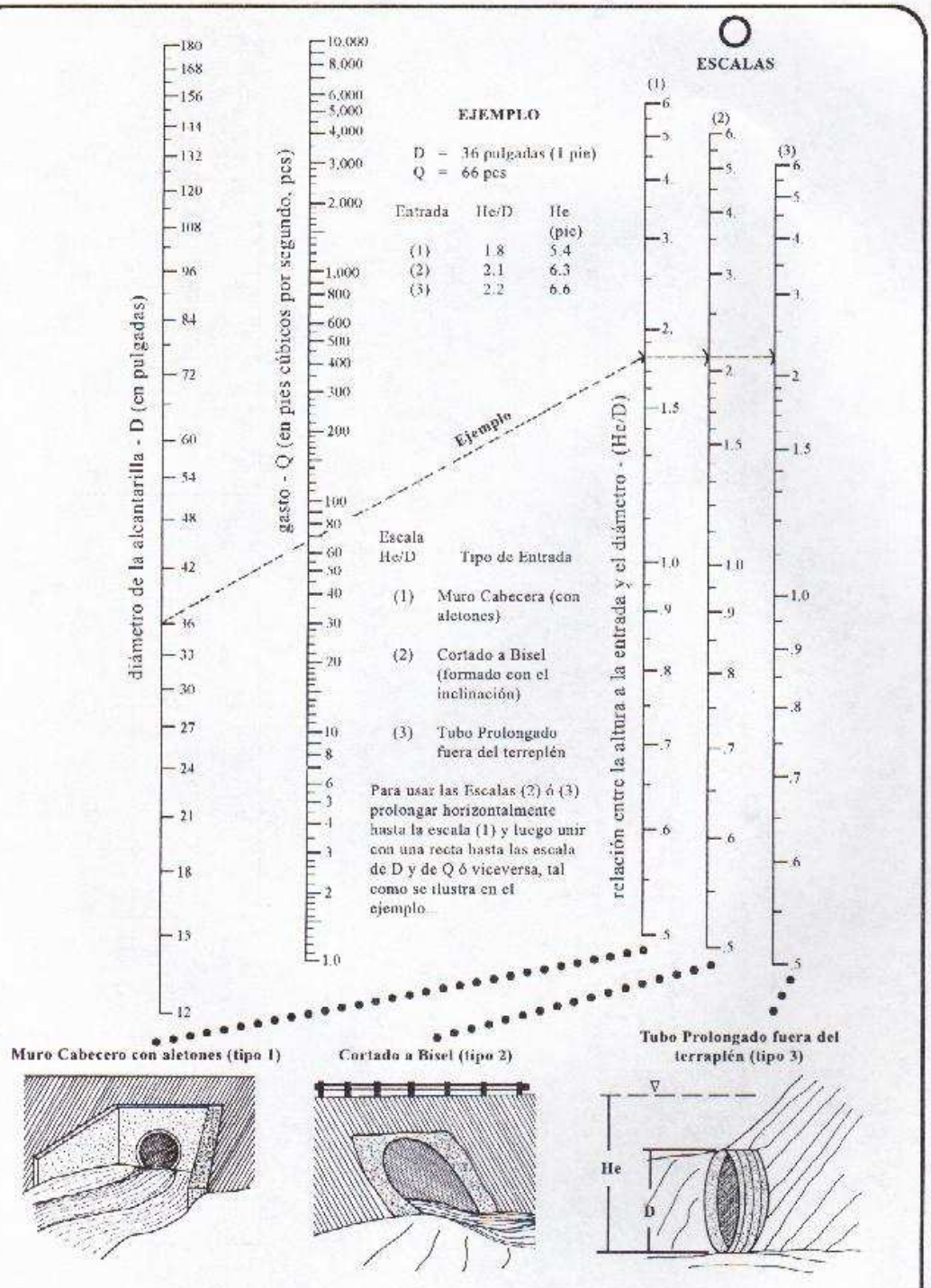


Figura 8.2.4. Altura a la entrada para alcantarillas de tubos circulares de metal corrugado, con control de entrada (Sistema Americano).

SECCIÓN 8.3.
ESCURRIMIENTO EN ALCANTARILLAS CON CONTROL DE SALIDA

El escurrimiento en alcantarillas con control de salida, puede presentarse a conducto lleno o parcialmente lleno, en una porción o en toda su longitud. Si la alcantarilla está llena a lo largo de toda su longitud, se dice que escurre llena [Gráfica B (A)], o parcialmente lleno [Gráfica B (B)] (ver Figura 8.1.1). La elevación de agua de descarga puede definirse, ya sea arriba de un conducto de salida o corriendo parcialmente llena a la salida. Los procedimientos desarrollados en este trabajo permiten la exacta determinación de la profundidad del agua a la entrada para las condiciones de escurrimiento expuestas.

INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LA FIGURA 8.3.1 PARA TUBOS CIRCULARES DE METAL (CMP) CON CONTROL DE SALIDA

Cuando el conducto de la alcantarilla escurre lleno en toda su longitud, se utilizan nomogramas en la determinación de la altura de carga H, para algunas condiciones de escurrimiento a conducto parcialmente lleno con control de salida. Los nomogramas no solucionan en su totalidad la obtención de He ya que solamente dan el valor de H en la expresión:

$$He = H + H1 - Li$$

donde L = longitud de la alcantarilla
i = pendiente del fondo de la alcantarilla
(ver el dibujo en la Figura 8.3.1)

Determinación de la altura de carga H, para alcantarilla y gastos dados:

Paso #1 Se utiliza el nomograma correspondiente al tipo de alcantarilla elegida. De acuerdo al tipo de entrada, se halla Ke de la figura.

Paso #2 Se ubica, en el nomograma, el punto de arranque en la escala de longitudes de alcantarilla, de acuerdo a las siguientes instrucciones:

a. Si el valor de Manning coeficiente de rugosidad (n) del nomograma corresponde al del conducto dado, se utiliza la escala curva de las longitudes de alcantarilla, correspondiente al valor Ke y se ubica el punto de arranque sobre el valor de la longitud de la alcantarilla. Si en la gráfica no se encuentra la escala correspondiente al valor de Ke se procede de acuerdo al punto (b) que sigue. Si el valor de (n) de la alcantarilla elegida difiere de (n) del nomograma, se procede de acuerdo al punto (c.).

b. Para (n) coincide con el valor del nomograma y Ke con un valor intermedio al de las escalas, se unen con una línea recta los puntos correspondientes a las longitudes dadas, de las escalas adyacentes, y se ubica sobre este segmento, en la proporción debida, el punto de arranque.

c. Para un coeficiente de rugosidad (n1) diferente del (n) de la figura, se encuentra otra figura, o se usa en las escalas de longitudes de conducto, un valor L1 ficticio, calculado mediante la fórmula:

$$L1 = L\left(\frac{n1}{n}\right)^2$$

Paso #3 Se une con una línea recta el punto de arranque, con el correspondiente a las dimensiones de la abertura del conducto en la escala respectiva y se marca el punto de intersección con la recta de cruce.

Paso #4 Se une este último punto ubicado en la recta de cruce, con el valor del gasto (Q) de diseño sobre la escala correspondiente y se prolonga la recta hasta leer (H) en la escala respectiva.

Los valores de (n) para materiales comúnmente utilizados en alcantarillas están presentados en el Capítulo 5.1 en el discurso de Fórmula de Manning.

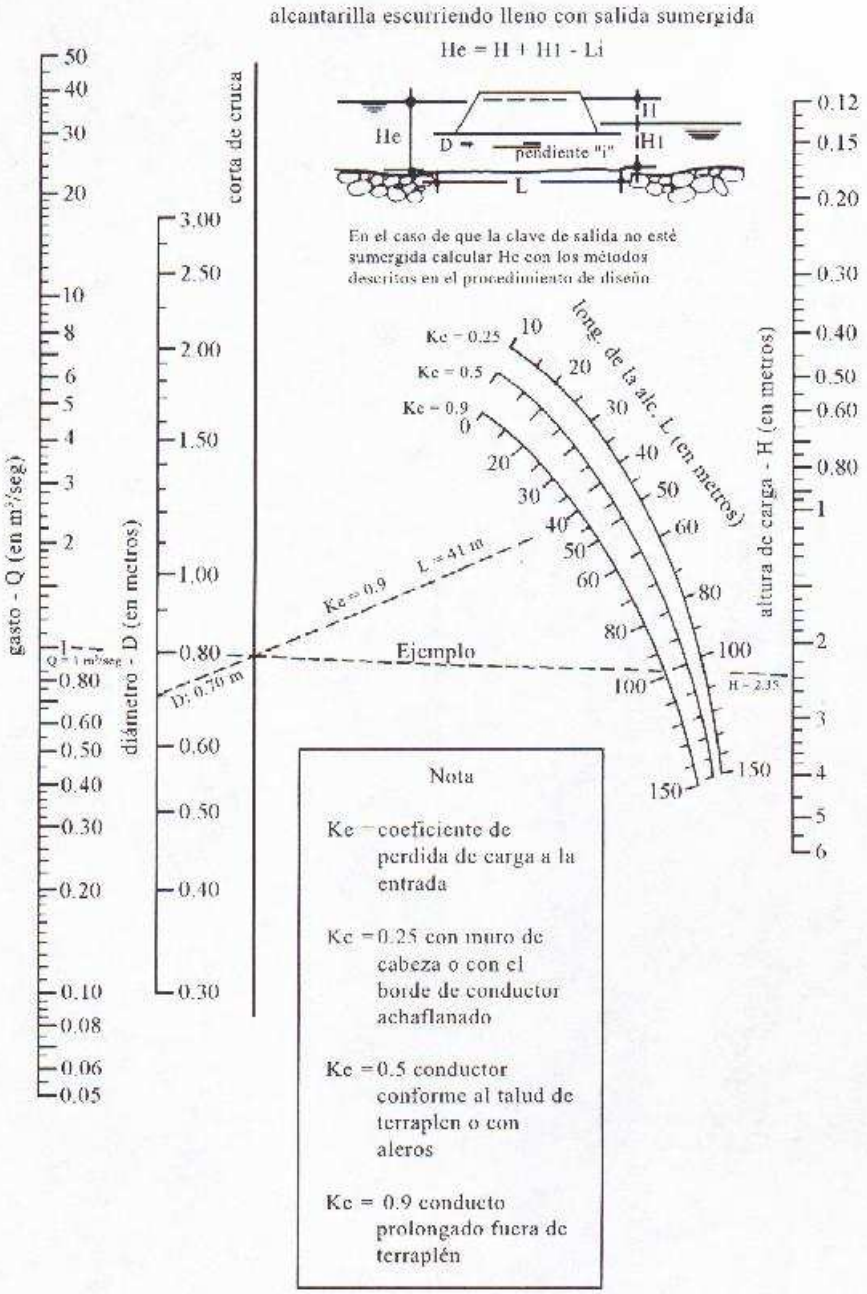


Figura 8.3.1. Altura de carga (H) para alcantarillas de tubos circulares estándares, de metal corrugado, con escurrimiento lleno, n = 0.024, con control de salida.

SECCIÓN 8.4.
ESCURRIMIENTO EN CANALES

La determinación de flujo de canales abiertos en canales de forma trapezoidal y regular, se presenta en la Figura 8.4.1 y Figura 8.4.2. La capacidad de escurrimiento (descarga) se determina en función de la forma de un canal dado y tipo de revestimiento (aspereza o cobertura), pendiente del canal, y profundidad de la corriente. La velocidad de corriente puede también ser determinada. Las figuras para los dos canales con anchuras diferentes se presentan en Sistema Métrico e Inglés. El uso de ambos nomogramas, información, y las soluciones son similares, como se plantea más adelante.

INSTRUCCIONES PARA EL USO DE FIGURAS 8.4.1 Y 8.4.2 PARA CANALES ABIERTAS

Determinación de la descarga (Q) para el canal y la profundidad (D) de flujo dado para Figura 8.4.1:

Paso #1 Escoger el nomograma apropiado para la forma del canal a construir. Otros nomogramas están disponibles de publicaciones de FHWA. Escoger Figura 8.4.1 ó Figura 8.4.2 dependiendo de la forma de canal deseado y las unidades preferidas.

Paso #2 Típicamente una descarga (Q) y la pendiente del terreno se conocen. Ubicar el valor determinado de descarga y extender esa línea verticalmente hasta intersectar con la familia de líneas para valores variables de pendiente.

Paso #3 Note dónde se intersectan las líneas de descarga y pendiente. Este punto de intersección yace sobre o dentro de una familia de líneas para la profundidad de flujo. La línea o valor interpolado de las líneas de profundidad en el punto de intersección muestra la profundidad de flujo (en metros).

Paso #4 Ese punto de intersección también puede usarse para determinar la velocidad de flujo. Proyectar este punto de intersección horizontalmente a la izquierda a su punto de intersección con la escala de velocidad. Esto da el valor de velocidad, en

metros por segundo. Los valores de velocidad multiplicados por el valor de "n" de Manning "n" se muestran también.

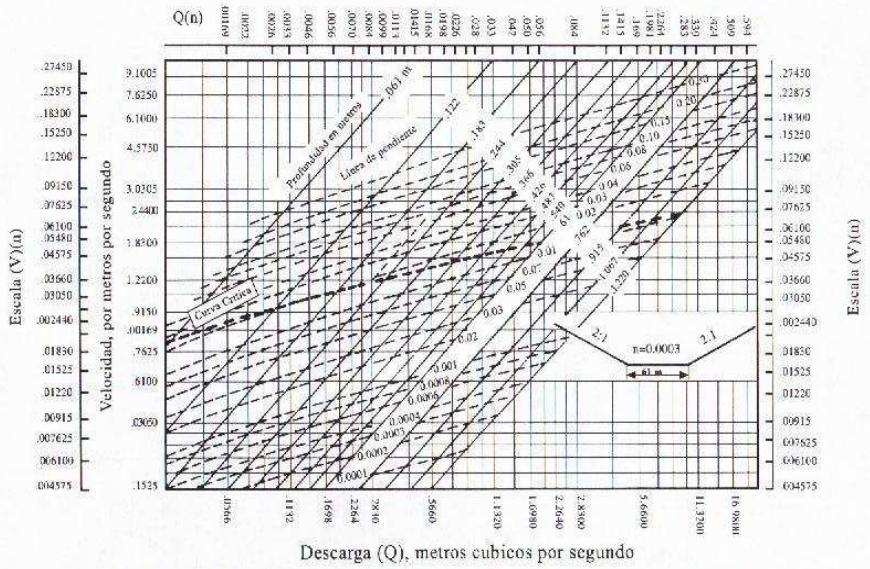
Paso #5 Si la pendiente y la profundidad se dan, entonces el punto de intersección de estas dos líneas se ubica. Ese punto de intersección se proyecta verticalmente descendente a donde cruza la escala de descarga (Q). Esto da el valor de descarga.

Un procedimiento similar, planteado más adelante, se usa para el Nomograma en la Figura 8.4.2:

Paso #1 Ubicar la descarga dada y extender la línea verticalmente al punto de intersección con la línea horizontal por el valor de la pendiente del canal.

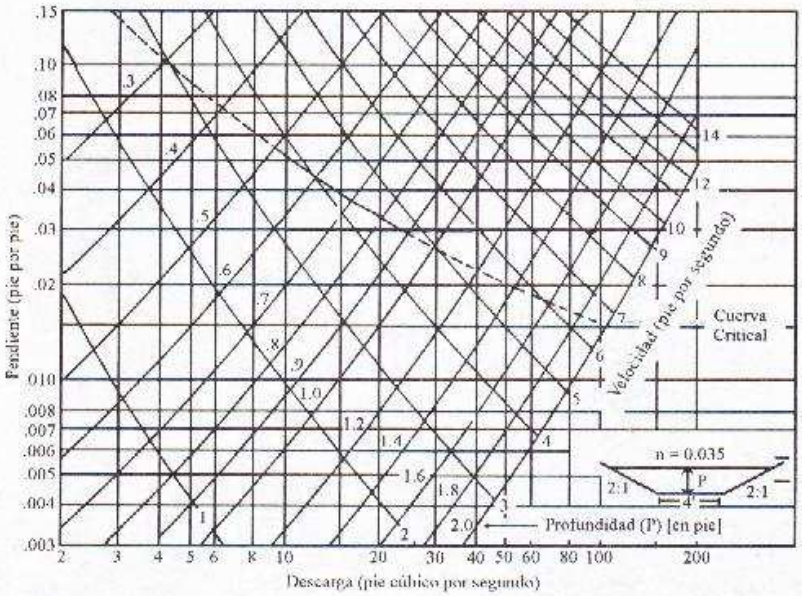
Paso #2 En el punto de intersección de descarga y la pendiente, note donde ese punto intersecta o yace entre valores de profundidad en la familia de curvas para la profundidad. Ese valor de profundidad (P) es la profundidad de flujo necesitada para llevar la descarga determinada (Q). Viendo la familia de curvas para velocidad, la velocidad (V) de cualquier flujo puede ser determinada.

Paso #3 Si se sabe la pendiente y la profundidad, entonces la descarga (Q) puede determinarse en una manera similar. Usando valores de descarga y profundidad dadas, también puede determinarse la pendiente necesaria.

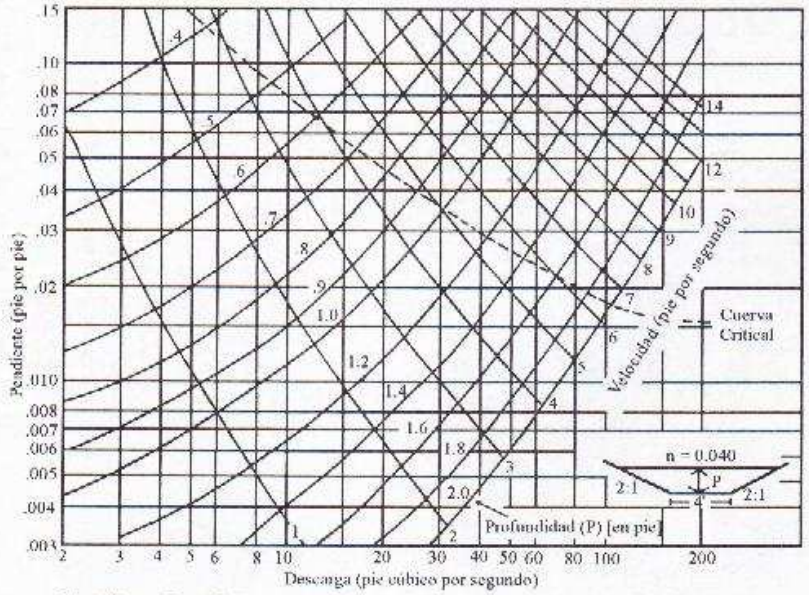


La profundidad crítica es independiente de la aspereza del canal y debe leerse solamente en la escala Q; la pendiente crítica depende de la aspereza del canal y se lee en la intersección de la profundidad crítica y la línea vertical (Q)(n).

Figura 8.4.1. Flujo de un canal trapezoidal con 61 centímetros de fondo y lados de 2:1.



Gráfica A - Para graminia corta, menos de 2.5 pulgadas.



Gráfica B - Para graminia alta, más de 4.0 pulgadas.

Figura 8.4.2. Capacidad de flujo para canales cubiertos con gramíneas, con pendientes de 2:1 y ancho de 4 pies (Sistema Americano).

Capítulo 9

Consideraciones Generales de Drenaje para Caminos Rurales

SECCIÓN 9.1.
UN RESUMEN DE SISTEMAS DE DRENAJE PARA CAMINOS

El sistema de drenaje es el aspecto más importante del diseño y la construcción de caminos por el impacto ambiental, costo de construcción, mantenimiento y reparación. **En el diseño de caminos los tres aspectos más importantes son: ¡Drenaje, Drenaje y Drenaje!**

Esta sección trata de los sistemas de drenajes para los caminos que involucran varios aspectos de diseño, construcción y mantenimiento de los mismos. También trata del propósito de la instalación de drenajes, o sea en términos generales, cómo reducir al mínimo los problemas de erosión. Incluye además el tema de las travesías naturales y las medidas de protección para reducir al mínimo el impacto de las mismas. Se presenta un desgloce del uso, los tipos y los factores que influyen el diseño y la instalación de alcantarillas. Más adelante se trata el tema del control del agua en las entradas y salidas de cunetas y tubos, así como el control del agua en la superficie de los caminos, y la instalación de badenes o desviadores de agua. Luego concluye con los casos especiales como los cruces en áreas húmedas o cenagosas y el uso de subdrenajes.

Los principios para un sistema de drenaje para caminos son muy elementales, sin embargo, no son ampliamente dominados por mucha gente, y como consecuencia, no se les presta la atención que realmente merecen. Un buen sistema de drenaje para un camino requiere mucha atención en los detalles, del diseño y la construcción. Se requieren los estudios de gabinete, pero para lograr un diseño efectivo es necesario practicar un estudio de campo detallado. Los factores climatológicos y de suelo son los que determinan el diseño del sistema de drenaje e influyen en la erosividad del sitio, los estudios de campo deberían tomar en cuenta los conocimientos de la gente de la zona. Los criterios presentados en este capítulo presentan lineamientos y conceptos útiles para el diseño y la construcción de sistemas de drenajes teoréticos, pero para lograr un sistema funcional, se debería basar el diseño en los datos recabados en el lugar.

La Figura 9.1.1 muestra un camino rural ubicado en una zona montañosa con los tipos de estructuras de drenaje que normalmente se encuentran. Los caminos de este tipo tienden a tener estructuras como badenes, desviadores de

agua, alcantarillas, peraltes hacia afuera o adentro, cunetas y subdrenajes en las áreas húmedas. Adicionalmente, las cunetas o desagües llevan revestimiento y los taludes son estabilizados y sembrados con material vegetativo para controlar la erosión.

Los objetivos básicos más importantes para el drenaje de caminos son:

1. Pasar con seguridad toda la cantidad de descarga que cruce el camino.

2. Remover el agua fuera de la superficie del camino sin hacer daño al camino y su estructura.

3. Prevenir impactos negativos al ambiente a los lados del camino. Reducir al mínimo los cambios al patrón de drenaje natural.

5. Disminuir o reducir al mínimo la velocidad del agua y la distancia que el agua tiene que recorrer.

6. Remover el agua subterránea que se encuentre, cuando sea necesario.

Hay muchas maneras o métodos para lograr el objetivo de drenar un camino. Los tipos de drenajes incluyen estructuras de drenajes transversales naturales, travesías, drenajes de superficie y subdrenajes. Estas estructuras sirven para dispersar, disminuir la velocidad o transportar el agua, evitar la acumulación y reducir la fuerza erosiva del agua.

Un listado general, aunque sea parcial de las medidas es el siguiente:

- Dispersar el agua lo más rápido y frecuente posible.

- Usar pendientes onduladas para reducir al mínimo la "cuenca" y así la descarga.

- Evitar pendientes fuertes y áreas planas (las pendientes deberán ser >2% y <15% en la superficie del camino).

- Usar muchos drenajes y desagües transversales. Donde el volumen de agua excede la capacidad de carga de la cuneta, se coloca otro desagüe transversal para ayudar a remover el agua.

- Reducir al mínimo el ancho del camino y la altura de cortes y rellenos para reducir al mínimo el área de perturbación.

- Construir el camino en la parte alta del terreno, donde es menos quebrado y está más alejado de los ríos.
- Evitar la construcción de caminos en áreas húmedas, inestables o con pendientes fuertes.
- Mantener una zona de protección (o faja de protección) a los lados de los cauces y ríos.
- Colocar arbustos u otro tipo de vegetación natural al pie de los rellenos, en los cortes, y en las salidas de la alcantarilla.
- Usar bordillos para proteger la superficie del relleno.
- Remover los bordillos en la orilla del camino con un peralte hacia afuera donde se acumule el agua (con la excepción de zonas de relleno sujeta a la erosión).
- Construir los bordillos suficientemente altos para que el agua se desvíe y que no les pase por encima (sobrepasa). Los bordillos están sujetos a degradación con el paso del tiempo, tráfico y animales.
- Escarificar (labrar), sembrar y estabilizar las áreas de desechos, los bancos de préstamo y otras zonas perturbadas. Hay que hacer lo mismo con el material que se acumule en las salidas de las cunetas y los tubos de descarga.
- Prestar mucha atención a los detalles de los problemas de drenaje ya que la mayoría son muy sutiles. Utilizar un nivel o clinómetro para medir la pendiente del drenaje, y no el "ojómetro".
- Observar el camino durante una tormenta para ver cómo funcionan los drenajes y para identificar los problemas que se tienen que corregir.
- Darle mantenimiento frecuente, por lo menos una o dos veces al año después de las tormentas.
- Mantener el máximo de vegetación natural posible en los cortes y rellenos, así como en las salidas de conductos.
- Utilizar un diseño apropiado para cruces de riachuelos y ríos para reducir al mínimo los cambios a los cauces naturales.
- Utilizar subdrenajes en las áreas donde el agua subterránea afecta el camino o el talud.

CRUCES DE QUEBRADAS Y CAUCES NATURALES

Los cruces de drenajes naturales requieren un diseño hidrológico e hidráulico como se describe en los capítulos anteriores. Se debería construir una plataforma estable y adecuada para el tránsito de los vehículos y también proteger el canal y la estructura de los efectos de erosión de la ribera y socavación. Se utilizan los cruces de drenaje natural cuando sea necesario donde se encuentre un área de desagüe. Estos cruces se construyen a manera de reducir al mínimo la perturbación o el cambio en el sitio. Por lo tanto, se debería trazar el camino evitando esas áreas, para reducir al mínimo los cruces, los impactos y el costo que conllevan.

Normalmente las áreas donde se encuentran estos cruces son sensibles y por lo tanto se requiere una práctica de ingeniería especial. Se debería desaguar el sitio, o mejor aún, construir durante la época seca o cuando la corriente es mínima para no degradar la calidad del agua y reducir al mínimo la perturbación del canal. Para restringir la perturbación y detener el sedimento en el sitio, se debe utilizar pacas de paja (también llamados fardos de heno), bordillos, protectores de sedimento (también llamada cerca de protección de limo) y colchones de agua. Al terminar la construcción de la estructura, se debe hacer limpieza para remover los desechos y el ripio del sitio. Después, se debería restaurar, sembrar y/o revestir el área de trabajo.

El diseño de la estructura y el cuidado necesario en la construcción del cruce dependerá de si existe o no un habitat de peces, por lo cual se debería consultar a los biólogos o técnicos de pesca locales. En caso de que sí existan, se debería utilizar una estructura que permita el tránsito de los peces, tales como alcantarillas con un fondo libre, alcantarillas de cajón de concreto o un puente. Se debe mantener, cuando sea posible, el lecho del río de una forma natural sin altas gradas o cascadas para dejar pasar los peces libremente y también evitar el uso de tubos estrechos, largos o con una pendiente fuerte. Se puede construir la alcantarilla con desviadores para el paso de los peces, pero no son muy efectivas y son difíciles de mantener. El costo adicional para construir los corredores para peces es mínimo en comparación al costo total de la estructura de drenaje.

Ocasionalmente, se necesita instalar una rejilla contra basura (también llamada parrilla) en los cruces de drenaje natural para evitar que se tapen con el arrastre. Se puede esperar problemas con el arrastre donde ha habido cambios en el uso de la tierra o incendios. Mas adelante se trata con más detalle

la necesidad de instalar algún tipo de estructura para atrapar el arrastre, el incremento en el tamaño de los tubos o la construcción de badenes para evitar la socavación y para limitar el daño en el sitio.

El diseño de los cruces de canales naturales debe ser consistente con el patrón natural del desagüe. Las estructuras deben ser suficientemente grandes y anchas para reducir al mínimo la perturbación del canal y el cambio del perfil y velocidad del agua. Para evitar la concentración del agua, se necesita la instalación de estructuras relativamente largas, o varias estructuras de tubos o de cajones en los canales amplios. Las estructuras deben seguir, tal como sea posible, la pendiente natural del lecho del canal y las salidas de las alcantarillas revestidas para prevenir socavación y la formación de hoyos que pueden bajar el nivel del canal y a la vez afectar las zonas ribereñas adyacentes.

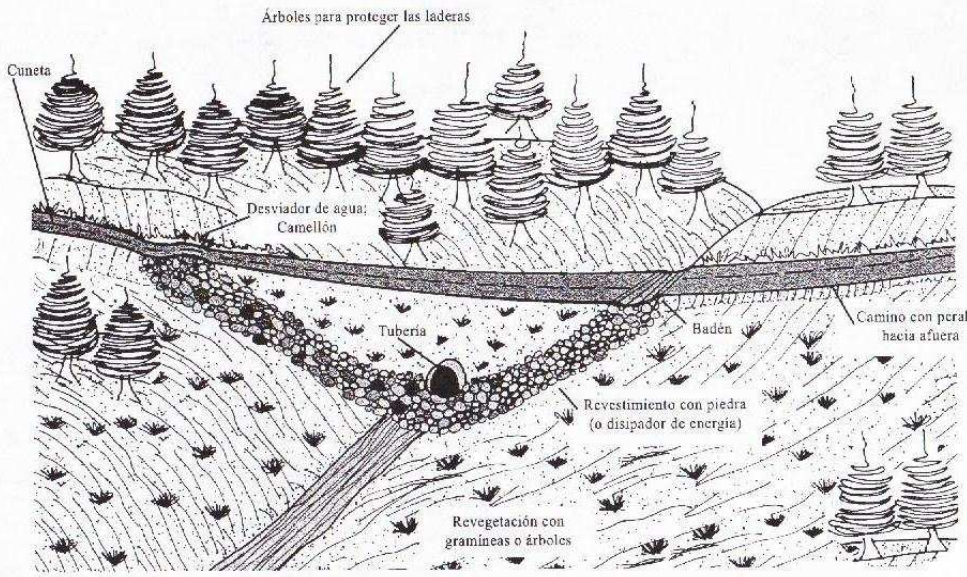


Figura 9.1.1. Sumario de tipos de estructuras y medidas de control de erosión de drenaje superficial.

SECCIÓN 9.2.
INSTALACIÓN Y USO DE ALCANTARILLAS

Existe una gran gama de estructuras de drenaje y alcantarillas apropiadas para cruzar desagües naturales, desaguar las superficies de caminos y para cunetas; éstos incluyen tubos redondos y ovalados, alcantarilla de caja, arcos de bóveda y otros (Figura 9.2.1).

Las estructuras y los tubos deben ser colocados y alineados correctamente para funcionar como se debe, para que duren según su diseño y reducir al mínimo la perturbación en el sitio. La Figura 9.2.2 demuestra algunas formas de cómo se deberían alinear los cruces de desagües naturales con alcantarillas y cómo no deberían hacerse.

Las estructuras de drenaje deben ser instaladas con sus entradas y salidas a un nivel propio, normalmente al nivel de la superficie de la tierra o del cauce, con las salidas revestidas o de alguna manera protegida de la fuerza del agua saliendo de los tubos. La Figura 9.2.3 muestra un corte transversal de varios puntos básicos de una alcantarilla instalada en un relleno. Los muros de cabecera con aletones o secciones de metal achaflanado mejoran la eficiencia de los tubos y también sirven para evitar los problemas de socavación, descalce, escurrimiento y erosión del relleno.

Los factores más significativos en la instalación y el uso de alcantarillas son los siguientes:

- Usar el tipo de alcantarilla apropiada para el sitio, con la capacidad necesaria, y de menos costo.
- Usar disipadores de energía como zampeado o cama de revestimiento a la salida de la tubería, o muros y dientes para prevenir socavación.
- Mantener un desnivel mínimo de 2% para la tubería, o con una pendiente consistente con el patrón natural del desagüe.
- Colocar la tubería directamente en medio del drenaje natural, o usar varios tubos en los canales amplios.
- En tubería grande, usar estructuras de entrada, como muros de cabecera con aleros o conductores achaflanados, para mejorar la capacidad de la tubería, para reducir al mínimo la erosión del relleno y para controlar el nivel de entrada de agua. La Figura

9.2.4 demuestra los cuatro tipos de entrada de tubería más usados. Los tubos prolongados son los más comunes, sin embargo, es el diseño menos eficiente. Se utilizan también entradas de metal y cortadas a bisel, pero el muro de remate de concreto (también llamado muro de cabecera de concreto) es el diseño más eficiente.

- Colocar la tubería sobre material bien compactado, compactando el material de relleno por estratos durante la instalación. Es muy importante colocar una subrasante uniforme y bien compactada debajo de la tubería, o el uso de una cama de relleno selecto en las áreas con suelos sueltos (Figura 9.2.5). Es muy importante compactar el suelo por estratos en la construcción de cunetas y la instalación de tubería y arcos de tubo.

- La Figura 9.2.6 demuestra la instalación de una alcantarilla ideal, con muros de remate de concreto y el uso de gabachas con dientes para evitar la socavación en la salida de la tubería.

- Cuando se utilicen tubos de metal, particularmente arcos de metal (CMPA) sobre material de relleno susceptible a erosión como arena y sedimento fino, se deben sellar las uniones de los tubos con un empaque de hule u otro material. Las filtraciones o fugas de agua pueden causar escurrimiento o socavación y por último la falla de la estructura.

- Se debe usar parrillas o rejillas contra basura en los desagües y cauces que llevan mucho arrastre. Se pueden construir estas mismas de pedazos de tubo, hierro o troncos, colocándolas aguas arriba o en la entrada de la tubería para atrapar el arrastre para que no las tape.

- Los arcos de bóveda construidos de concreto o mampostería ofrecen una alternativa razonable a los arcos de metal. Como en otras estructuras mayores de drenaje, se deben proteger las salidas con zampeado o muros de remate para evitar la socavación del relleno, así como el piso de la bóveda (Figura 9.2.7).

En los cruces de drenajes a veces se requiere la instalación de parrillas u otro tipo de estructura para atrapar el arrastre antes de que llegue a la estructura de drenaje. Arrastres tales como arbustos, troncos, ramas, hojas y piedras pueden tapar la alcantarilla que, eventualmente, pueden causar que el agua pase encima del cruce y socavarla. Se encuentra un exceso de arrastres en los desagües y las cuencas donde ha habido un incendio o han cortado los árboles y/o sembrado cultivos recientemente. Las áreas donde hay varios cruces o

construcción aguas arriba también son susceptibles a los problemas de arrastre. Las pequeñas estructuras de drenaje de uno o dos metros tienen más problemas de tapones, sin embargo, alcantarillas de más de tres metros de diámetro pueden tener problemas donde la cuenca está perturbada o cuando hay una correntada fuerte.

La mejor manera de evitar problemas de tapones es instalar o construir la alcantarilla de un tamaño mayor al que se necesita o construir un puente. Aunque el costo de un puente podría ser prohibitivo en la mayoría de los casos, el encargo del diseño debería tomarse en cuenta por los posibles cambios en el uso de la tierra y sus implicaciones en el patrón de desagüe.

Se puede proteger las entradas de la tubería, particularmente la de tubos más pequeños, con una estructura de parrillas o trampas para el arrastre. Unos diseños para éstas se encuentran en la Figura 9.2.8, que incluyen el uso de tubos, rieles, varillas de acero, troncos o parales de madera colocados en forma paralela a una distancia de 10 a 30 cm, dependiendo del tamaño de la tubería, para formar una parrilla para atrapar el arrastre. Las varillas deben tener una distancia entre sí para detener el arrastre de mayor dimensión que pueda tapar la alcantarilla, y suficientemente abiertas para dejar pasar el agua y que no se tapen con el arrastre de un tamaño menor. La parrilla debe tener una inclinación de 1:1 ó menos, colocada justamente en frente de la tubería para que deje subir el arrastre sobre el nivel de la tubería cuando la corriente aumente. Se pueden colocar las parrillas unos 5 a 20 metros aguas arriba de la entrada de la tubería para captar el arrastre antes de que llegue a la tubería.

Las estructuras de captación de arrastre (rejillas contra basura) requieren mantenimiento y limpieza periódica, y mejor si se hace antes de la época de las lluvias o cuando hay correntadas fuertes. A veces una estructura se tapa con o sin una percha de desechos, pero si ha sido instalada a la entrada de la estructura en la forma corte de bisel o ha sido mejorada con un muro de remate de concreto o mampostería, la posibilidad de socavación y pérdida total de la estructura sería menor. Se deben construir muros de remate en las entradas y salidas de las estructuras de drenaje para lograr un nivel máximo de eficiencia hidráulica y protección de la tubería y el relleno. El costo agregado implícito en estas obras se compensa con la reducción en la longitud de la tubería requerida para el mismo.

La Figura 9.2.9 demuestra un cruce de drenaje típico con un relleno y una alcantarilla (Gráfica A), y lo que ocurre cuando se tapa la tubería (Gráfica B). Una práctica alterna para proteger un relleno cuando la tubería se tapa es la

instalación de un badén de desborde revestido a la orilla del relleno (Figura 9.2.9 Gráfica C). En realidad, el costo de construir un badén de sobre paso es relativamente menor en comparación al costo de reemplazo de un relleno socavado o fallado. Este tipo de estructura de rebosadero es particularmente importante donde un camino con peralte hacia adentro tiene una cuesta larga con varios cruces de desagües en medio o en la cuesta. Si cualquiera de los tubos de drenaje se tapa, el agua se desviará y correrá por el camino, ocasionando severo daño al mismo, no sólo en la travesía, sino por todo el camino, hasta que encuentre dónde salir del camino. Esta situación puede resultar en el colapso de los tubos de drenaje, pero con la instalación de un rebosadero en el lado bajo de la primera travesía o mejor en cada una de las travesías se pueden evitar tales ocurrencias.

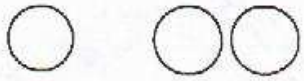
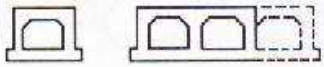
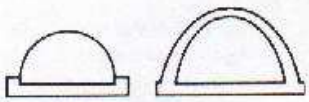
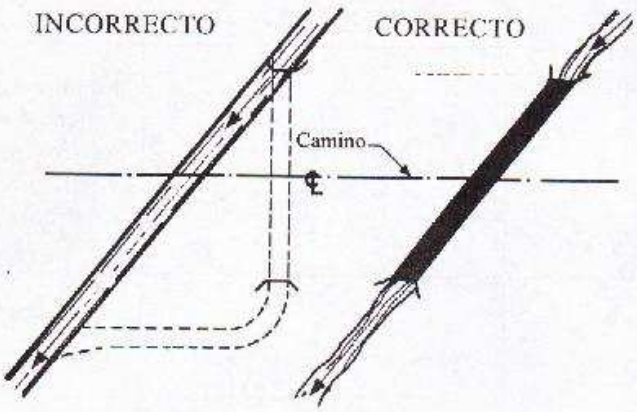
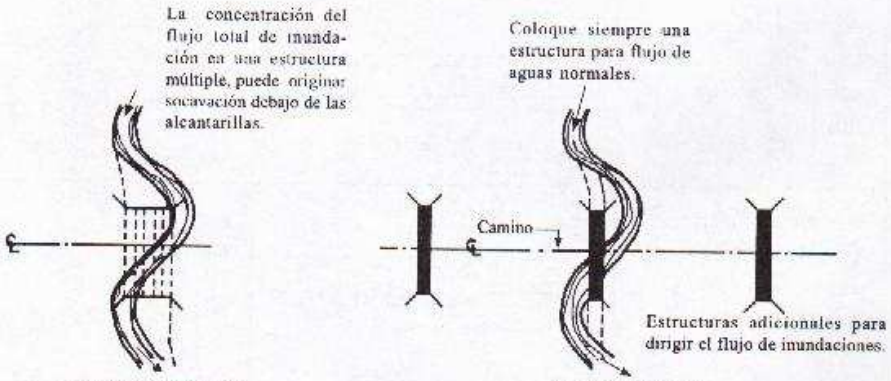
Tipo de alcantarilla	Sección transversal típica	Materiales comunes
Tubo sencillo o múltiple.		Metal corrugado, concreto simple o reforzado, arcilla vitrificada, hierro fundido.
Arco de tubo sencillo o múltiple.		Metal corrugado.
Alcantarilla de caja. Claro sencillo o claro múltiple.		Concreto reforzado.
Alcantarilla de puente, claro sencillo o claro múltiple.		Concreto reforzado.
Arco, Bóveda.		Concreto reforzado, metal corrugado, o arco de mampostería de piedra sobre cimentación de concreto reforzado.

Figura 9.2.1. Tipos comunes de alcantarilla y materiales.

Cuando haya un canal bien definido en terreno ondulado, la alcantarilla deberá seguir la dirección general del canal existente.



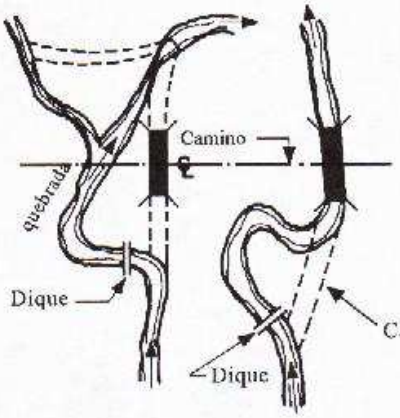
Gráfica A - Alineación apropiada.



En terreno plano donde una corriente de agua cubre sus orillas durante las crecientes y esparce sobre ellas los terrenos bajos adyacentes, se prefire proporcionar el área que se requiera del canal usando varias estructuras que concentrar todos los canales a cursos de agua en una estructura grande.

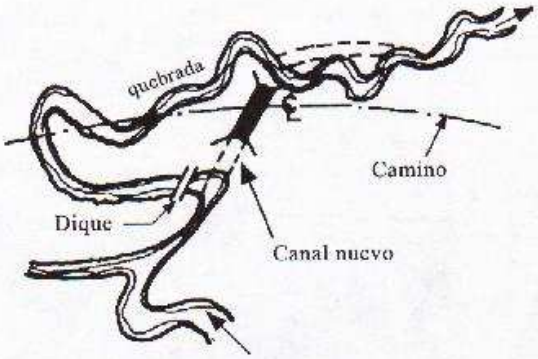
Gráfica B - Tubería en áreas susceptibles a inudaciones.

Figura 9.2.2. Localización y alineamiento de la alcantarilla.



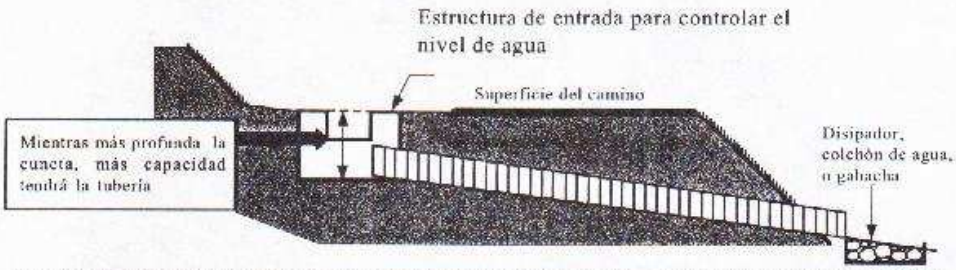
La modificaciones de los canales debe reducirse al mínimo, sin embargo, en los canales sinuosos las modificaciones locales a veces son necesarias. Donde un canal entra en una estructura el curso debe ser recto.

Los cruces de los caminos deben ser perpendiculares al canal del río. Es probable que los canales sinuosos necesiten unas modificaciones para alinear el cruce.



Gráfica C - Ejemplos de modificaciones de canales.

Figura 9.2.2. Localización y alineamiento de la alcantarilla (continuación).

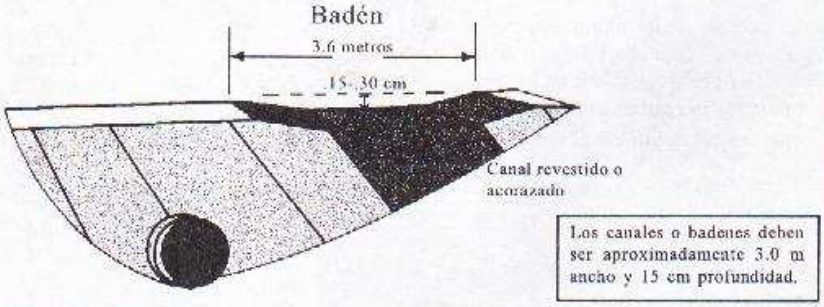


Por seguridad cada tubería tiene una adecuada entrada y salida. La tubería puede ser bastante grande para acarrear el agua requerida, pero la entrada puede no permitir dejar entrar el agua dentro de la tubería. Para estar seguro la cuneta lateral y la entrada de la estructura deben ser suficientemente ancha y profunda para permitir que ingrese fácilmente el agua a la tubería. Se debe proteger la salida de la tubería con zampeado o un colchón de agua.

Gráfica A - Control de entrada y salida.

La salida de la tubería debe extenderse fuera del pie del talud, y nunca descargando sobre relleno sin protección.

Gráfica B - Ubicación por un relleno.



Donde la instalación de una alcantarilla del tamaño adecuado no es práctico, se pude instalar un badén revestido para dejar pasar las correntadas por encima del camino y descargarse en terreno natural.

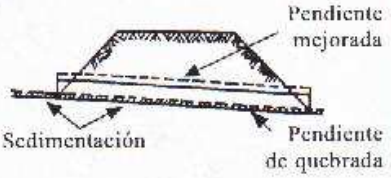
Gráfica C - Protección de rebosadero.

Figura 9.2.3. Instalación de tubería.

Fuente: Adaptado de Tew, H. et. al., 1985.

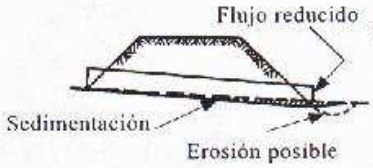
NIVELACIÓN DE TUBERÍAS
Es necesario que las tuberías sean colocadas correctamente para que funcionen adecuadamente

Gráfica D - Contraflecha bajo terraplenes altos.



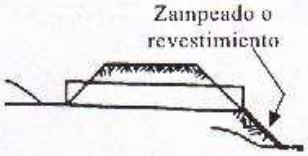
Gráfica E - Previniéndose contra la sedimentación.

Mal Diseño
Son Incorrecto

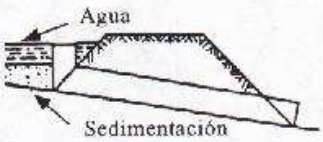


Gráfica F - Cambios de pendiente diferente del cauce.

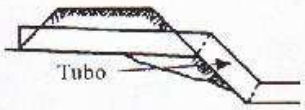
Gráfica G - Colocación más abajo de la pendiente adecuada.



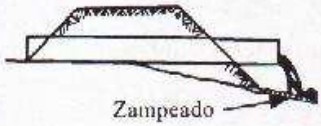
Gráfica H - Salida en el relleno (necesita revestimiento).



Gráfica I - Entrada en pozo (boca de caída).



Gráfica J - Tubería articulada hasta el fondo del relleno (sujeta a obstrucción)

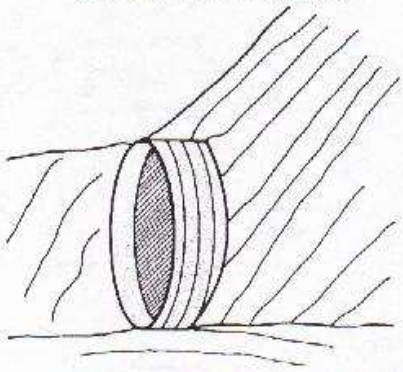


Gráfica K - Tubo en voladizo (diseño malo, necesita revestimiento).

Figura 9.2.3. Instalación de tubería (continuación).

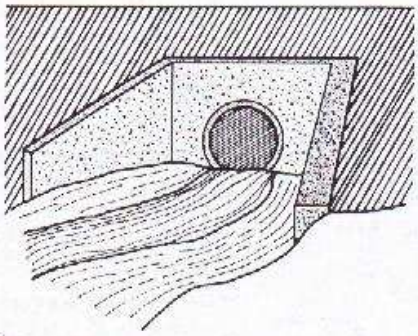
Fuente: Adaptado de State of California, 1978

(la menos eficiente)



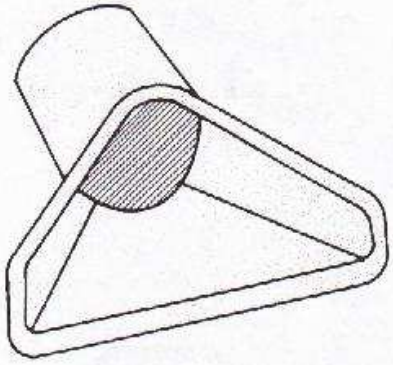
Tubo prolongado fuera del terraplén

(la más eficiente)



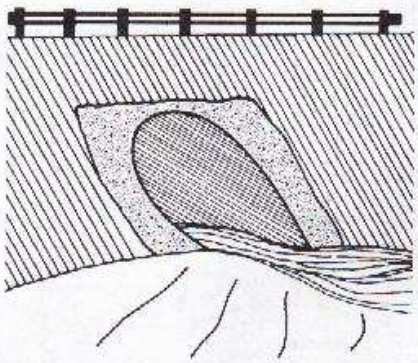
Muro de cabecera de concretro con aletones (muro de remate de concreto)

(la más eficiente)



Sección de metal achaflanado

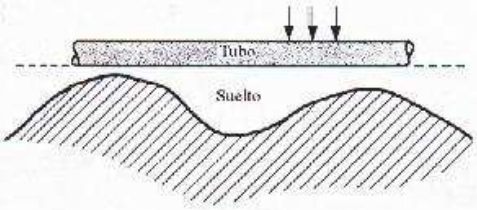
(de eficiencia media)



Cortado a bisel de acuerdo al talud del terraplén

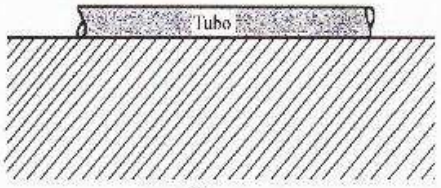
Figura 9.2.4. Cuatro tipos de entradas estándares.

Fuente: Adaptado de USDA-Federal Highway Administration, 1985.



No

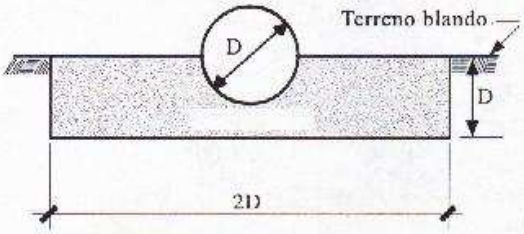
no uniforme



Sí

uniforme

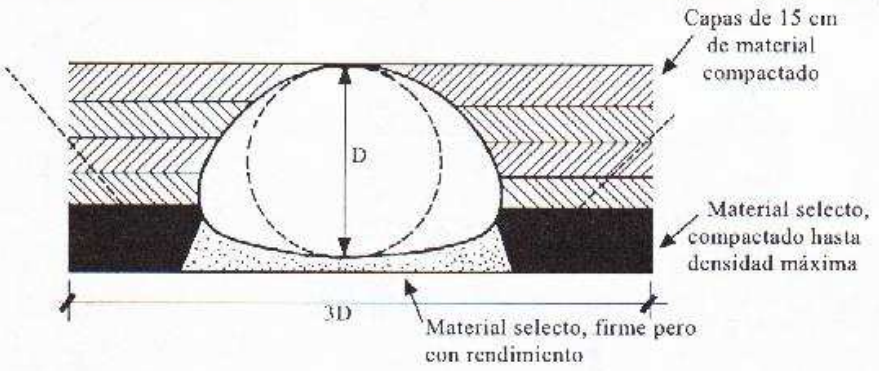
Gráfica A - Necesidad de una fundación uniforme



Gráfica B - Fundación en terreno blando con cama de material selecto.

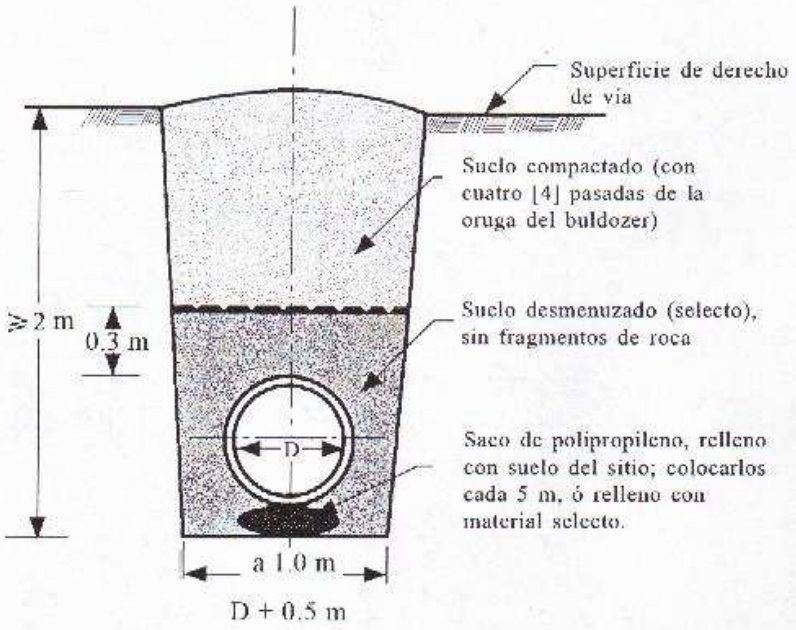
Figura 9.2.5. Detalles de instalación de tubería.

Fuente: Adaptado de García L., 1991.



Apisonar bien debajo del tubo rellenado en capas de 15 cm. Mantener la misma elevación del relleno en ambos lados.

Gráfica C - Forma de colocar y compactar el relleno para tubos de arco o redondo.



Gráfica D - Detalle de colocación y tapado de la tubería en una zanja.

Figura 9.2.5. Detalles de instalación de tubería (continuación).

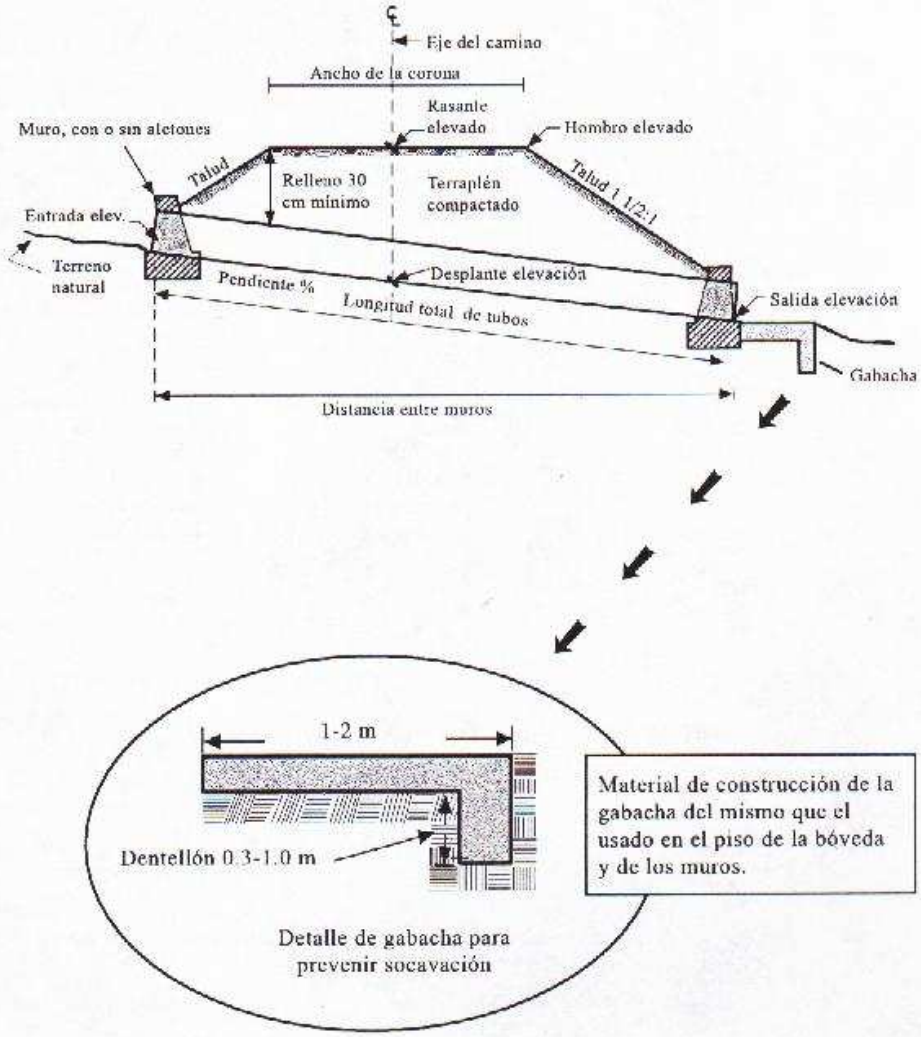
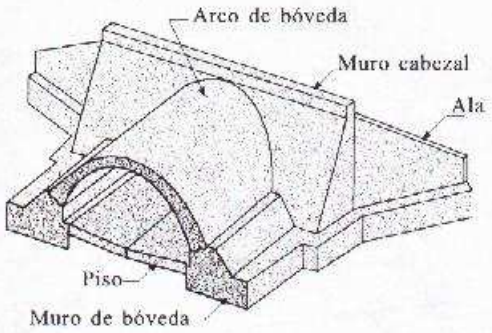
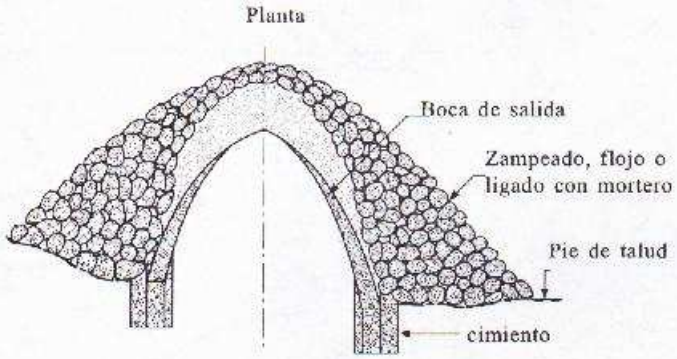


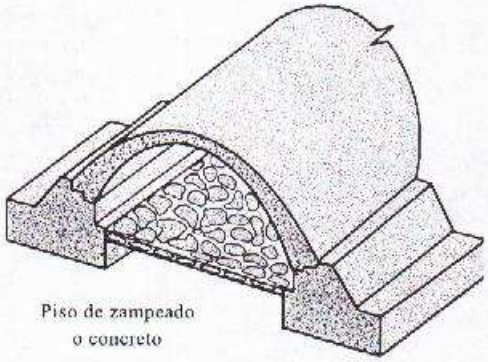
Figura 9.2.6. Alcantarilla con muros sencillos y gabacha.



Gráfica A - Protección con muro cabezal.



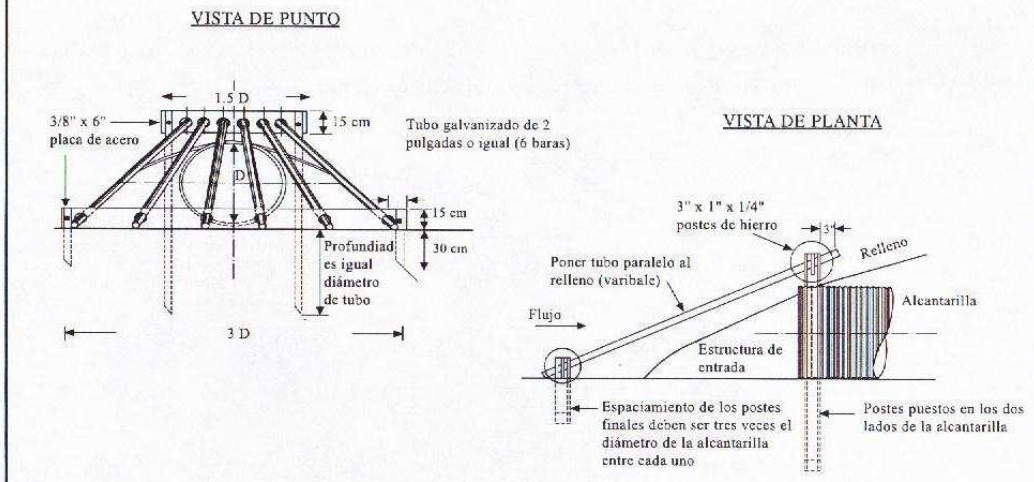
Gráfica B - Protección con zampeado.



Protección de piso de bóveda con zampeado de piedra ligada mortero para pendiente de 0-5%, o con losa de concreto, 2,000 psi para pendiente de > 5%.

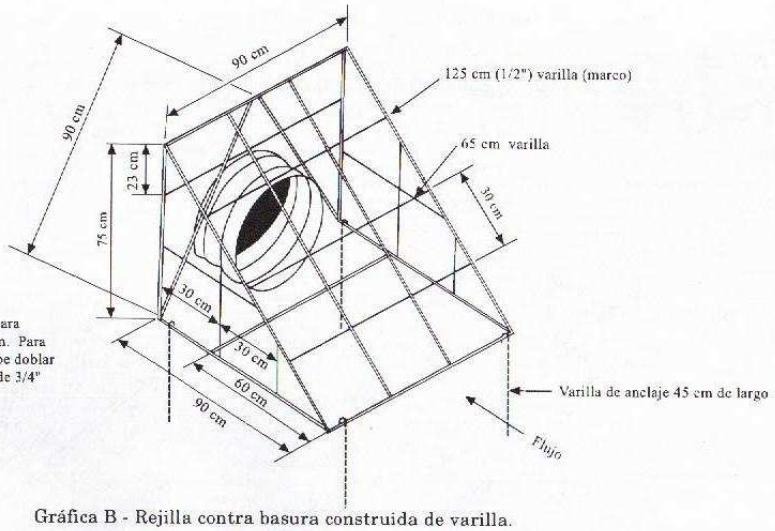
Gráfica C - Protección del piso en bóvedas.

Figura 9.2.7. Entrada y protección de arcos de bóveda.



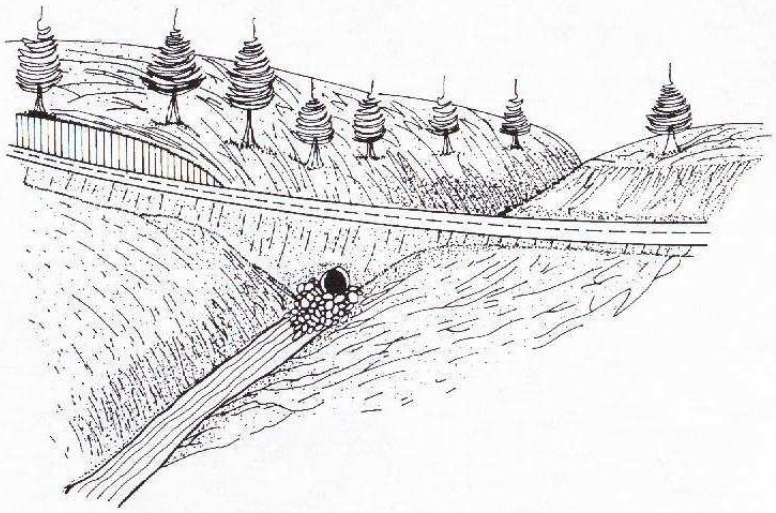
Gráfica A - Rejilla contra basura construido de tubo galvanizado o madera.

Figura 9.2.8. Diseño de rejilla contra basura para entradas de tuberías pequeñas y medianas.



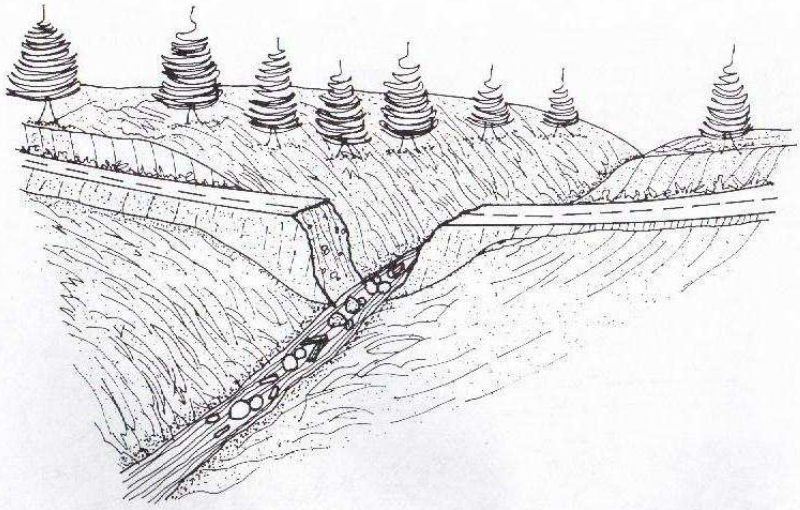
Gráfica B - Rejilla contra basura construida de varilla.

Figura 9.2.8. Diseño de rejilla contra basura para entradas de tuberías pequeñas y medianas (continuación).



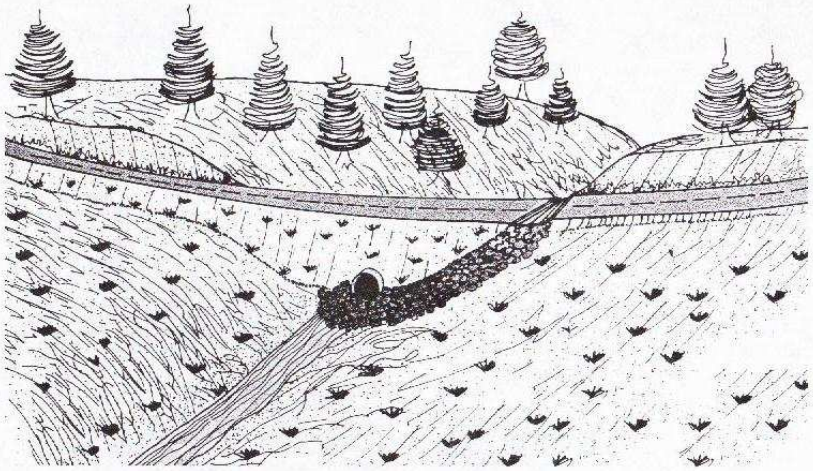
Gráfica A - Instalación común sin protección de sobrepaso.

Figura 9.2.9. Instalación de tubería en un relleno.



Gráfica B - Falla de tubería y deslave de relleno por el tapón de tubería o sobrepaso.

Figura 9.2.9. Instalación de tubería en un relleno (continuación).



Gráfica C - Instalación de tubería con protección de sobrepaso
(con un badén revestido) para prevenir deslave y falla de relleno.

Figura 9.2.9. Instalación de tubería en un relleno (continuación).

SECCIÓN 9.3.
EL CONTROL DE LA ENTRADA Y SALIDA DE AGUA

El control de la entrada y salida de alcantarillas, tuberías, cunetas y desagües es importante para prevenir erosión y daño a la estructura. Hay muchas maneras para 1) prevenir que el agua socave una cuneta, 2) prevenir que forme una cárcava en la salida de la tubería y 3) revestir las cunetas o canales. Algunos de estos métodos de control son los siguientes:

- Alinear la tubería para que se descargue en un lugar estable, como un cauce natural o en áreas rocosas, de roca madre o con vegetación.

- Llevar el agua de la tubería hasta el fondo del relleno. Sin embargo, es necesario desaguar el agua en medio del relleno, se debe revestir el talud o instalar un tubo de bajada revestido.

- Usar estructuras de entrada (en pozo o boca de caída), como cajas de concreto o tubería con "ventanas" en el lado, para estabilizar la gradiente de las cunetas delante de la entrada a la tubería. En áreas con cortes de talud bien empinadas, se debe instalar un muro pequeño detrás de la entrada de la caja para prevenir el deslizamiento y obstrucción de la tubería. Hay que asegurarse de que la estructura de entrada sea suficientemente grande y profunda para capturar la corriente prevista y moverla en la tubería (las Figuras 9.3.1 Gráficas A y C muestran diseños típicos de estructuras de cajas de entrada de concreto y la Figura 9.3.1 Gráfica B muestra el diseño de una caja de entrada de metal con una apertura lateral (ventana) para controlar el nivel de la cuneta).

- Usar tuberías o cunetas estabilizadas para mover agua de áreas que son muy inestables y de áreas con mucha pendiente hacia áreas seguras.

- Usar disipadores de energía (de trozos, mampostería, o piedras) en las salidas de las tuberías o cunetas.

- Usar colchones de agua, o gabachas para disipar energía. También, una pozita de agua ("plunge pool" o "scour hole") colocada en la salida del tubo es un disipador de energía eficiente.

- No cambiar la gradiente de una cuneta, o cuando sea necesario

aumentar la inclinación gradualmente. Una inclinación disminuida, que crea un área relativamente plana, causará el depósito de material en la cuneta, tapándola o disminuyendo su capacidad.

- Limitar las pendientes de las cunetas de un 2 a 5%, cuando sea necesario hacer cunetas con pendientes mayores de un 5% se debe reducir la velocidad de agua con diques de contención o se debe revestir el fondo y orillas de las cunetas con piedras, cemento, ladrillos, palos o vegetación.

- Usar estructuras en la entrada de los tubos suficientemente grandes que no se taparán con el arrastre y que serán fáciles de limpiar y mantener.

TIPOS DE DESAGÜES

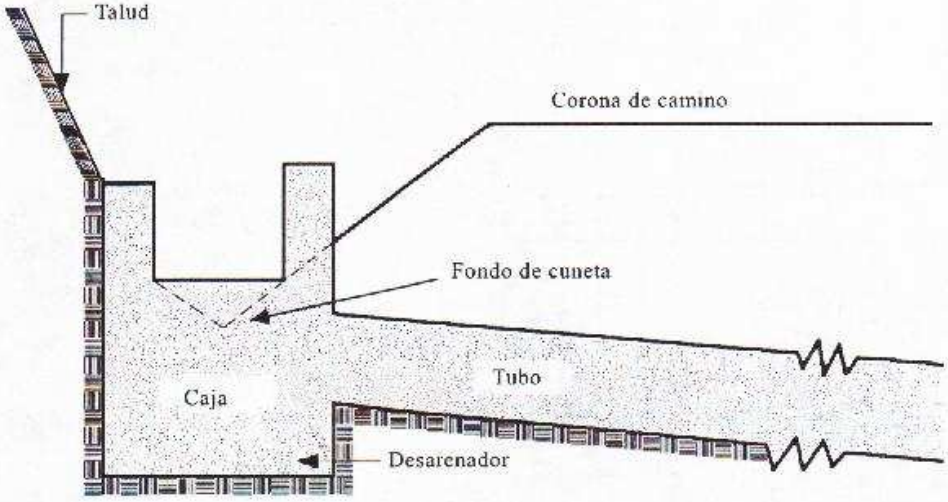
Los desagües son importantes para mover el agua y para evitar la erosión. La mayoría de las cunetas en los caminos son de tierra o roca forradas con material vegetativo (Figura 9.3.2). Se deben utilizar cunetas revestidas donde la cuesta del camino es más de un 5% y los suelos son muy erosivos y donde la cuesta es más de un 10% en suelos normales. En el proceso de mantenimiento de las cunetas no se debe quitar la hierba (monte) ni la vegetación menor que protegen la cunetas de la acción erosiva del agua. En cambio, sí se deben eliminar los arbustos que pueden restringir el flujo de agua.

Las salidas de agua o zanjas y los desagües en pendientes mayores de un 10% deben llevar un armamento o una forma de estabilización con disipadores de energía, como se muestra en la Figura 9.3.3. Los desagües que se encuentran en terrenos muy inclinados requieren revestimiento o estabilización total, tal como concreto, o el uso de un canal con gradas y disipadores de energía. Se puede utilizar también tubería flexible como una alternativa a canales revestidos. La Figura 9.3.4 muestra un dibujo típico del concepto con el agua (en tubo) siendo descargada dentro de una estructura para estabilización de nivel de desagüe ("rock stilling basin"), que sirve como una trampa de sedimento. La desventaja del uso de tubería flexible para drenajes es que require mucho mantenimiento.

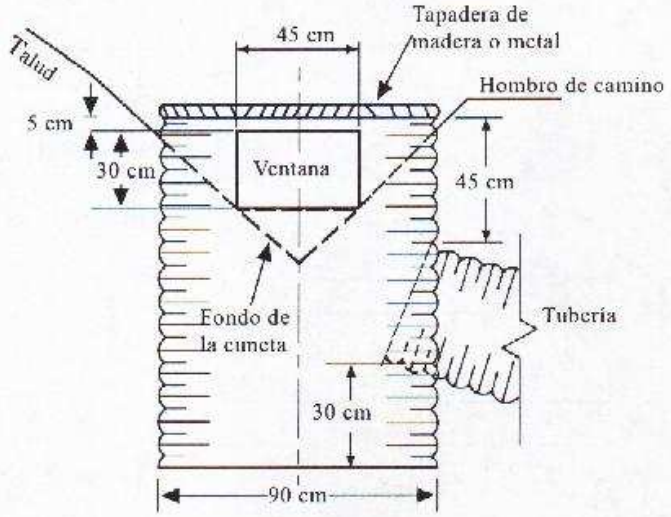
La información sobre velocidades máximas permisibles de agua que fluye sobre los diversos tipos de suelo se presenta en la siguiente sección. Si las velocidades esperadas excedieran las permisibles, entonces se debe utilizar algún tipo de armamento.

Un vez que el agua sale del desagüe o zanja estabilizada, hay una variedad de materiales que se pueden usar para dispersar la corriente y disipar la energía del agua. Obviamente es mejor que el agua que sale caiga sobre un área rocosa o de roca madre o en un canal natural estable existente. Si el agua se descarga en suelo nativo, se puede colocar unos cuantos metros cúbicos de zampeado graduados en la salida. Como una alternativa, se puede descargar el agua en un área de vegetación densa, preferentemente donde hay arbustos tupidos, o en un montón de ramas. En el caso de usar las ramas, hay que machucar el material, o mezclarlo con detrito de tamaño mayor y menor para tener una capa de protección en la superficie del suelo.

Como una medida de control de erosión general en los taludes de relleno, particularmente donde el agua se descarga de un desagüe donde hay un peralte hacia afuera y el agua se desplaza sobre la superficie del camino, se debe colocar desperdicios vegetales o roca y detrito en un camellón al pie del relleno. En algunos casos es también recomendable colocar un par de camellones de desperdicios de vegetación a través del talud del relleno. Los surcos deberían colocarse en el contorno para evitar la reconcentración del agua.

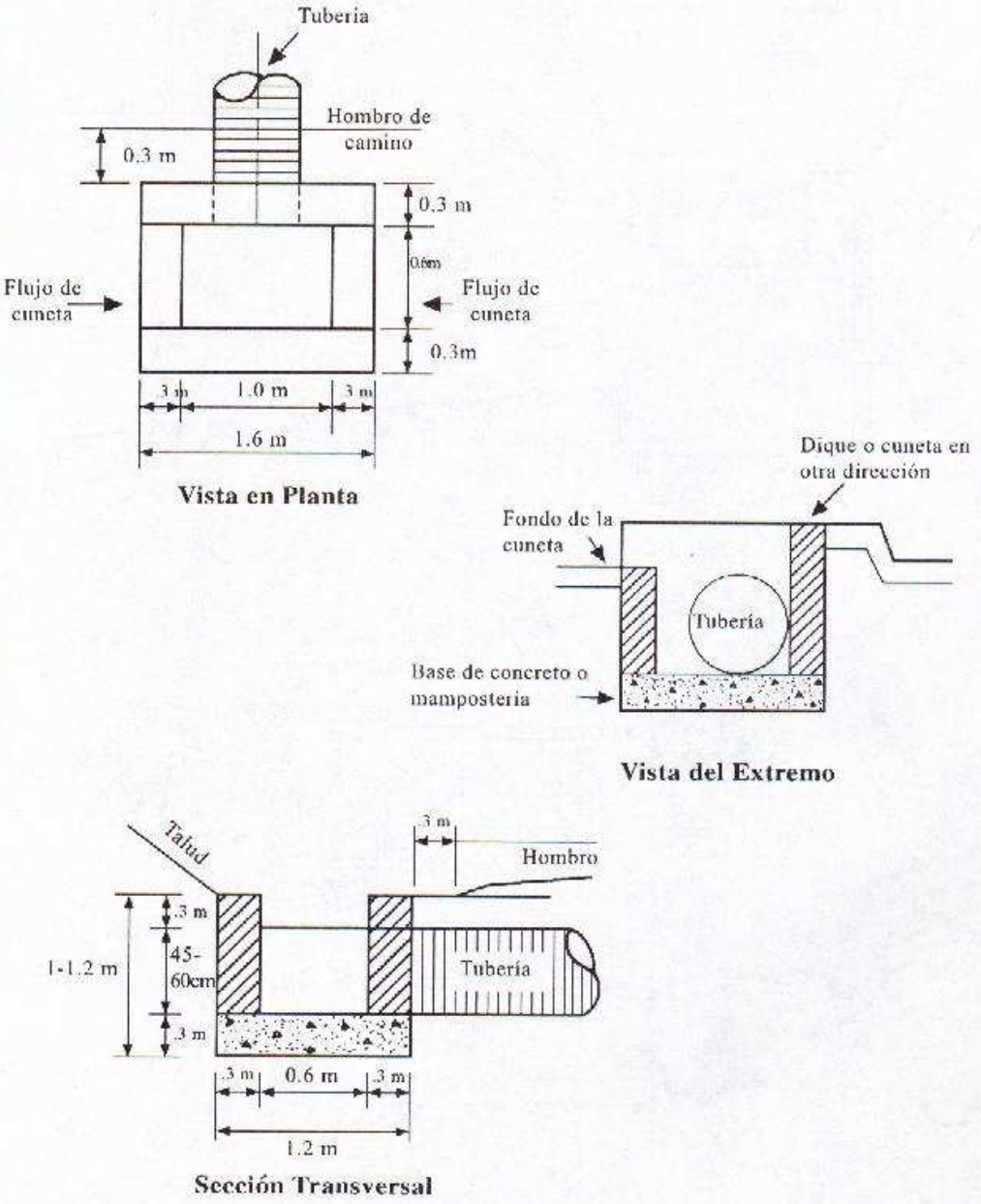


Gráfica A - Caja de entrada de concreto o mampostería.



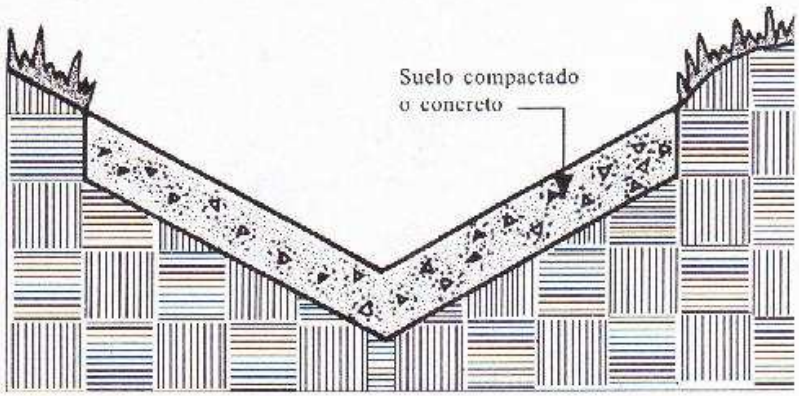
Gráfica B - Detalle de caja de entrada de metal corrugado.

Figura 9.3.1. Tipos de estructuras de entrada en pozo.

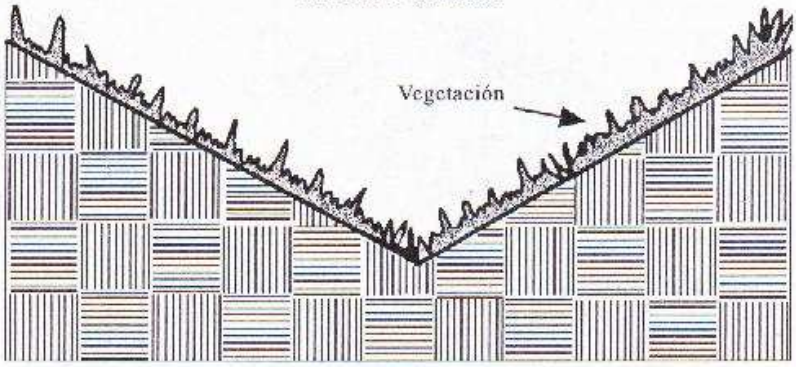


Gráfica C - Detalles de caja de entrada de concreto

Figura 9.3.1. Tipos de estructuras de entrada en pozo (continuación).

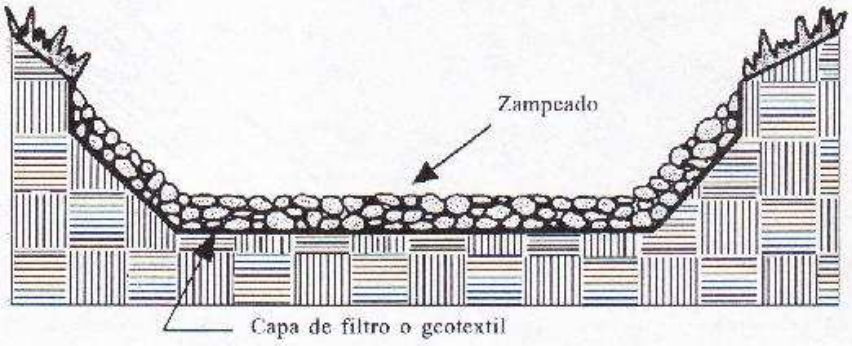


de suelo o concreto



de vegetación

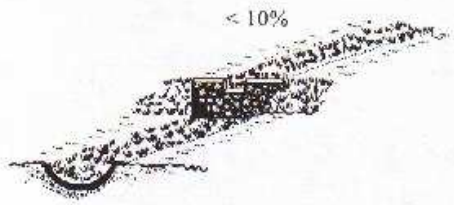
Gráficas A y B - Secciones transversales típicas de forma "v".



Gráfica C - Sección transversal típica de forma trapezoide.

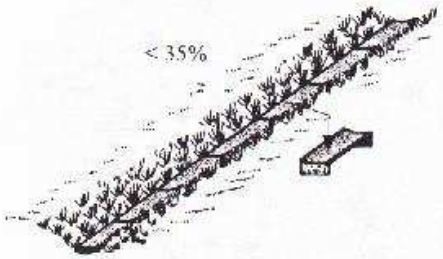
Figura 9.3.2. Tipos de revestimiento para desagües o cunetas.

Fuente: Adaptado de Association of Bay Area Governments, 1981.

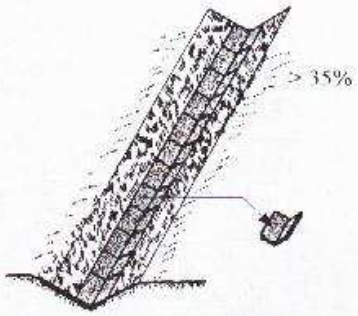


Gráfica A - Con Muros y Vegetación.

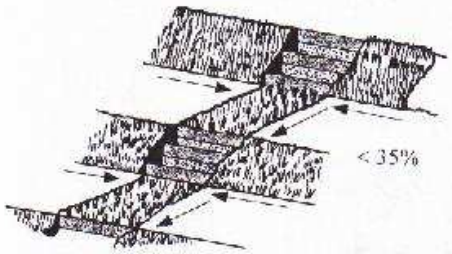
Gráfica B - Con Piedra.



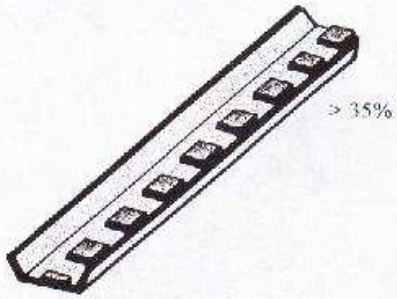
Gráfica C - De Concreto.



Gráfica D - De Concreto.



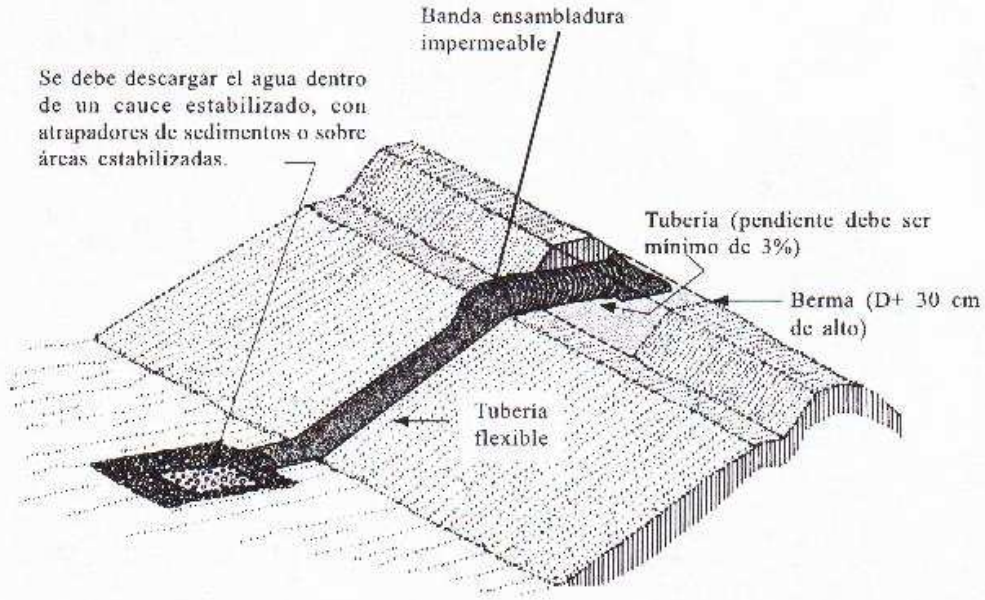
Gráfica E - Con terrazas.



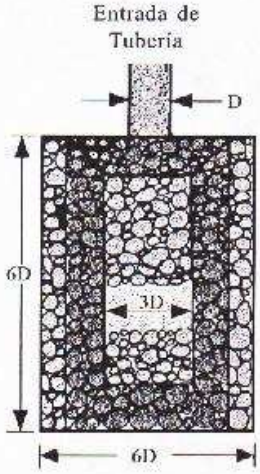
Gráfica F - Con Disipadores de Energía.

Nota: Gráficas A-F son vistas seccionalmente - los estanques amortiguadores no se muestran.

Figura 9.3.3. Tipos de desagües revestidos para terrenos inclinados.



Gráfica A - Desagüe de tubería flexible (tubo de bajada) (no a escala).



El zampeado debe ser colocado de esta manera, con piedras de 15 cm de diámetro. La profundidad de la gabacha debe ser igual al diámetro de la tubería y el grosor del zampeado un mínimo de 30 cm.

Gráfica B - Vista en planta para una gabacha enrocada, o estanque amortiguador al fondo de tubería o desagüe.

Figura 9.3.4. Drenaje de tubería flexible.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service 1975.

SECCIÓN 9.4.
EL CONTROL DE EROSIÓN EN LA SUPERFICIE DEL CAMINO

La superficie de un camino por ser tan estéril, extensa y expuesta, está sujeta a las fuerzas de la naturaleza y por lo tanto al fenómeno de la erosión como se detalla en el Capítulo 11. El control de las pendientes del camino y los peraltes, el uso de bombeos y coronas, construcción con una forma ondulada, uso de desagües transversales, revestimiento, y un buen mantenimiento, todos contribuyen a un buen mantenimiento del drenaje y de la superficie y al control de pérdida de sedimento. Un buen sistema de drenaje de la plataforma reduce la necesidad de mantenimiento y el costo de reparaciones.

La mayoría de los suelos de la superficie de caminos, tales como, arena, limos, y arcillas sedimentarias, sólo pueden tolerar una velocidad de agua de un metro por segundo sin que se comience a erosionar (Tabla 9.4.1). Una superficie de grava comenzará a desgastarse con velocidades que excedan de 2 metros por segundo. La Figura 9.4.1 presenta un conjunto de curvas que pueden usarse para estimar la velocidad del agua que puede esperarse de corrientes superficiales en diversas pendientes (o superficies) y tipos de superficie, incluyendo plataformas de caminos. Así se puede ver la necesidad de reducir al mínimo la velocidad y la distancia en que corre el agua, reduciendo las pendientes, armando la superficie del camino, y canalizando el agua hacia afuera tan frecuentemente como sea posible.

El grado del efecto de erosión en la superficie depende del tipo de revestimiento de camino (Figura 9.4.2). El uso de gramíneas o grava ofrece protección de erosión limitada y en pendientes mayores de 12% la superficie estará sujeta a erosión. La roca triturada gruesa es la mejor forma de protección con roca, pero el grosor de la capa no debe exceder 75 mm para tener un tramo transitable y se requiere nivelación periódica para no desmoronarse. El revestimiento con asfalto o concreto presta la mejor protección, sin embargo, es la opción más costosa, y por sus características de deslizamiento aumenta la velocidad del agua. Por lo tanto, se necesita tomar medidas de protección adicionales donde el agua sale del pavimento.

Para reducir la distancia que el agua corre sobre la superficie del camino se pueden utilizar peraltes hacia adentro y afuera, coronas y badenes o contra

cunetas con espacimiento frecuente (Figura 9.4.3). Para caminos de normas bajas el uso de peraltes hacia afuera y badenes es la manera más eficiente con menos costo para dispersar el agua. Se debe utilizar una inclinación de por lo menos 5 a 7% para mantener drenaje positivo aunque sean formadas rodaduras en una superficie áspera. También, una buena plataforma con una inclinación positiva prevendrá la formación de áreas húmedas que pueden transformarse en baches.

El diseño de un badén típico usado por el Servicio Forestal de EEUU, se muestra en la Figura 9.4.4 Gráfica A. Esta estructura se usa para desaguar la superficie de caminos que evita el uso de travesías de tubo y permite acomodar el tránsito de vehículos de una velocidad moderada. La Tabla 9.4.2 presenta los criterios para espaciamiento de badenes y desviadores de agua (desagües transversales) necesario para prevenir erosión en canales en la superficie de caminos, dependiendo del tipo de suelo y la pendiente del camino. Los badenes son relativamente económicos de construir y muy efectivos para sacar el agua de la superficie. Se deben construir perpendicular al camino o con un esquivaje de no más de 30 grados. Los badenes deben ser suficientemente profundos para funcionar adecuadamente y deben construirse usando un nivel de mano o clinómetro para asegurar que tengan un desnivel adecuado.

Para lograr una protección máxima con un costo mínimo para caminos de baja velocidad que no sean muy transitados, se debe instalar camellones o desviadores de agua. La Figura 9.4.4 Gráfica B presenta información sobre la construcción y espaciamiento de camellones o desviadores de agua. La Figura 9.4.4 Gráfica C muestra la graduación y la armadura de roca típica usada en las salidas de badenes y desviadores de agua.

El mantenimiento del camino puede afectar mucho su drenaje. Una vez que se han formado rodaduras y los patrones de drenaje se modifican, el agua se concentra; en estos casos se debe nivelar o reformar la superficie del camino y llenar las rodaduras para restablecer el drenaje superficial como fue diseñado. Si se deja un bordillo en la orilla de un peralte hacia afuera, el agua también se concentra ahí, afectando la capacidad del camino para dispersar agua. El mantenimiento no sólo sirve para asegurar el funcionamiento del drenaje sino también representa la oportunidad de hacer las reparaciones necesarias y modificar el diseño para mejorarlo o para adaptarlo a los cambios en el sitio.

Los factores más importantes que ocasionan erosión son (Figura 9.4.5):

- Tamaño de partículas en la superficie del camino.

- Pendiente del camino.
- Posición topográfica.
- Orientación.
- Pendiente de la topografía.

Abajo presentamos una lista de acciones que se pueden llevar a cabo para el control de erosión sobre la superficie del camino y el área adyacente. Una discusión más completa de los diferetes aspectos de drenaje de la superficie de la plataforma está presente en el documento titulado "Normas Para el Control de Sedimento en Los Caminos Madereros Secundarios", por los señores Packer y Christensen, en el Apéndice.

- Usar un revestimiento de camino que evite la erosión, como grava, gramínea, roca pequeña y asfalto.
- Usar peraltes hacia afuera lo más frecuentemente en los caminos rurales. Dispersar el agua en áreas de suelos estables, revestidos o cubierto con vegetación (Figura 9.4.6), y construirlos con pendientes afuera en exceso de 5 a 7%.
- Usar peraltes hacia adentro y cunetas para colectar el agua en áreas inestables y erosivas y en las áreas con suelos arcillosos que están resbalosos cuando están húmedos (Figura 9.4.7).
- Usar roca u otros disipadores de energía en la salida del drenaje.
- Usar bordillos para controlar el agua y prevenir daños por el agua existente en los rellenos erosivos. En rellenos viejos y estables o rocosos, se permite descargar el agua por el relleno, sin uso de bordillos (Figura 9.4.8).
- Cambiar la pendiente de camino frecuentemente para distribuir el agua. La Figura 9.4.9 retrata un camino con una pendiente ondulada que guarda agua dispersa fuera de la superficie del camino.
- Usar drenajes transversales (zanjas o contracunetas) frecuentemente, de 15 a 100 metros, dependiendo del tipo de suelo y la pendiente del camino (Figura 9.4.10) (también ver Figura 9.4.4).

- Si en el mantenimiento o las observaciones de campo se indica que las cunetas no tienen suficiente capacidad para el área o la intensidad pluvial local, se debe agregar unas travesías adicionales entre los desagües existentes, así se disminuye el esparcimiento a la mitad.

- Mantener el camino para que los drenajes funcionen.

Los ganchos representan un desafío especial para la instalación de drenajes superficiales de plataformas. La dirección del desagüe tiene que cambiar de aquí para allá dependiendo de su posición en el gancho y la inclinación de la plataforma hacia adentro o afuera (Figura 9.4.11).

En un camino con un peralte hacia afuera, se coloca un badén adicional en el punto de transición donde la superficie comienza a inclinarse hacia adentro en la curva e igual donde el camino vuelva con el peralte hacia afuera. En todo caso, se necesita prestar mucha atención a los detalles cuando se trata de drenajes en los ganchos.

La Figura 9.4.12 muestra el diseño para barreras de tierra con troncos de árbol que se pueden utilizar cuando surge la necesidad de obstruir y cerrar un camino. Estas estructuras sirven no sólo para parar el tránsito, sino también, como un camellón para controlar el agua y la erosión.

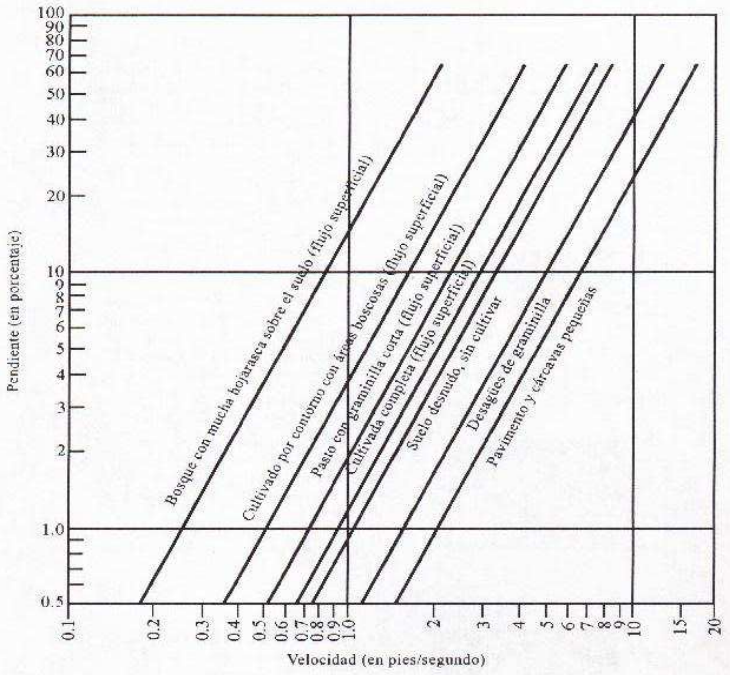


Figura 9.4.1. Velocidades de escorrentía (para el método tierras altas) para estimar el tiempo de viaje de flujo y movimiento potencial de suelos.

Nota: Al escoger el tipo de material superficial, debe considerarse la cantidad de tráfico o la frecuencia de uso necesario, pendiente de camino, tipo de suelo de la superficie del camino natural, la disponibilidad de materiales, costos y estética.

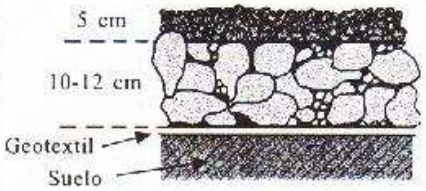
Grama

- No para uso diario o ambiente áridos.
- Para uso sobre suelos secos únicamente.
- En pendientes menores del 8%.
- El más económico.
- Requiere cal, fertilizante, recorte, etc.

Roca triturada solamente

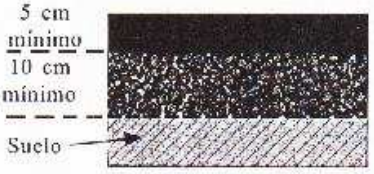
- Para tráfico medio o alto.
- Para uso sobre suelos naturalmente arenosas o gravosas.
- En pendientes de 15% ó menos.
- Base debe ser de grava graduada o de agregado superficial.
- Requiere nivelación periódica.

Roca triturada sobre subrasante y capa de roca grande o roca de banco



- Para secciones húmedas o caminos con superficie suave o sensible.
- Para tráfico en cualquier condición.
- En pendientes menores del 16%.
- Específicamente "piedra lavada" de 8 cms o "balastro".
- Se requiere nivelación periódica.
- Se usa geotextil en áreas de drenaje pobre.

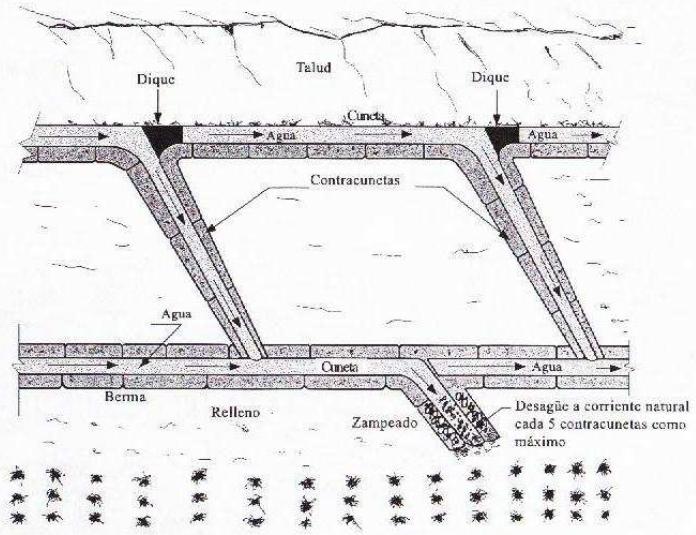
Pavimento (asfalto o concreto)



- Para tráfico pesado en todo tipo de suelo.
- En pendientes arriba de 20%.
- Requiere una extensiva preparación de la base.
- El más caro.
- Sujeto a daños por congelamiento sobre suelos húmedos.

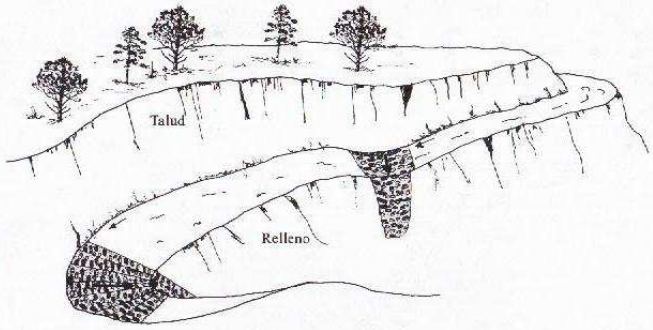
Figura 9.4.2. Control de erosión de la superficie del camino - capas de rodamiento comunes para caminos.

Fuente: Adaptado de Tew, H. et. al., 1985.



Gráfica A - Drenje simple de superficie con contracunetas.

Figura 9.4.3. Ejemplos de drenajes de superficie del camino.



Gráfica B - Drenaje simple de superficie de camino con badenes y pendientes onduladas.

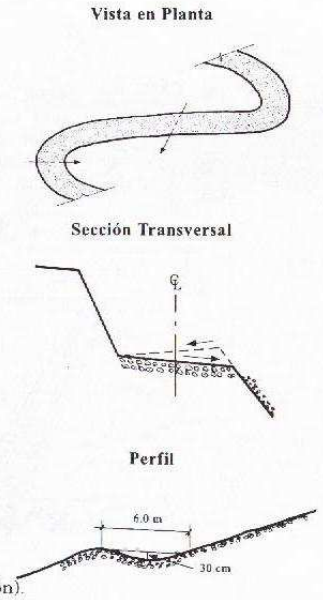
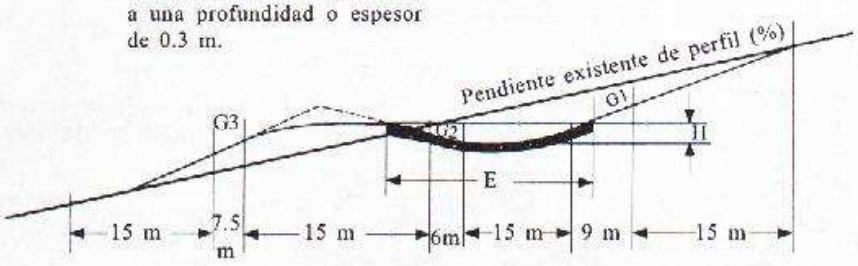


Figura 9.4.3. Ejemplos de drenajes de superficie del camino (continuación).

Como muestra el dibujo, se reforzorá la subrasante del sitio a una profundidad o espesor de 0.3 m.



% Pendiente del Perfil	Pendiente Constante			Profundidad	Refuerzo	
	G1	G2	G3	(H) (metros)	Longitud (E) (metros)	Metros Cúbicos
0 a 4	-7	2	-6	0.18	6	12
5 a 6	-10	2	-9	0.18	6	12
7 a 8	-13	2	-12	0.15	6	12
9 a 12	-16	2	-15	0.15	9	18
Mayor de 12% no es recomendado						

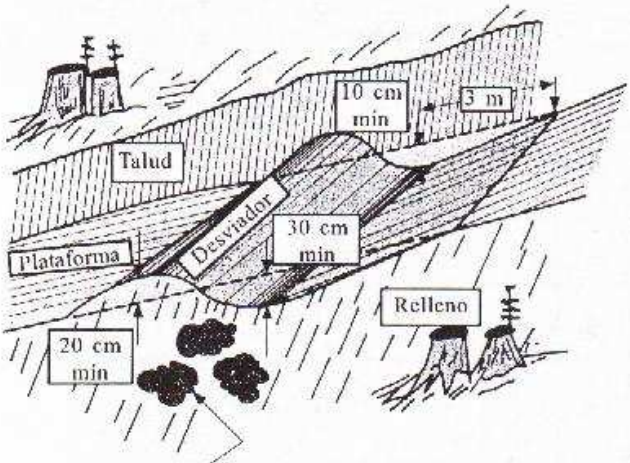
Notas en la Construcción de Badenes

- El peralte deberá ser mantenido através del badén.
- La línea de drenaje será perpendicular a la línea central de la rodadura.
- Colocar el zampeado en la salida cuando se indica en los planos. Referir a Gráfica C cuando sea aplicable.
- Para badenes en caminos de superficie de agregados, se reduce la profundidad a 6 cm.
- Referir a Tabla 9.4.2 para espaciamiento como función de tipo de suelo para controlar erosión. En caminos de grava el espacamiento varía típicamente entre 60 a 200 metros.

Gráfica A - Badenes o desagües transversales típicas (velocidad moderada).

Figura 9.4.4. Diseños de desagües transversales típicos.

- Los desviadores deben tener una altura máxima en el talud exterior para que sean transitables por un vehículo de campo.



Roca o desechos vegetales para disipar la energía donde el relleno excede 3 m ó se encuentra dentro de 15 m de una quebrada sensible.

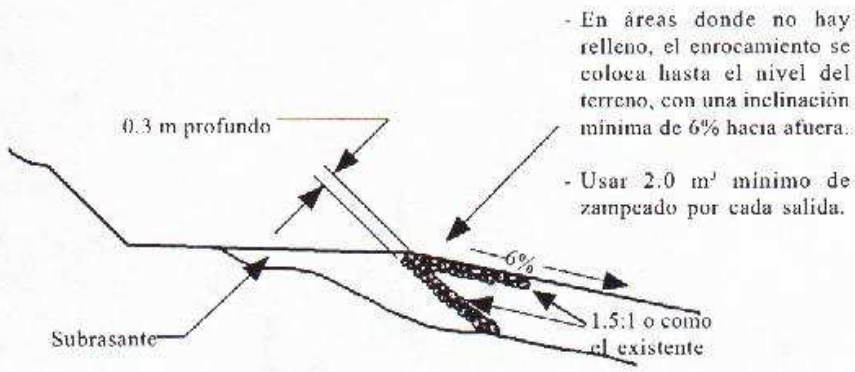
NOTAS

- Esquivaje del desviador de agua de 5° a 30° máximo
- Inclinación del desivador de agua de 6-8% hacia afuera.
- Los desviadores de agua deben descargar el agua libremente y ser ubicados para dispersar el mismo sobre un área amplia para reducir al mínimo la erosión.
- La distancia entre los desviadores de agua será según indique la Tabla Potencial de Erosión, abajo.

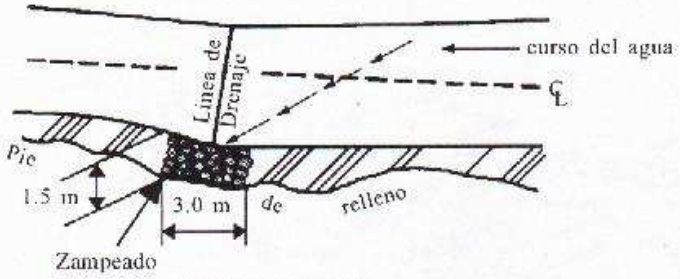
Potencial de Erosión	Pendiente del Camino (%)			
	1-5	6-10	11-15	16-20
	Espaciamiento (distancia en metros)			
Muy Alto (E)	30.0	25.5	22.5	15.0
Alto (H)	45.0	37.5	30.0	22.5
Modera (M)	60.0	45.0	37.5	30.0
Bajo (L)	90.0	75.0	60.0	45.0

Gráfica B - Construcción típica y requerimientos de espaciamiento para desviadores de agua (camellón) (velocidad despacio).

Figura 9.4.4. Diseños de desagües transversales típicos (continuación).



Sección Transversal



Vista en Planta

Refuerza (Zampeado) -- Graduación	
Tamaño del tamiz	% Pasa
12"	100%
2"	20-80%
3/4"	0-40%
# 200	0-10%

Gráfica C - Enrocamiento para protección de salida para badenes y desviadores de agua.

Figura 9.4.4. Diseños de desagües transversales típicos (continuación).

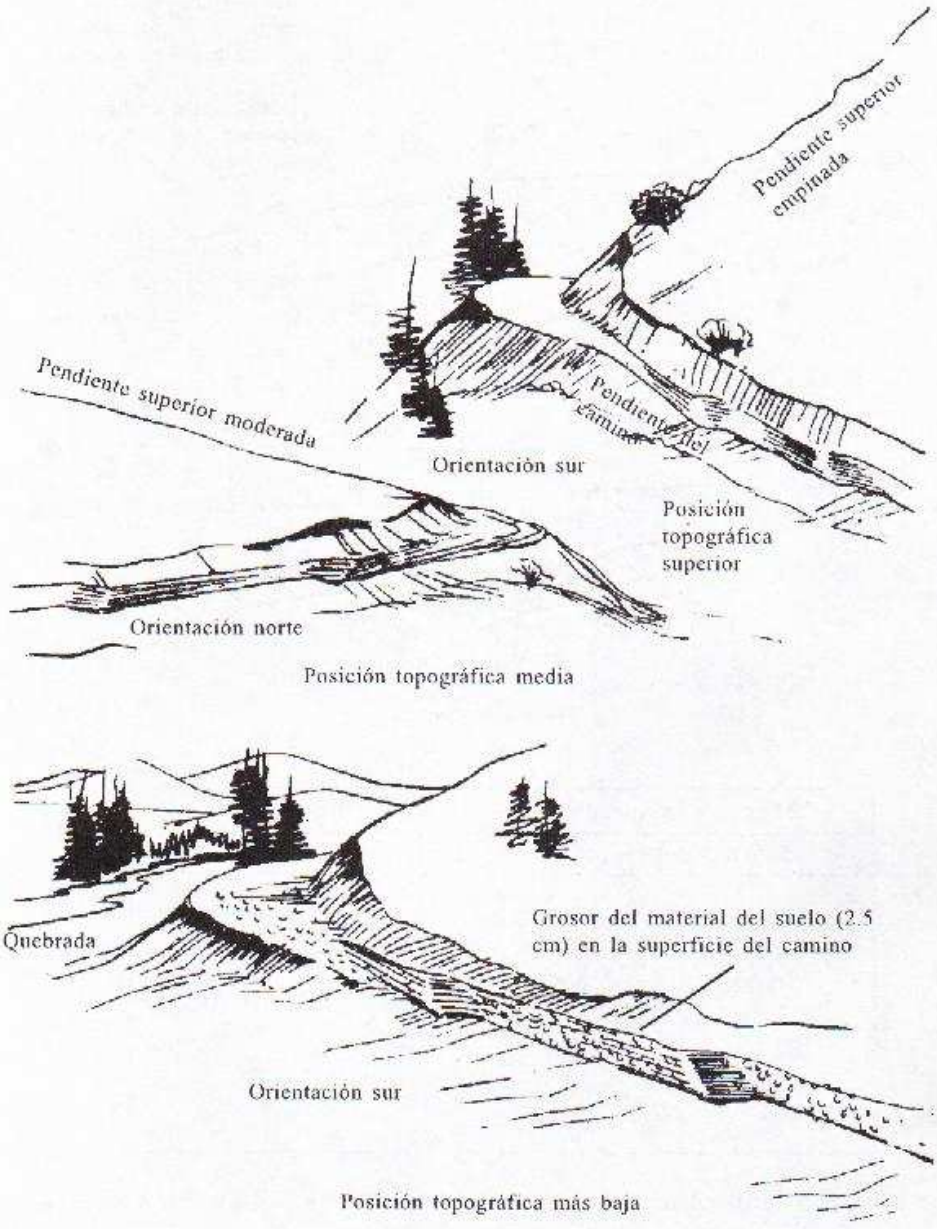
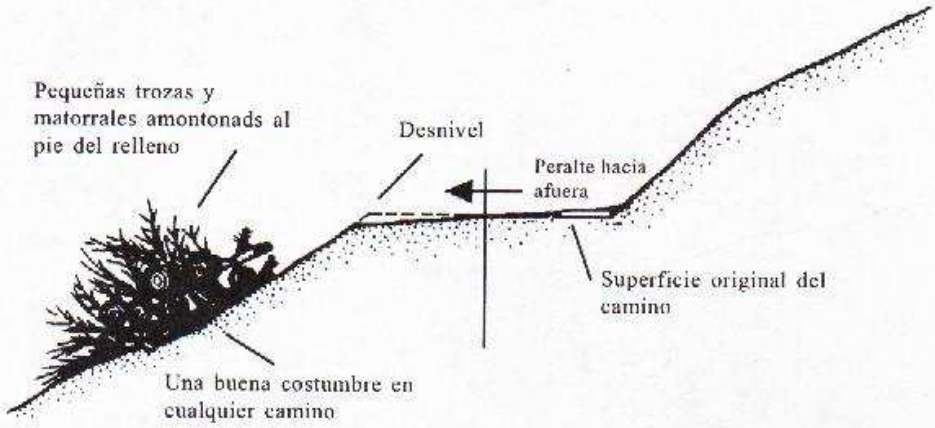
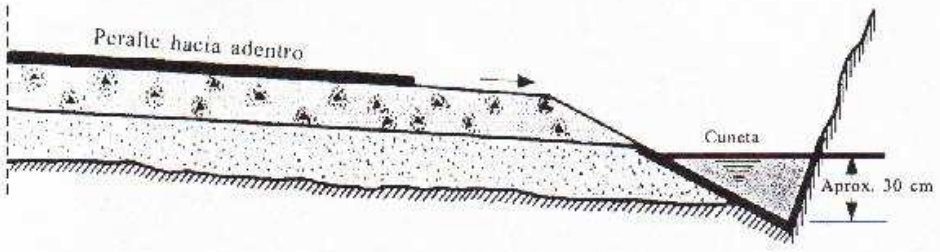


Figura 9.4.5. Factores que ocasionan erosión en la superficie del camino.

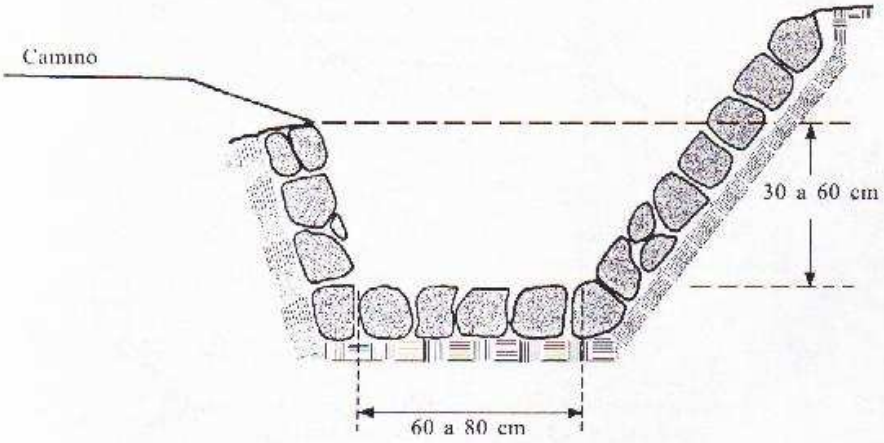


Con peralte hacia adentro, se necesita una cuneta y camino más ancho, y desagües/tuberias transversales.

Figura 9.4.6. Desnivel del peralte hacia afuera de un camino.



Gráfica A - Cuneta simple.



Gráfica B - Cuneta revestida.

Figura 9.4.7. Tipos de cunetas con peralte hacia adentro.

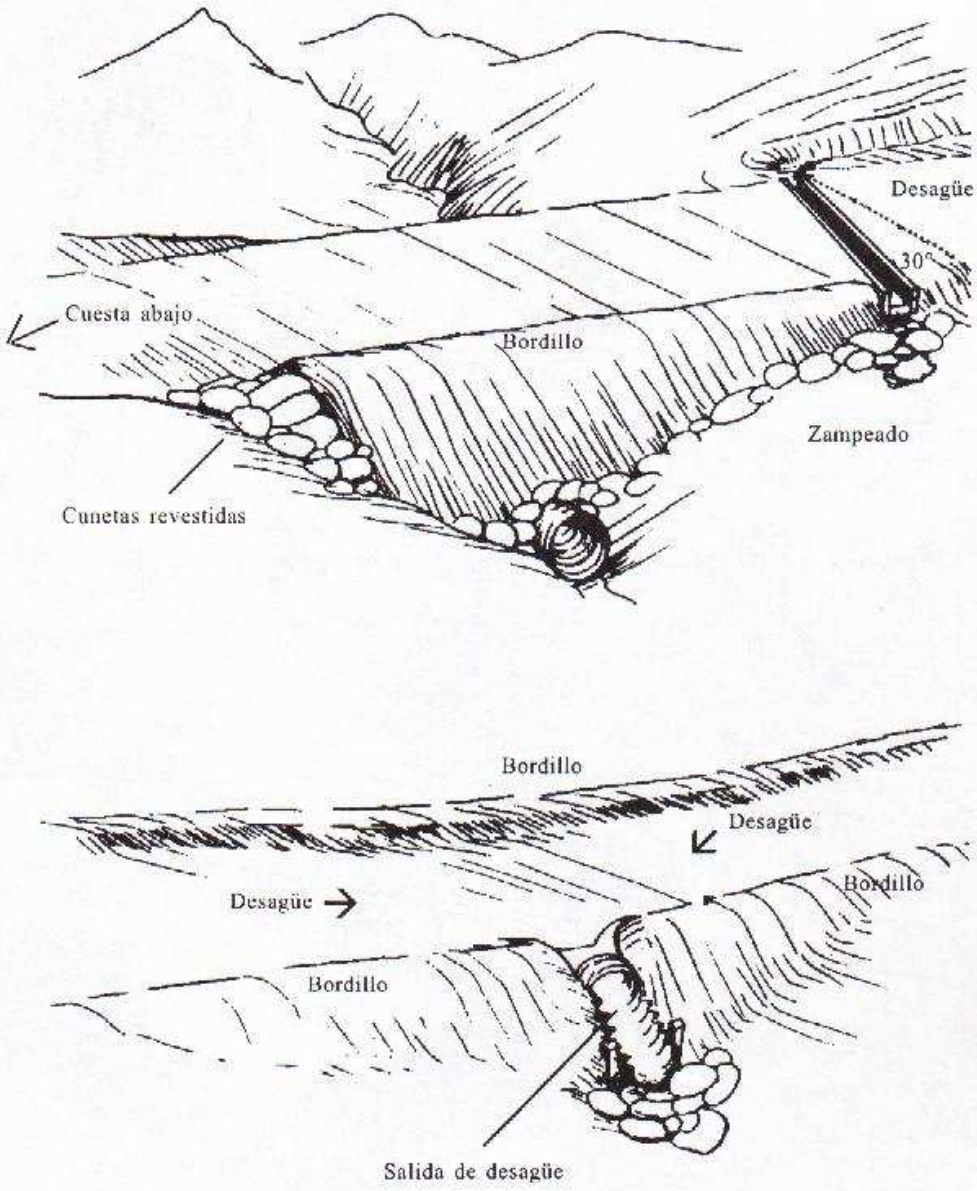


Figura 9.4.8. Bordillos y salidas de desagüe para proteger los rellenos.

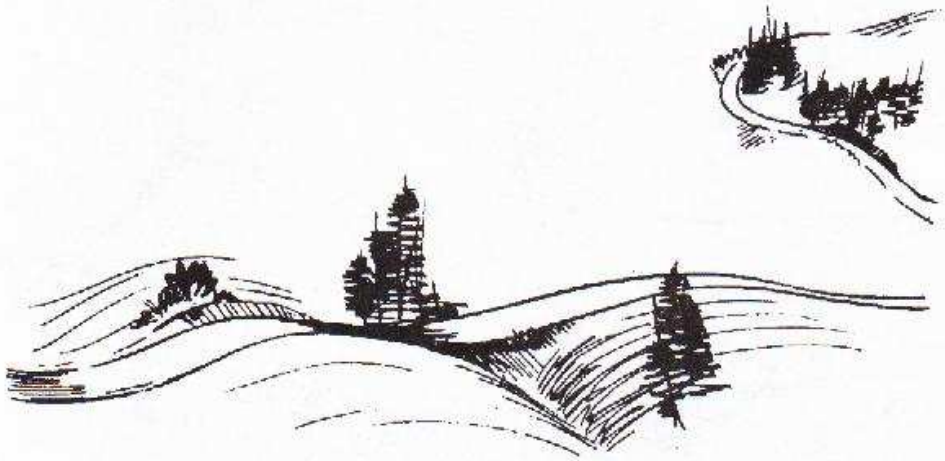


Figura 9.4.9. Desviación de agua en pendientes onduladas.

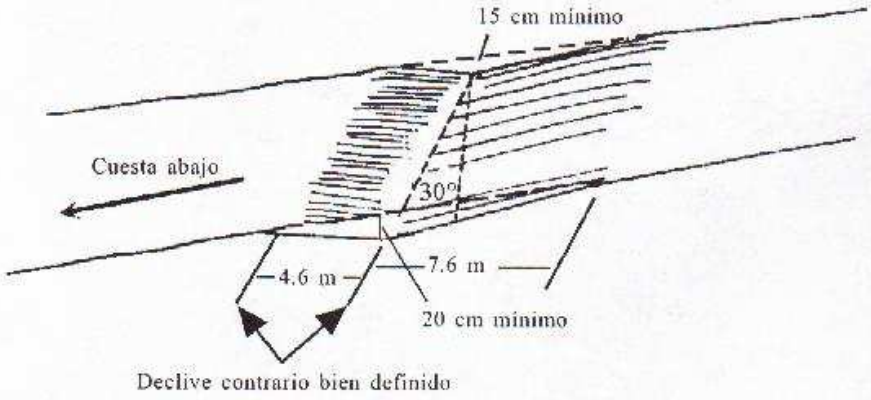


Figura 9.4.10. Desviación de agua - desagües transversales construídos (badenes).

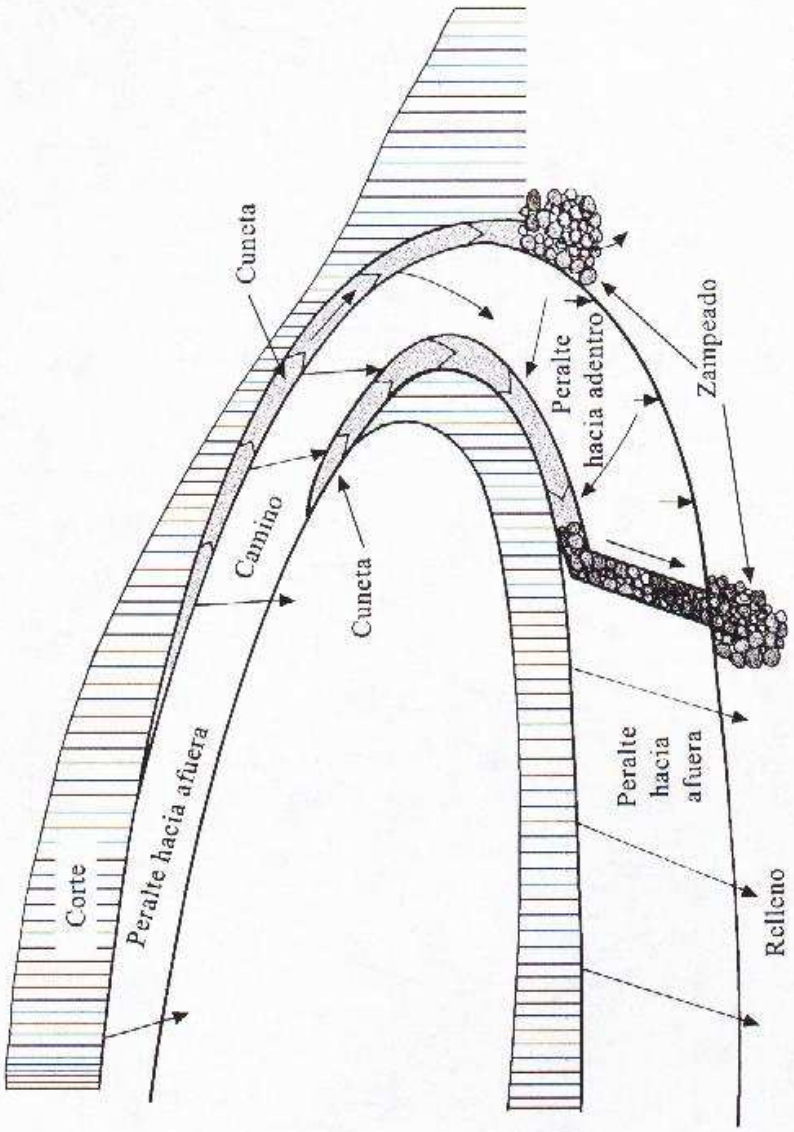
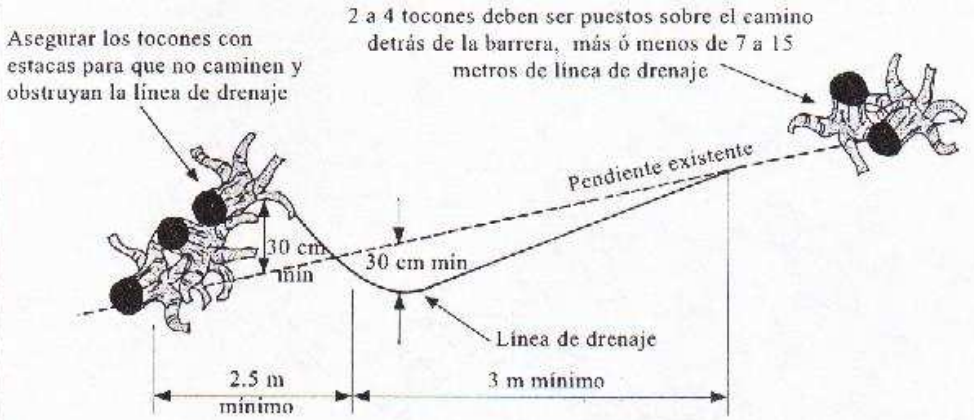
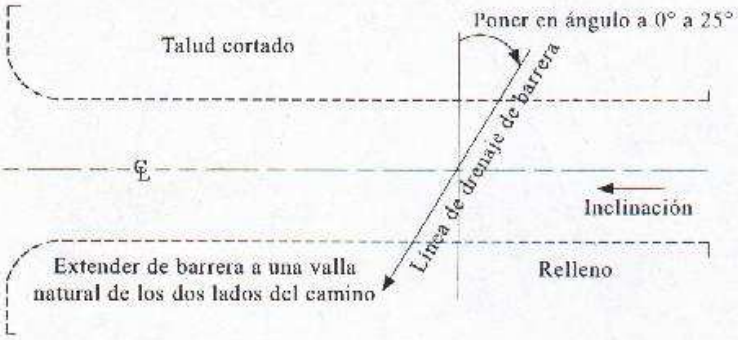


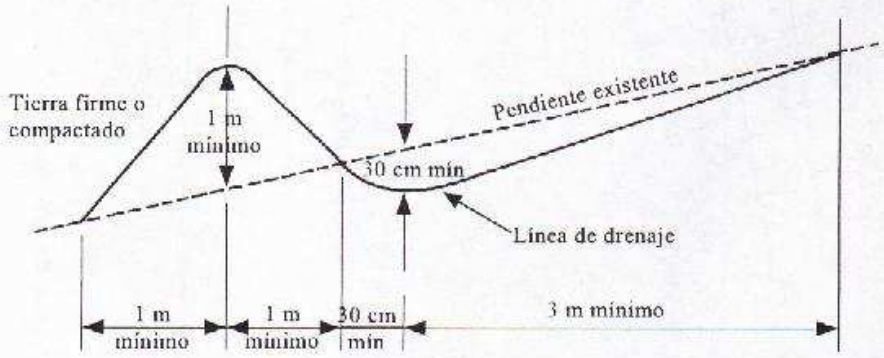
Figura 9.4.11. Vista de un "gancho" con patrones de drenaje.



Gráfica A - Barrera de tierra usando tocones.



Gráfica B 1 - Vista plano de barrera de tierra



Gráfica B 2 - Sección transversal de una barrera de tierra

Figura 9.4.12. Barreras típicas (de tierra y tocones).

Tabla 9.4.1. Valores máximos de velocidades no erosionables en cunetas.

Material	Velocidad (m/seg)
Arenas finas y limos	0.40 - 0.60
Arcilla arenosa	0.50 - 0.75
Arcilla y ceniza volcánica	0.75 - 1.00
Arcilla firme	1.00 - 1.50
Grava limosa	1.00 - 1.50
Grava fina	1.50 - 2.00
Pizarras suaves	1.50 - 2.00
Grava gruesa	2.00 - 3.50
Zampeado pequeño	3.00 - 4.50
Rocas sanas y concreto	4.50 - 7.50
Zampeado grande (>30 cm.)	4.50 - 7.50

Tabla 9.4.2. Espaciamiento requerido de los desagües transversales para evitar erosión en canales o producir cárcavas mayores de 2.5 centímetros en caminos secundarios.

% Pendiente del Camino	Tipo de Material			
	Grupo 1 Suelo gultoso rocoso grueso, Grava arenosa (GP, GW)	Grupo 2 Arenas, Arena barrosa, Grava barrosa, Arcilla, Piroclásticas gruesas, Suelo moderadamente intemperizado (SC, OH, CH, SP, SW, GM, GC)	Grupo 3 Arcilla limosa, Limo fino, Suelo rica en mica, Suelo muy intemperizado, Piroclásticas finas (MH, OL, CL)	Grupo 4 Limo friable, Limo fino y arena, Suelo de partículas finas de granito (DG) (SM, ML)
	Espaciamiento de Desagües Transversales (metros)			
2	91	49	41	30
4	85	44	36	26
6	76	43	34	23
8	70	41	32	21
10	61	38	30	18
12	53	35	27	15
14+	46	32	23	12

La tabla está basada en una ubicación del camino en la tercera parte alta del talud, con una orientación hacia el norte y con una pendiente < del 80%.

CUANDO SEA POSIBLE USE DRENAJES NATURALES

Fuente: Adaptado de Packer and Christensen 1977.

SECCIÓN 9.5.
CRUCES EN ÁREAS INUNDADAS Y CENAGOSAS

Los cruces en áreas inundadas y cenagosas son particularmente importantes para lograr una superficie estable de caminos y no dañar la pradera o alterar el nivel del agua subterránea o el patrón de la corriente. Las praderas tienen un patrón de flujo superficial y subterráneo disperso, con bajas velocidades. A menudo las alcantarillas mal ubicadas y mal construidas han causado mucho daño a la pradera, concentrando el flujo de agua, creando nuevos canales e incrementando las velocidades del flujo a través de estructuras específicas (Figura 9.5.1).

Las estructuras de drenaje son comúnmente excavadas para colocarse sobre el suelo raso a un nivel más bajo que el de la pradera. Esto frecuentemente resulta en la formación de una cárcava, tanto río arriba como río abajo de la travesía. El flujo concentrado y las velocidades aumentadas resultan en erosión descendente y expansión de las cárcavas. Subsecuentemente, la erosión descendente de las cárcavas resulta en la baja del manto acuífero de la pradera y eventualmente secando por lo menos parte de la misma.

La Figura 9.5.2 muestra un cruce mal ubicado y mal construido, inadecuadamente, donde se usa un sólo tubo, concentrando el flujo de agua, y donde el tubo recesado ocasiona cárcavas. La Figura 9.5.3 muestra una travesía similar adecuadamente construida, con tubos múltiples para dispersar el agua, colocadas a un nivel adecuado para prevenir la erosión descendente. Con un buen diseño y una inversión adicional en materiales para la alcantarilla se pueden reducir al mínimo los impactos de cruces de pradera.

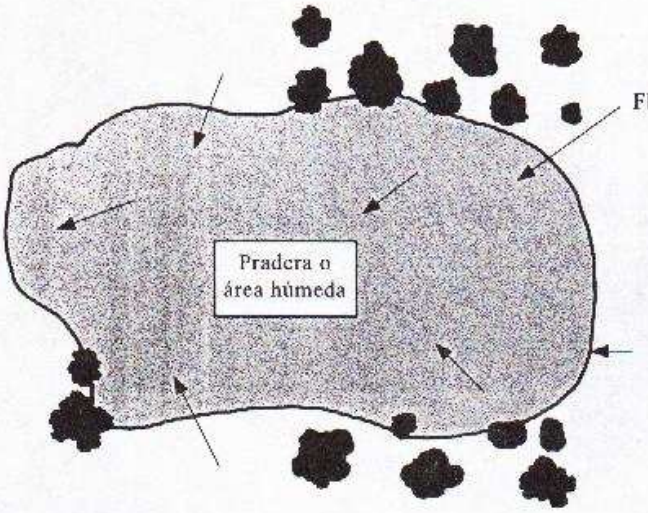
Los factores más importantes en áreas húmedas y cenagosas son:

- Idealmente seleccionar una ruta alterna que no cruce la pradera.
- Buscar el punto más estrecho para cruzar en forma perpendicular a la dirección de la corriente de agua en la pradera.
- Mantener el drenaje transversal en la elevación de la superficie natural del terreno (la elevación de pradera), o la elevación natural del fondo del canal. Asegurar que la entrada y la salida de los tubos estén protegidos, como con zampeado o vegetación, para prevenir socavación local.

- Usar refuerzo adecuado del subrasante y la superficie de la plataforma para lograr una superficie sólida, que no se asiente. La roca gruesa se usa frecuentemente para el cruce de áreas húmedas para proporcionar estabilidad estructural y proveer material que no impida el movimiento del agua.

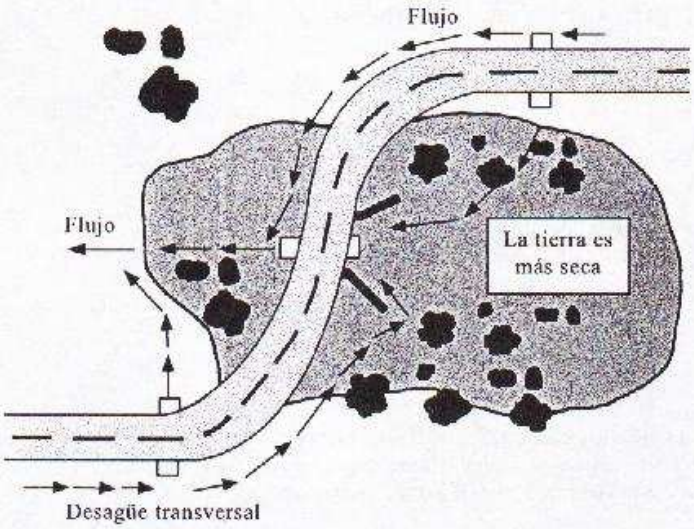
Las travesías de pradera, son periódicamente anegadas con una corriente ligera amplia. El sistema de drenaje debería ser mediante una serie de tubos de diámetro pequeño, esparcidos a través de la pradera, en vez de concentrar la corriente en un tubo grande. Se deben usar la cantidad de tubiería que resulte práctico, o tantas como se necesiten, para que pase cualquier corriente máxima de diseño.

Si las barrancas o cárcavas se han formado por el agua concentrada en tales áreas, pueden tratar de estabilizarse usando uno de los tipos de estructuras de control de cárcavas discutidas en el Capítulo 12. Las estructuras de control de cárcava deberían ponerse a lo largo de la longitud de la cárcava y en el área cabecera. Un tubo existente debajo del nivel de la pradera puede ser modificado al agregar un tubo vertical o barrera de concreto que ha sido llevado al nivel de la pradera como se muesstra en la Figura 9.5.4. Con el tiempo la quebrada arriba de la cárcava agrandará o llenará el sedimento a la elevación del tubo levantado, restaurando así parcialmente la pradera. Note que estas direcciones de los problemas de tratamiento en la quebrada arriba no mejoran el problema de cárcavas abajo del cruce del camino.



Condición Natural - Flujo dispersado superficial y subterráneo, la vegetación de áreas húmedas es común

Gráfica A - Condición Natural - Antes de la construcción del camino.

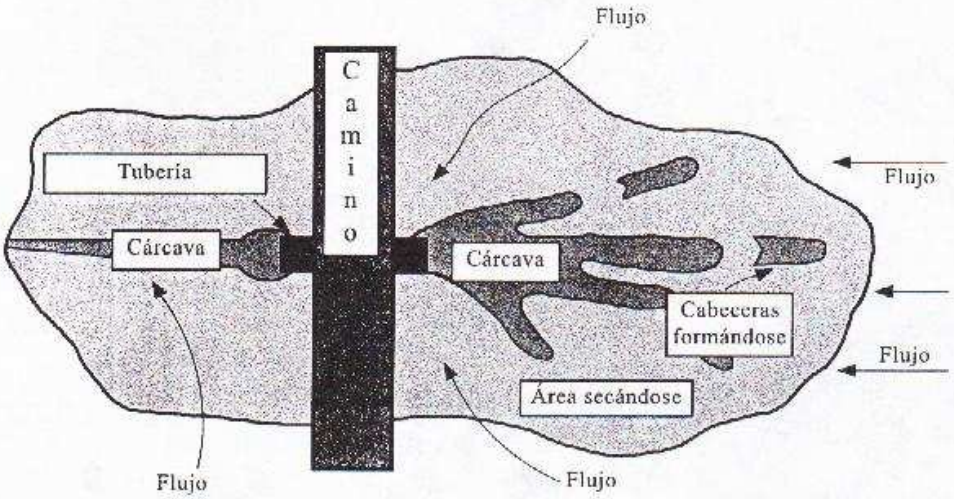


Formas de Drenaje Típico - El agua es capturada por los desagües transversales, concentración de flujo, aumento de velocidades, formación de canales de agua y cárcavas, vegetación cambia de plantas acostumbradas a áreas húmedas a tierra más seca.

Gráfica B - Drenaje Típico - Después de construcción del camino.

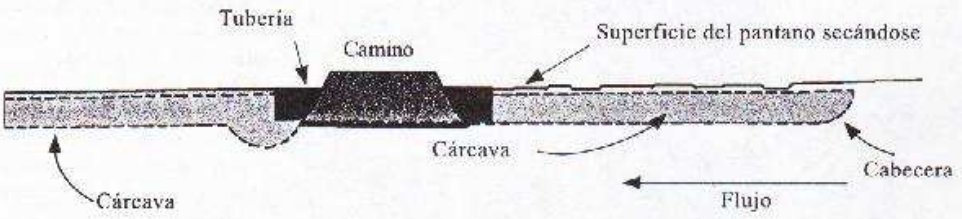
Figura 9.5.1. Ejemplo típico para manejo de agua para caminos en praderas y áreas húmedas.

Fuente: Adaptado de Terrene Institute, 1994.



Cruzando el pantano o pradera con un desagüe transversal con el fondo del tubo abajo de la superficie original de la tierra. Las cárcavas comienzan, formando arriba y abajo del camino.

Gráfica A - Vista en planta.

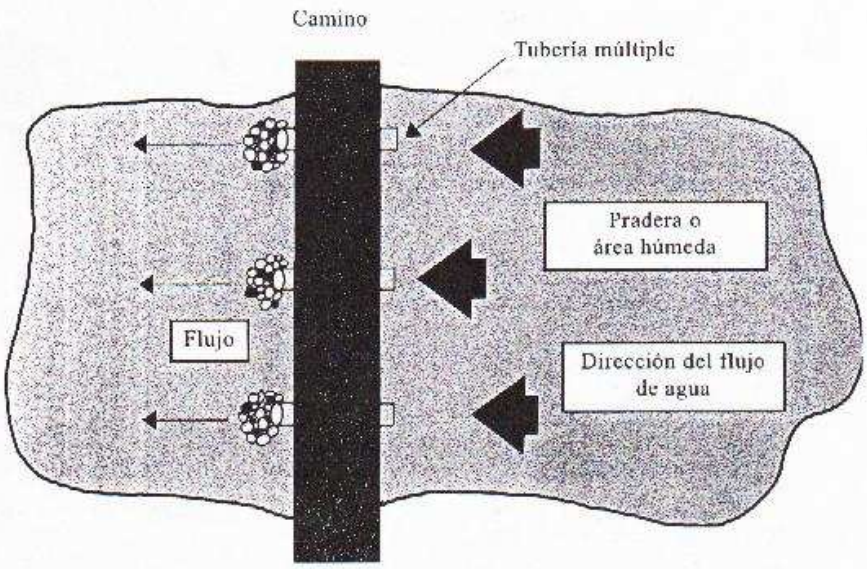


La concentración de agua hace la formación de una cárcava. La formación de la cárcava arriba del camino es porque la base del desagüe transversal (tubería) es más baja que la superficie original de la pradera.

Gráfica B - Vista transversal.

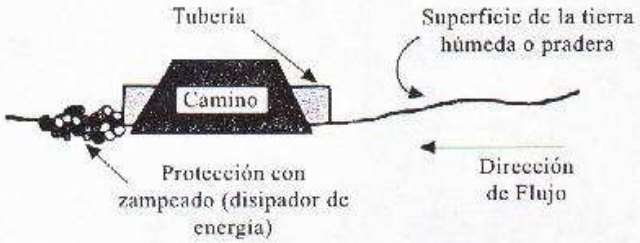
Figura 9.5.2. Camino cruzando un área húmeda - método incorrecto.

Fuente: Adaptado de Terrene Institute, 1994.



Cuando sea posible, evite la necesidad de cruzar áreas húmedas. Cuando no es posible, use varios desagües transversales con el fondo colocado a nivel de la tierra, nunca los ponga a nivel más bajo. Construyendo varios desagües transversales mantenga flujo disperso en vez de flujo concentrado.

Gráfica A - Vista en planta.

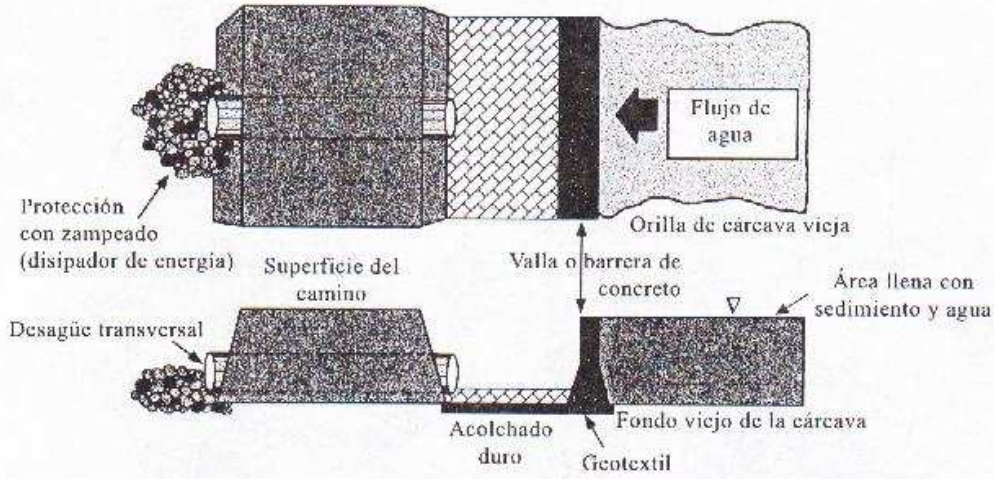


Construya los desagües transversales al nivel de la tierra o superficie de la pradera para evitar formación de cárcavas y desaguar el perfil del suelo. Siempre es necesario poner protección a la salida de tubos.

Gráfica B - Vista transversal.

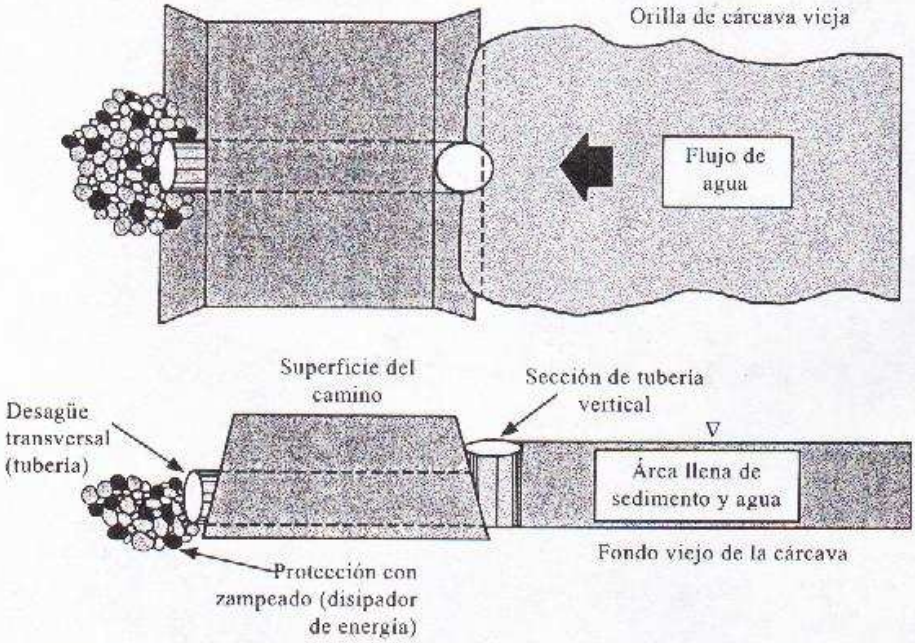
Figura 9.5.3. Camino cruzando un área húmeda - método correcto.

Fuente: Adaptado de Terrene Institute, 1994



El uso de vallas de concreto para establecer el nuevo nivel del canal de aguas arriba. El canal (arriba de la valla) se llena de agua y sedimento creando el área húmeda de nuevo.

Gráfica A.



El uso de un codo conectado al lado aguas arriba de una alcantarilla existente. El canal arriba del codo se llena de agua y sedimento creando el área húmeda de nuevo.

Gráfica B.

Figura 9.5.4. Modificación a la entrada del desagüe transversal para recrear el área húmeda.

Fuente: Adaptado de Terreae Institute, 1994

SECCIÓN 9.6.
SUBDRENAJE

El agua subterránea puede ocurrir en suelos saturados, grietas o fracturas en la roca, en las zonas de falla, sepultadas en estratos aluviales, etc.. Puede, naturalmente, salir sobre una ladera o en un área de manantial, o puede salir en un área como resultado de un nuevo corte de camino, o la modificación de agua subterránea, y los modelos de corriente ocasionados por la construcción de un relleno sobre un área. También un camino puede cruzar un área inundada o cenagosa que necesite ser drenada.

El agua es lo que típicamente ocasiona los problemas de un camino; debilita los suelos, particularmente si la arcilla es rica en limo, ocasionando problemas de estabilidad de taludes, presiones aumentadas de poro o pérdida de fuerza subrasante y, puede ocasionar erosión local. Debido a la carga repetida por el tránsito, la humedad "bombeará" la superficie, reduciendo la capacidad estructural de suelos parejos relativamente buenos. También el agua agrega peso adicional a los suelos y puede hacer la compactación de suelos difícil o imposible. Por lo tanto, la mejor manera de lidiar con los problemas de agua subterránea consiste en remover el agua.

Los métodos generalmente usados para remover el agua subterránea son los subdrenajes o drenajes franceses, o capas de drenaje (colchón filtrador), desagües de roca, y en algunos casos, el uso de galerías horizontales de drenaje y los túneles perforados detrás del talud. En caminos las obras de subdrenajes más comunes son los drenajes longitudinales de zanjas. Los drenajes transversales de penetración (o subdrenajes horizontales) son más comunes para la estabilización de taludes.

Los drenajes longitudinales consisten en la apertura de zanjas al pie de los taludes de corte con profundidad mínima de 1.5 m hasta 2 ó 3 m en ocasiones. En el fondo, sobre una plantilla de grava de 10 cm, se coloca un tubo de plástico, metal o concreto perforado por su parte inferior, de acuerdo a la Figura 9.6.1, y rellenado con material filtrante.

El de material filtrante más adecuado es la grava y arena con tamaño máximo de 5 cm y con 2% máximo de finos pasando el tamiz No. 200. Una graduación de material filtrante típico se muestra en la Figura 9.6.2, y algunas graduaciones estándares usadas en Estados Unidos se ponen de manifiesto en la Tabla 5.3.2 en la discusión sobre criterios de filtro, Capítulo 5 Sección 5.3.

Los otros tipos de subdrenajes usados incluyen " Drenajes Franceses " que son hechos de grava de piedra o material filtrante sin un tubo de desagüe. El agregado debe ser competente para mover agua, relativamente grueso, y debería envolverse en geotextiles, para satisfacer criterios necesarios de filtros. Las graduaciones sugeridas para tal material y la necesidad de que se envuelvan en geotextiles, se muestra también en la Tabla 5.3.2. Si se usa roca pequeña o un agregado de base sin finos, se usa un drenaje francés, su longitud máxima no debería exceder los 15 a 30 metros a causa de su capacidad limitada para mover agua. Los geotextiles usados en la mayoría de subdrenajes es un material no tejido perforado con agujeta con un peso mínimo de 4.5 onzas por yarda.

Las capas de drenaje o colchones filtradores se usan para desaguar las áreas de inundación o los manantiales que se cubrirán con un relleno. La capa del material de filtro debería ser, por lo menos, de 15 cm de grueso. Al quitar el agua desde el material de filtro, un perforado sistema de los tubos de desagüe horadado se pone dentro del material de filtro. El tubo de desagüe, y preferentemente la capa del material de filtro debería estar a "la luz del día" en la superficie del relleno para asegurar el drenaje total del sistema (ver Figura 9.6.5).

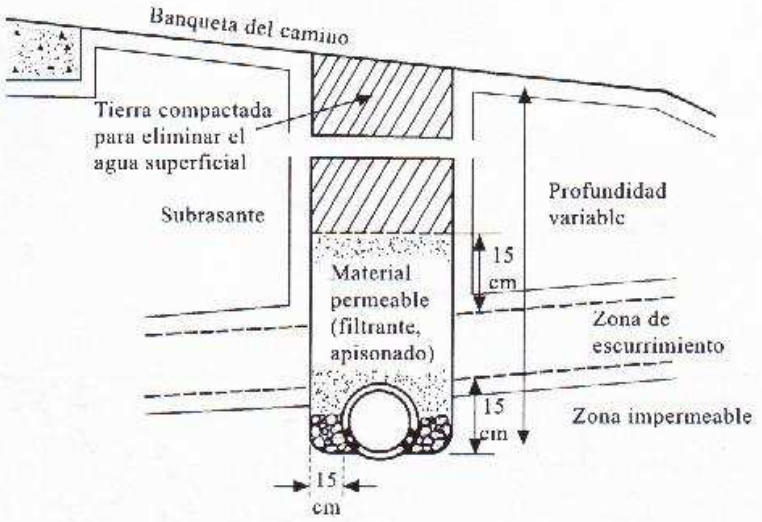
Otro tipo de subdrenaje usado hoy es un "Subdrenaje Geocompósito", constituido de un geotextil envuelto alrededor del núcleo de algún tipo de material (típicamente plástico), que es capaz de transmitir agua en un plano. Éstos están disponibles en algunas fábricas de geotextiles; pueden usarse en áreas donde el agregado graduado no está disponible o es muy caro. Los requerimientos de diseño para subdrenaje geocompósito son, que los geotextiles satisfacen los criterios necesitados de filtro, que la materia de núcleo tiene un mínimo de resistencia al aplastamiento de 4,000 libras por pie cuadrado, y que lleva un mínimo de 1 galón por minuto por pie lineal debajo de una gradiente de 1.0.

Los tipos básicos de subdrenajes usados se muestran en la Figura 9.6.3. Las Figuras 9.6.3 Gráfica A y la Gráfica B muestran subdrenajes con tubo, con y sin envolver geotextiles. La Figura 9.6.3 Gráfica C muestra un "drenaje francés" hecho de roca gruesa a fina sin un tubo de desagüe. Este diseño comúnmente no satisfacerá los criterios de filtro necesitados, un diseño mejorado envolvería la roca gruesa ennvuelta en un geotextil (parecido al de la Gráfica A). Finalmente un "subdrenaje geocompósito", rellenado con suelo nativo, se muestra en la Figura 9.6.3 Gráfica D. Estos desagües se usan mucho en los Estados Unidos.

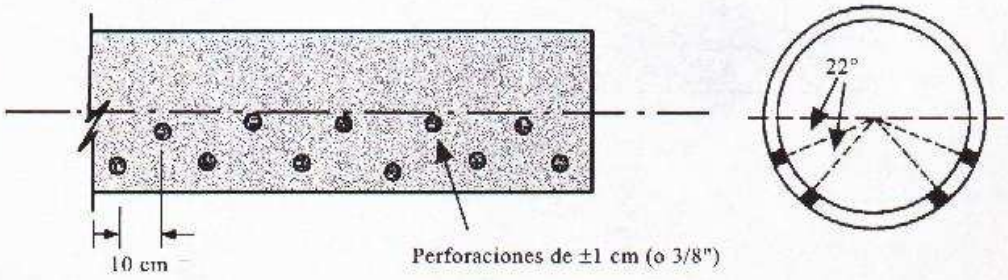
El concepto básico para el diseño de drenaje subterráneo consiste en remover el agua del terreno para interceptarlo con un material más poroso que el suelo nativo. Entonces el material de drenaje debe mover la cantidad de agua de afuera que entra. Ésta se determina usando la ecuación básica de ley de Darcy's presentada en el Capítulo 5.3. Los ejemplos del uso de este principio y el diseño específico de un subdrenaje y un colchón filtrador se muestran en las Figuras 9.6.4 y 9.6.5 respectivamente.

Cuando existen fuertes filtraciones y presión de vacíos en un talud de corte, se conviene la utilización de tipos de subdrenajes, como drenajes transversales de penetración de talud (subdrenajes horizontales); Los cuales consisten en la introducción de tubos de acero o plástico de 5-7 cm de diámetro, perforados lateralmente, a través de los taludes, con pendientes arriba de 5-20 por ciento hacia el camino. La longitud de las perforaciones debe ser tal que cruce las probables superficies o zonas de falla y a veces son de 30 hasta 90 metros de largo. La Figura 10.3.5, que se discute en el Capítulo 10 sobre la estabilización de taludes, muestra la aplicación de subdrenajes horizontales.

Se hacen las perforaciones con equipo especializado como un barrenador. Un drenaje o estabilización de inclinación del proyecto que involucra los desagües horizontales, debería emprenderse sólo cuando han sido estudiados por un Ingeniero geólogo o Ingeniero geotécnico quienes tienen una comprensión buena de la geología de sitio y los objetivos del proyecto de drenaje.

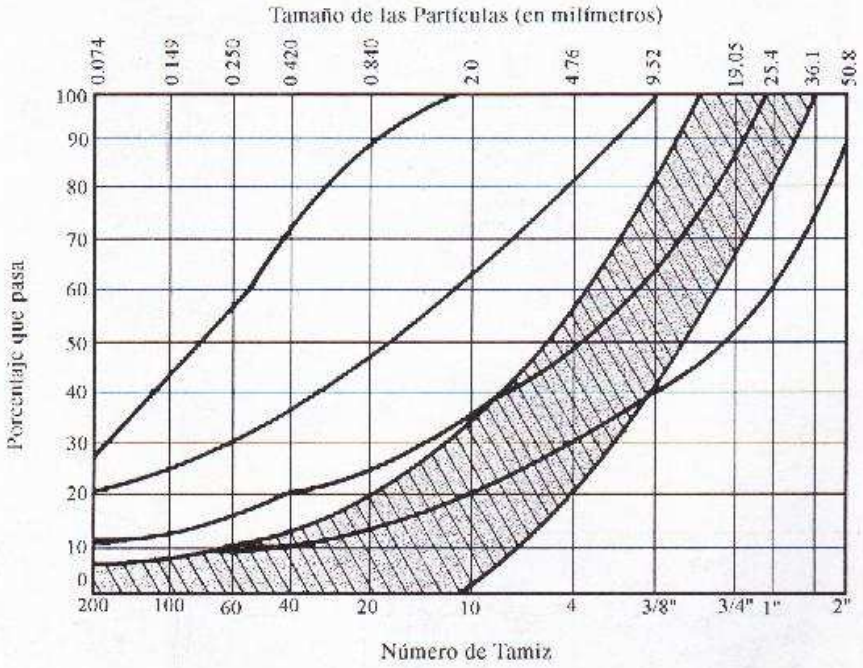


Gráfica A - Disposición de la tubería para subdrenaje.



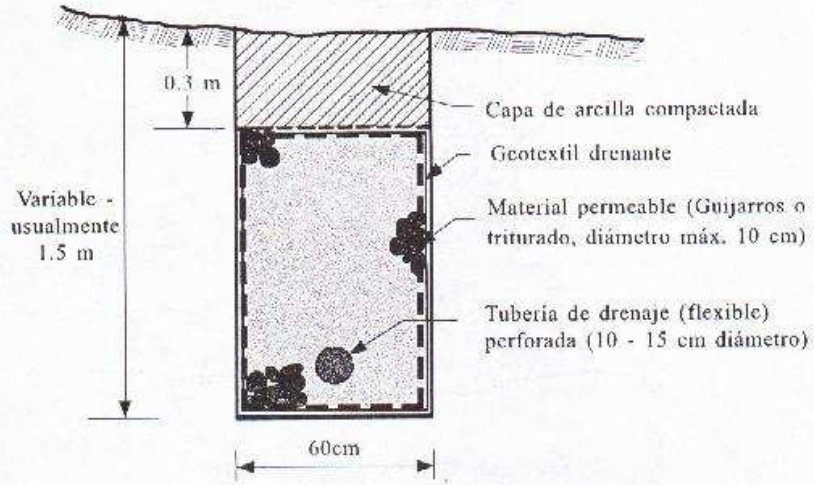
Gráfica B - Disposición de las perforaciones en tuberías para subdrenaje.

Figura 9.6.1. Instalación típica de subdrenaje.

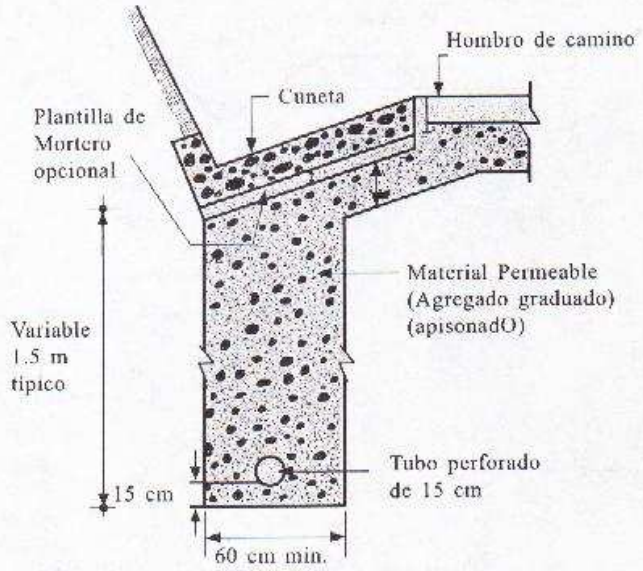


Nota: Ver Figura 5.3.3 y Tabla 5.3.2 para graduaciones de otros filtros.

Figura 9.6.2. Zona granulométrica del drenante único utilizado en carreteras.

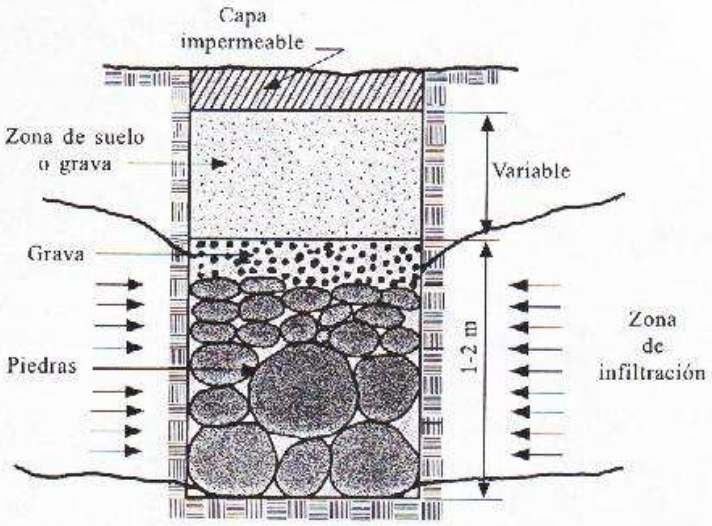


Gráfica A - Detalle de filtro con geotextil.

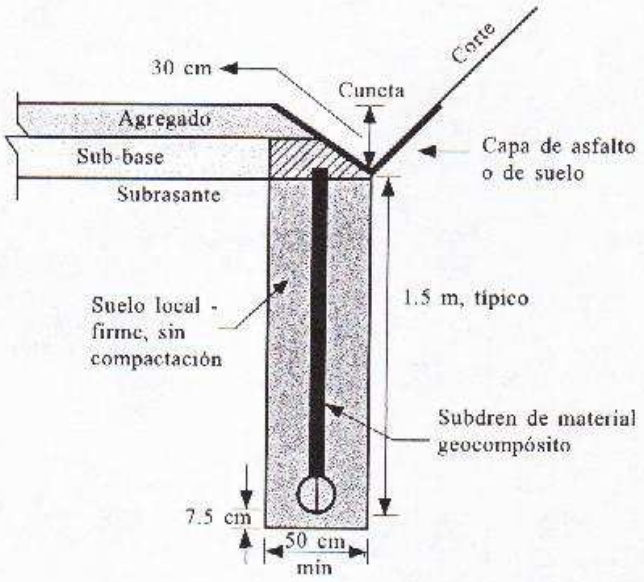


Gráfica B - Detalle de filtro con agregado graduado.

Figura 9.6.3. Tipos de subdrenes.

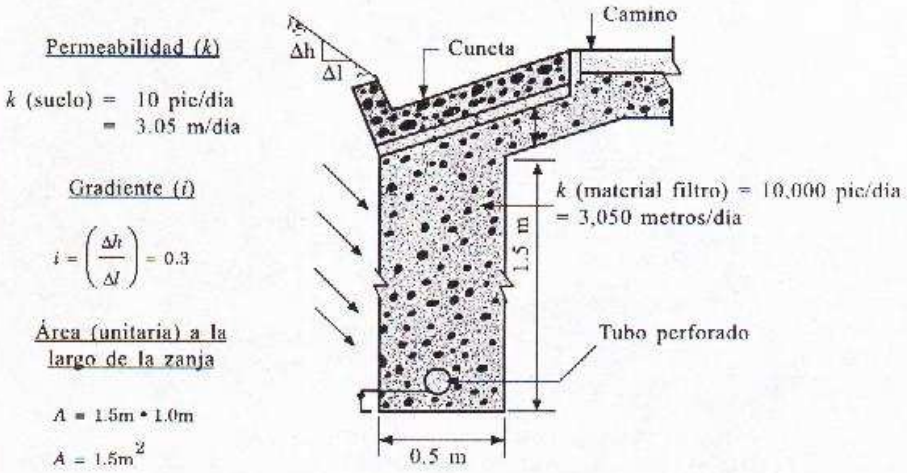


Gráfica C - Drenaje Francés.



Gráfica D - Subdrén geocompósito.

Figura 9.6.3. Tipos de subdrenes (continuación).



Flujo adentro del drenaje: (Ley de Darcy)

$$Q_{adentro} = k \bullet i \bullet A$$

$$Q_{adentro} = 3.05 \bullet 0.3 \bullet 1.5$$

$$Q_{adentro} = 1.37 m^3/día/metro\ lineal\ de\ drenaje$$

La tubería debe sacar el agua subterránea que le entra. La longitud de la tubería perforada puede ser conforme la necesidad hasta su capacidad (usando la Fórmula de Manning)

CONSIDERAR UN DRENAJE FRANCÉS SIN TUBO

Permeabilidad (k) de roca de drenaje de filtro = 3,05o metros/día
Pendiente mínima de cuneta (i) = 2% o 0.02
Área de cuneta (A) = 0.5m•1.5m = 0.75m²

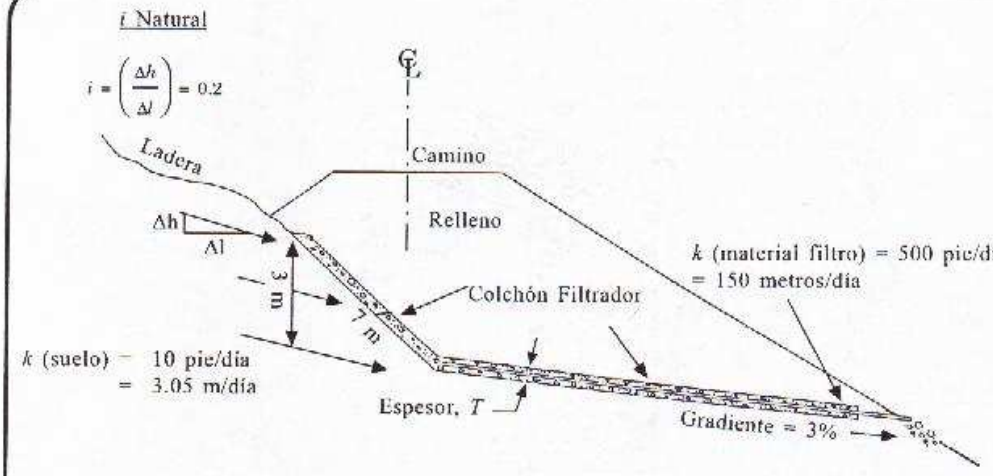
Flujo adentro el drenaje ($Q_{adentro}$) ≤ Descarga de drenaje (Q_{afuera})

1.37m³/día/metros lineal ≤ 3,050•0.02•0.75
1.37m³/día/metros lineal ≤ 45.75m³/día

$$\frac{Q_{afuera}}{Q_{adentro}} = \frac{45.75}{1.37} = 33.3\ metros\ lineales$$

El Drenaje Francés no puede ser más de 33.3 metros de largo para que la capacidad de agua que entra no exceda la que sale.

Figura 9.6.4. Ejemplo de diseño de subdrén.



PARA EVITAR SATURACIÓN DEL RELLENO,
FLUJO AFUERA (Q_{afuera}) > FLUJO ADENTRO ($Q_{adentro}$)

(Ley de Darcy) $Q = k \bullet i \bullet A$ (Ver Sección 5.3)

$$Q_{adentro\ (por\ metro\ lineal\ del\ relleno)} = k_{suelo} \bullet i_{natural} \bullet A_{\perp}$$

donde $A_{\perp}$ es el área con proyección perpendicular del flujo

$$Q_{afuera\ por\ metro\ lineal} = k_{filtro} \bullet i_{filtro} \bullet A$$

ó

$$Q_{afuera\ por\ metro\ lineal} = k_{filtro} \bullet i_{filtro} \bullet T$$

donde A = espesor, T = 1 metro de ancho

EL ESPESOR MÍNIMO DE CAPA ES CUANDO $Q_{adentro} = Q_{afuera}$

$$k_{suelo} \bullet i_{natural} \bullet A_{\perp} = k_{filtro} \bullet i_{filtro} \bullet T$$

Resolver el Espesor (T)

$$T = \frac{Q_{adentro}}{k \bullet i} \quad o \quad \frac{k_{suelo} \bullet i_{natural} \bullet A_{\perp}}{k_{filtro} \bullet i_{filtro}}$$

$$T = \frac{3.05\ \text{m/día} \bullet 0.2 \bullet 3\ \text{m}^2}{150\ \text{m/día} \bullet 0.03}$$

$$T = \frac{1.85\ \text{m}^3/\text{día}}{4.2\text{m}^2/\text{día}} = 0.40\ \text{metros}$$

El colchón debe tener un espesor de más de 0.4 metros para poder pasar el flujo que entra a la estructura.

Figura 9.6.5 Ejemplo de diseño de capa de filtro (colchón filtrador).

Foto 9-1. Un camino mal diseñado y construido con drenajes inadecuados fracasará. En estos casos el costo de mantenimiento y el impacto ambiental será muy elevado. El Progreso, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 9-2. Un ejemplo de una cuneta revestida que protege el camino de las fuerzas erosivas. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 9-3. Una estructura de boca de caída típica para controlar la pendiente de la cuneta. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 9-4. Una estructura de boca de caída mejorada de tubo de metal corrugado con una percha de desechos. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 9-5. Un canal de desviación para desaguar la cuneta. Esta estructura sería más efectiva con un camellón en la cabeza para dirigir el agua hacia afuera. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 9-6. Una práctica de protección vegetativa. La siembra de los taludes con gramíneas brinda estabilidad al suelo a largo plazo, reduce al mínimo el costo de mantenimiento y previene la erosión. Quiché, Guate.

Foto 9-7. Una alcantarilla de un tamaño inadecuado mal instalada resultará en fracaso total y el deslave del camino. Baja California, EE.UU. (Foto Club Vagabundas)

Foto 9-8. Un ejemplo de socavación debajo de una alcantarilla causada por un diseño inapropriado y compactación inadecuada del material. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 9-9. Una boca de caida con un muro cabecera de concreto para reducir al mínimo la acción de socavación. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 9-10. La altura de la salida de la alcantarilla es demasiada alta y como consecuencia, puede erosionar el fondo del canal. Por tal motivo, están construyendo un disipador de energía. Sololá, Guatemala. (Foto GB)

Foto 9-11. La salida de una alcantarilla protegida con zampeado. El área adyacente está sembrada con gramíneas y tiene una cubierta de humedad para protegerla mientras germinan las semillas. Bosque Nacional Plumas, Calif.

Foto 9-12. Una percha de desechos en la entrada de una alcantarilla para prevenir que se obstruya. Bosque Nacional Plumas, California. EEUU. (Foto G. Keller)

Foto 9-13. Un dique de piedras colocado dentro de una cuneta para disminuir la velocidad del agua y contrarestar la erosión. Totonicapán, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 9-14. Una técnica recomendada donde se dispone de mano de obra y material local es el revestimiento de la salida de desagües con zampeado y la siembra de vegetación. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 9-15. Los badenes sin alcantarilla para desaguar caminos son económicos y fáciles de construir con mano de obra. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 9-16. Un ejemplo de un drenaje revestido (a la derecha) que sale de un badén. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 9-17. La instalación de un subdrenaje (subdrén) geocompuesto para desaguar el corte de talud. Bosque Nacional Sierra, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 9-18.La instalación un drenaje horizontal para desaguar y estabilizar el talud. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Capítulo 10

Estabilización de Cortes, Rellenos y Derrumbes

SECCIÓN 10.1.
CORTES DE TALUDES

Tanto la estabilidad de las excavaciones y taludes de cortes, como la de los rellenos, son muy importantes para reducir los costos de mantenimiento de los caminos y los impactos en el ambiente. Un derrumbe o un relleno mal hecho pueden producir mil veces más sedimento que la erosión de la capa del camino en un área determinada. Los deslizamientos en cortes de taludes frecuentemente tapan los drenajes superficiales, particularmente donde el camino tiene un peralte hacia adentro con cunetas en el mismo lado. La acción de excavación puede causar mayor inestabilidad en el sitio con la hechura de pendientes demasiadas pronunciadas o altas, tomando en cuenta la resistencia del suelo o la roca, o si se excava debajo de un estrato o zona de debilidad del material. Las áreas de derrumbes se localizan usualmente en zonas húmedas debido a que éstas crean un aumento en la presión de vacíos.

Los tipos de deslizamientos incluyen caída de rocas, deslizamiento translacional y rotacional, deslizamiento o flujo de detritos, flujo de lodo, falla de rellenos y otros. Los tipos básicos de deslizamientos que se pueden afectar o pueden ser ocasionados por la construcción de camino, se muestran en la Figura 10.1.1. Los deslizamientos rotacionales localizados que ocurren en suelos ricos en arcilla y los deslizamientos someros de detritos en suelos granulosos son las formas más comunes de deslizamientos que afectan los caminos. En estos casos se requeriría alguno de los métodos de estabilización mencionados en la Sección 10.3.

Por lo general, los taludes en los que se encuentran formaciones de gran altura de roca sólida y masiva, sedimento bien cementado o depósitos volcánicos soldados son estables en cortes de 1/4:1 a 1/2:1 (horizontal:vertical), o hasta casi vertical (Figura 10.1.2 Gráfica A). Las excavaciones de grandes alturas deberían ser construidas con plataformas de 3-5 metros de ancho y de 8-15 metros de alto (Figura 10.1.2 Gráfica B), para seguridad en caso de deslizamiento y caída de roca localizados. La estructura de la roca local o los ángulos de los buzamientos (planos de estratificación de la roca) pueden indicar el ángulo estable de la ladera. En los taludes de roca fracturada o erosionada, las excavaciones son hechas generalmente en laderas de 1/2:1 un 3/4:1. La Tabla 10.1.1 presenta información sobre los cortes de taludes típicos de roca recomendados

para diversos tipos de roca. La experiencia local puede ayudar mucho en la determinación del ángulo de inclinación estable en un área determinada y suelo o tipo de roca.

Los cortes en la mayoría de suelos de hasta más o menos 10-15 metros de altura, usualmente son estables con taludes de 3/4:1 hasta un 1:1 (Figura 10.1.3). Los suelos sueltos y guijarrosos y los arenosos pueden requerir un corte de talud de 1:1 a 11/2:1. Los cortes más altos tendrán que ser más planos para evitar problemas de inestabilidad, a menos que el suelo esté bien cementado. Las áreas húmedas y quebradizas, o las zonas de falla son muy propensas a tener fallas, por lo tanto, requerirán taludes más planos (menos inclinados) como de 2:1 a 3:1 para ser estables. La Tabla 10.1.2 presenta cortes de taludes típicos utilizados para una variedad de suelos, con algunas condiciones variantes.

Nótese que ocasionalmente se usan criterios que recomiendan un corte de talud más empinado cuando se aumenta la altura del corte. Desde el punto de vista del movimiento de tierra es práctico porque los taludes altos y planos requieren más excavación, especialmente en el terreno con pendientes fuertes. Sin embargo, desde el punto de vista de estabilidad, la recomendación es totalmente la opuesta, los taludes en la parte más alta deberían de ser más planos (ver la Tabla 10.1.3).

Una solución práctica a estos objetivos conflictivos puede encontrarse en la experiencia local, haciendo los taludes tan empinados como sea posible, hasta alcanzar una altura donde comienzan a fallar, y entonces hacer el talud poco más plano. Lo más recomendado, tomando en cuenta los costos de mantenimiento y el impacto causado por problemas de inestabilidad, así como los costos de construcción y movimiento de tierra, es el uso de los valores para cortes de taludes presentados aquí.

LOS CORTES VERTICALES

La mayoría de los suelos no se mantendrán firmes y estables con cortes verticales que excedan alturas de 1-3 metros a menos que los materiales sean cementados o de una mezcla de suelo residual y roca intemperizada con una cohesión moderada. Incluso en estos casos solamente unas áreas limitadas permanecen verticalmente por mucho tiempo. Por lo tanto, generalmente las excavaciones verticales no deben ser utilizadas ya que en un momento dado se derrumbarán a menos que la experiencia local muestre lo contrario.

Algunas formaciones geológicas y tipos de suelo son bien cementados o suficientemente resistentes como para permanecer verticalmente cuando son de mayores alturas, tales como areniscas cementadas, roca granítica intemperizada, o depósitos de ceniza volcánica cementada/soldada. Los cortes verticales altos pueden ser hechos en estas formaciones, pero la decisión para hacerlo deberá basarse en mucha experiencia local, considerando ciertos factores tales como: cuándo hicieron los cortes verticales; cuánta falla localizada ha habido en el depósito; y si existen escarpas verticales altas en la topografía local (porque de otro modo,, los cortes verticales serán sólo "temporarios").

Los cortes verticales son fáciles de construir y reducen al mínimo el volumen de excavación y área de perturbación de superficie, por lo tanto, se utilizan frecuentemente, particularmente en los proyectos donde se emplea mano de obra. La determinación de hacer cortes verticales o no debe ser el resultado de una comparación de los riesgos, y consecuencia de una falla y erosión versus el costo inicial más alto de construcción para hacer taludes más planos. Los asentamientos locales en cortes sobre-inclinados traen como consecuencia que se requiere mantenimiento más frecuente, especialmente si afecta el drenaje del camino. Los cortes verticales que siguen asentándose necesitarán mucho tiempo para establilizarse, de otro modo no se estabilizarán. Además, si se hace el talud inicialmente con una inclinación estable, tal como una relación de 1:1, entonces, el corte puede estabilizarse más rápido con la vegetación.

El uso de una serie de terraplenes con cortes verticales bajos es una solución para reducir al mínimo el área de la perturbación de superficie aún utilizando cortes verticales y reduciendo al mínimo la inestabilidad e impactos sobre el drenaje del camino (ver la Figura 10.1.4). El terraplén bajo, cerca de la superficie del camino, es muy importante para evitar el asentamiento que puede tapar las cunetas. La inclinación total es más ó menos 1:1, y las gradas bajas (1-1.5 metros de altura), permiten estabilidad local y global del talud. No se reduce el área de producción, como con los terraplenes horizontales, y pueden ser aprovechados con siembras.

En taludes de poca altura, menores de 2-3 metros, las laderas deberán ser excavadas con relación de 2:1 ó más planas inicialmente para promover la estabilización vegetal y para poder aprovechar el área. Desde el punto de vista de estabilidad, mientras más plano el talud mejor, siempre y cuando el talud pueda ser revegetado para controlar la erosión. Sin embargo, los taludes planos más altos de 3-5 metros afectan un área grande e involucran la excavación de

cantidades grandes de material. Aquí se recomienda un corte de talud moderado.

Una corte compuesta es conveniente cuando se encuentra un perfil de horizonte del suelo sobre piedra dura o piedra intemperizada. Se utiliza un talud con mayor inclinación, como 1/2:1, hacia abajo, en roca, y un talud más plano, como 1:1, en la capa de suelo. Muchos perfiles de suelo involucran suelo sobre más suelo denso y roca en profundidades que hacen los cortes compuestos razonables.

OTRAS CONSIDERACIONES

Ocasionalmente se utiliza el redondeo de taludes para alisar la transición desde un corte al terreno natural, particularmente en caminos de normas altas. Es recomendable también eliminar los árboles grandes cerca de las orillas de los cortes cuyas raíces han sido socavadas y que probablemente cayeron sobre el camino. Sin embargo, se debería dejar los arbustos y árboles pequeños existentes sin tocar, hasta la orilla superior del corte para proveer fortaleza de raíz al suelo y soporte al talud. Por la misma razón, no se debe quitar la vegetación que se encuentre en la superficie de los cortes de talud en el proceso de mantenimiento, con la excepción de áreas en donde se necesita mantener una buena distancia de visibilidad. En la mayoría de los casos, los árboles contribuyen a la estabilidad de un talud y raras veces representan un factor desestabilizador, por ende la vegetación de cualquier clase es conveniente en la mayoría de los taludes!

Los suelos arcillosos presentan problemas muy particulares en la construcción y mantenimiento de caminos porque su resistencia varía, dependiendo de las condiciones climatológicas. Por lo tanto las medidas que se toman en la construcción y el mantenimiento de caminos en este tipo de suelos deberían enfocarse con el objetivo de evitar que los suelos arcillosos se saturen. Los cortes en suelos arcillosos inicialmente pueden ser altos y verticales, pero con el tiempo perderán su estabilidad. En este tipo de suelo se recomienda hacer los cortes relativamente planos, tal como 2:1 a 3:1 ó más. Los terraplenes anchos también son convenientes para acomodar deformación y reducir al mínimo la inestabilidad en suelos arcillosos (Figura 10.1.5 Gráfica A).

Frecuentemente en los proyectos de reconstrucción, se consigue el material para terracería usando o ampliando un corte de talud, como se muestra en

la Figura 10.1.5 Gráfica B. Aquí nuevamente, los cortes verticales no son convenientes, especialmente en este caso, porque el objetivo es obtener un volumen de material. Como tal, el corte del talud debe ser tan plano como sea posible, dada las condiciones del terreno. Sin embargo, se deben seguir las relaciones de cortes de taludes presentados aquí si los cortes más planos no son factibles. Como se ha explicado en otras secciones, se debe estabilizar los cortes planos usados para bancos de préstamos para el control de erosión.

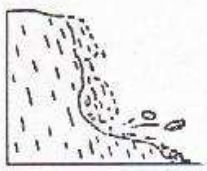
En cualquier excavación (corte o talud de relleno) se debe mantener la corriente de agua debajo o fuera de la superficie (donde sea posible) a través del uso de interceptadores, zanjas, etc. para remover el agua.

La forma del terreno puede ser un ejemplo del ángulo de corte de talud estable. Las escarpas rocosas empinadas, por ejemplo, pueden sugerir el uso de un corte casi vertical. Estos aspectos pueden ser localizados, y variarán con áreas de filtración o blandas. Generalmente, los taludes más planos (menos de 1:1) con vegetación tienden a durar un largo plazo.

Los estratos de lechos rocosos que emergen de una ladera o paralelo a un corte de talud pueden causar problemas de estabilidad específicos que deben considerarse. Idealmente se debe hacer un corte paralelo al buzamiento o en un ángulo más plano. Si se hace el corte más inclinado que el ángulo del buzamiento, el plano de la junta será expuesto, y es probable que el corte falle. La Figura 10.1.6 muestra los factores diversos que pueden contribuir a deslizamientos en bloque donde los estratos sumergen fuertemente, y las acciones que deben evitarse para prevenir inestabilidad. Las acciones adversas que deben evitarse incluyen: hacer cortes sobre-inclinados; hacer cortes con alturas excesivas; saturar los estratos con el agua; o cargar la cabeza de los estratos con peso extra, tal como un relleno. En los casos donde los estratos claramente sumergen paralelos al corte, el área o trabajo propuesto debe evaluarse, preferentemente antes de la construcción.

Los valores recomendados para cortes de taludes en roca y suelo presentados en las Tablas 10.1.1 y 10.1.2 son para las aplicaciones de rutina y no reflejan condiciones locales especiales tal como agua subterránea, fallas y zonas de cizallamiento, o zonas de material intemperizado, etc. que probablemente requieren taludes más planos. Es difícil generalizar sobre la estabilidad de taludes, pero para la construcción de camino la rutina es necesaria! Los cortes de taludes altos y especiales deberían ser con base en un análisis de estabilidad conducido por un experimentado Geotécnico o Ingeniero Geólogo. La Tabla 10.1.3 muestra los valores recomendados para cortes de taludes, como una

función de altura, formulados para suelo granítico descompuesto. La Tabla se basa en un análisis de estabilidad utilizando propiedades de resistencia de este tipo de suelo específico, e información similar puede desarrollarse para otros tipos de suelos "uniformes".

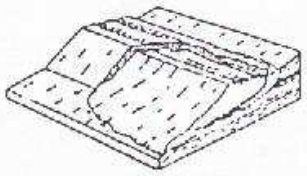


Caída de roca

Gráfica A.

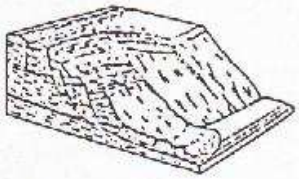
Volcamiento
("toppling")

Gráfica B.



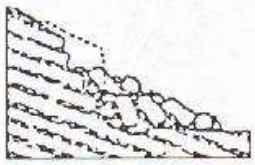
Hundimiento simple

Gráfica C.



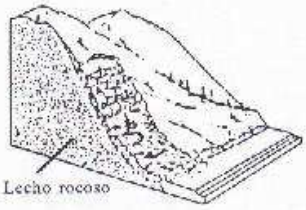
Hundimiento múltiple que
lleva a movimiento
traslacional del conjunto

Gráfica D.



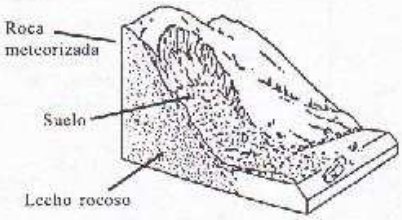
Deslizamiento
traslacional de roca

Gráfica E.



Deslizamiento
traslacional de detritos

Gráfica F.

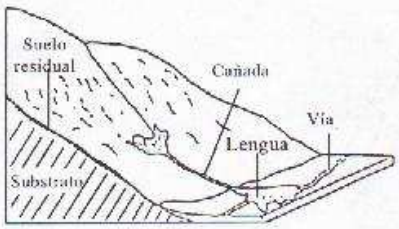


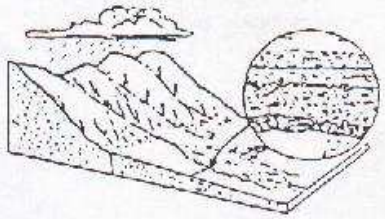
Flujo de detritos (rápido)

Gráfica G.

Flujo de tierras

Gráfica H.



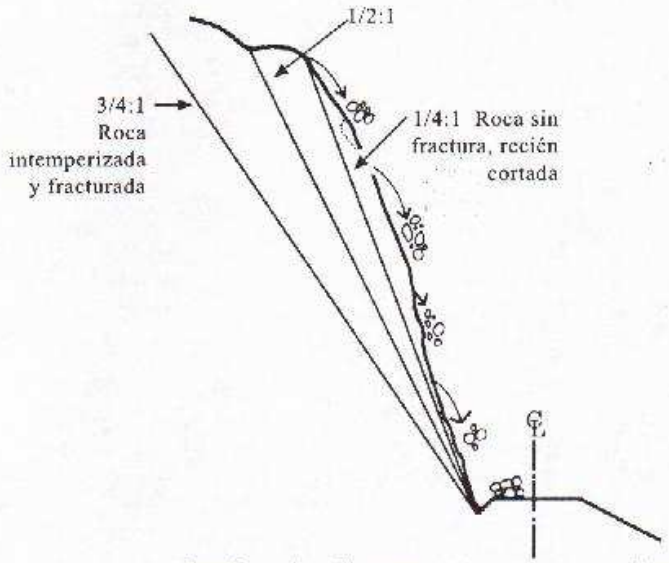


Tipos comunes de flujos de lodo

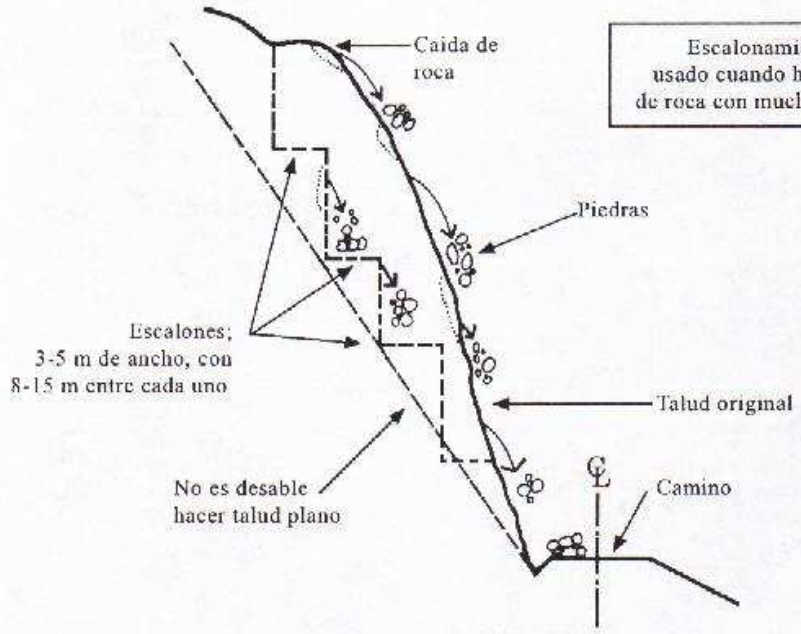
Gráfica I.

Figura 10.1.1. Tipos frecuentes de movimientos en falla de taludes.

Fuente: Apaptada de Varnes 1978

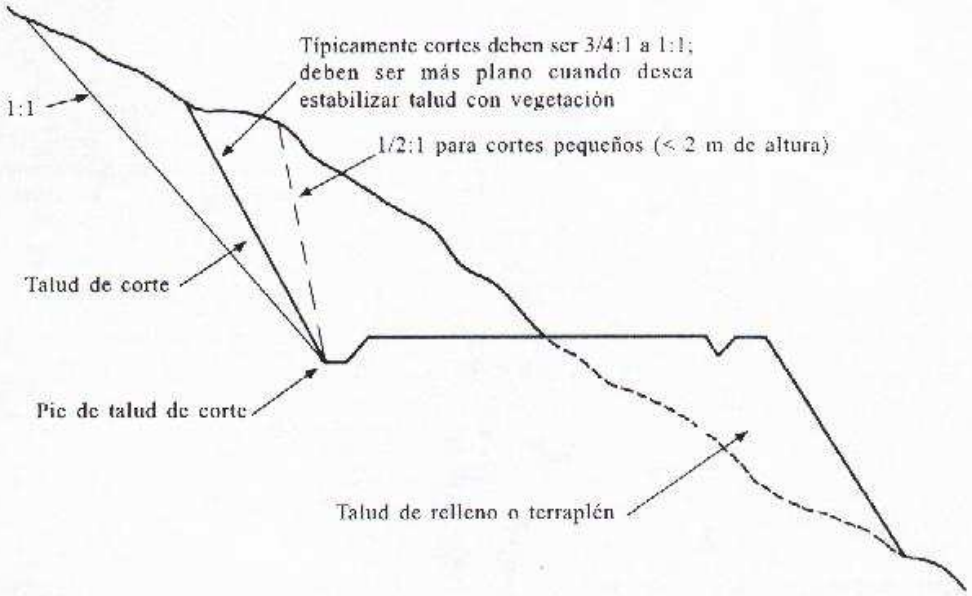


Gráfica A - Cortes típicos en roca dura.

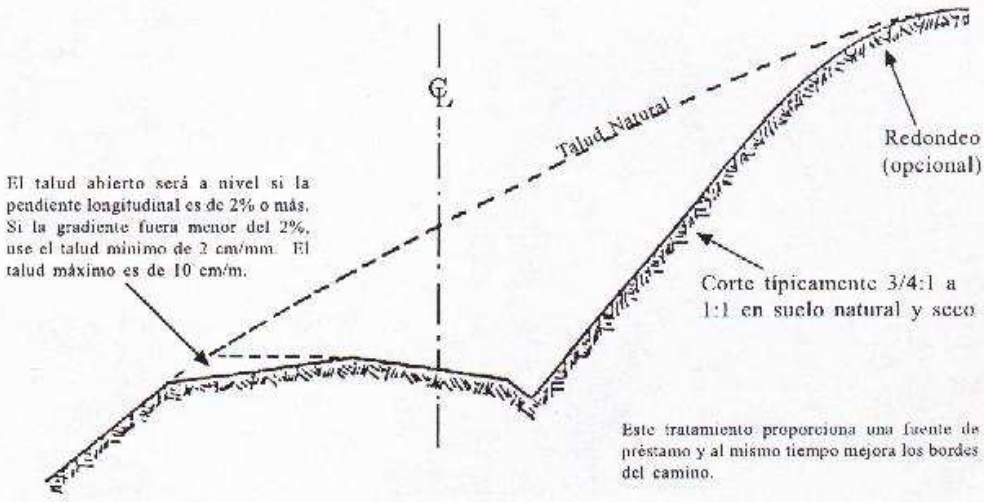


Gráfica B - Escalonamiento en un talud de roca dura..

Figura 10.1.2. Soluciones para cortes en roca dura y fracturada.

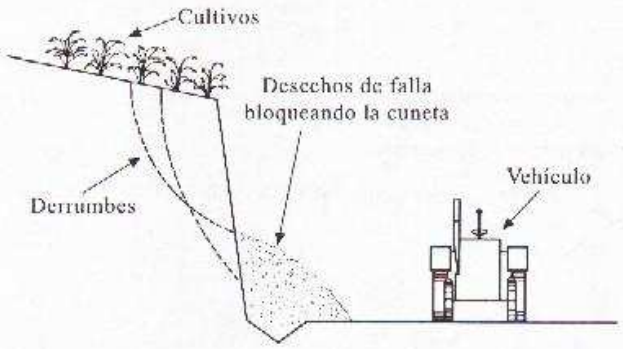


Gráfica A - Cortes típicos en laderas.



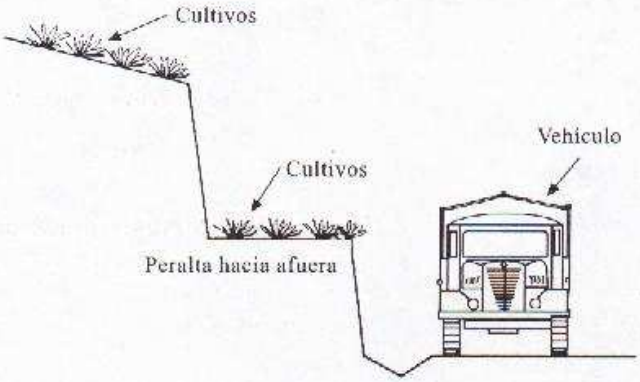
Gráfica B - Corte típico en cajón con un lado "abierto".

Figura 10.1.3. Cortes típicos en taludes de suelo.



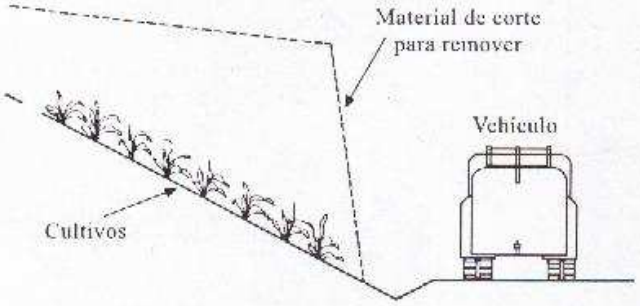
Cortes verticales pueden fallar si los taludes son demasiados inclinados y altos (> 2 a 4 metros).

Gráfica A - Cortes verticales que son demasiados inclinados e inestables.



Deben partir el talud en dos o más partes y construir terrazas; cortes con menos pendientes son más estables.

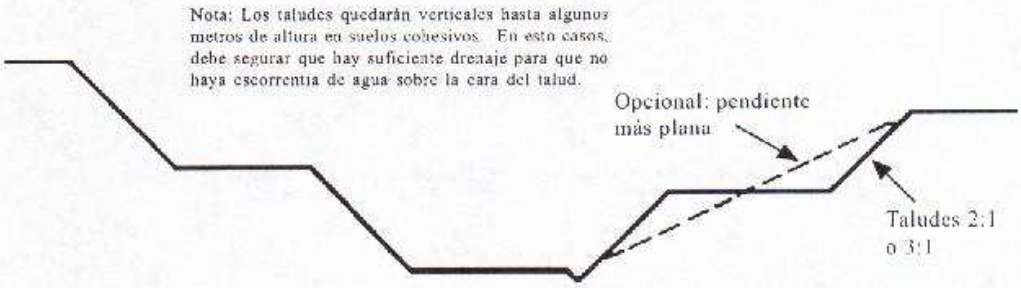
Gráfica B - Corte vertical partido en la mitad y la formación de terrazas.



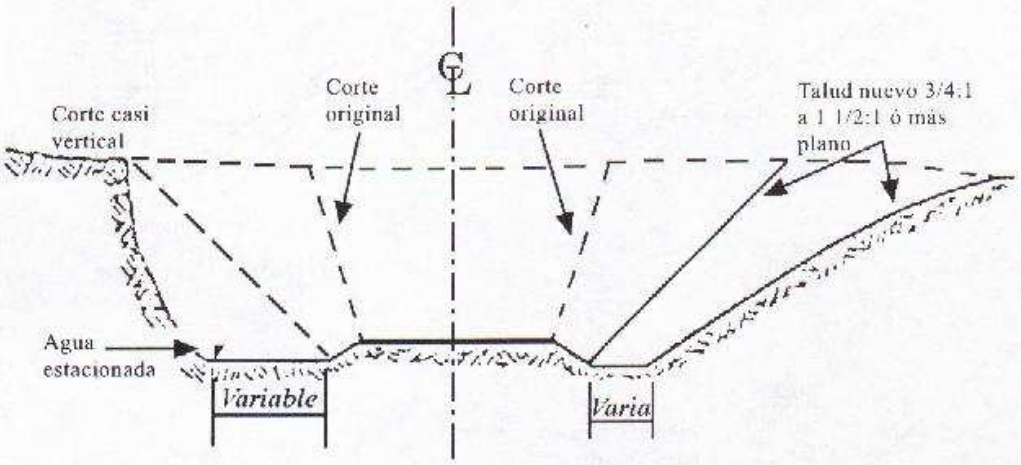
Un corte 3/4:1 o 1:1 debe ser estable; cortes más plano puede ser sembrado con cultivos u otra vegetación como gramíneas.

Gráfica C - Corte con inclinación menos que vertical.

Figura 10.1.4. Problemas y soluciones en cortes verticales.



Gráfica A - Escalonamiento en suelos cohesivos.



INCORRECTO

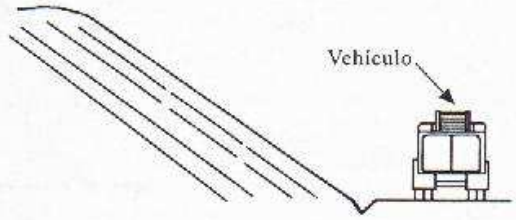
Permitir al contratista socavar demasiado los taludes para préstamo, es conveniente para él pero no mejora el borde del camino y origina una inconveniente excavación y erosión del talud. El material erosionado obstruye las cunetas y alcantarillas de la carretera.

CORRECTO

La vegetación de protección se establece por si sola en los taludes de 1 1/2:1 ó menos. Los taludes de préstamo deberán ser estacados antes de la excavación y luego ser acabados y redondeados como cualquier otro talud de corte. Se dejará la base plana del corte ensanchado, de modo que pueda drenar y ser chapeado con máquina.

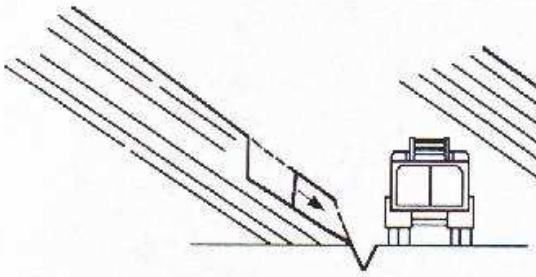
Gráfica B - Ensanche de cortes para préstamos.

Figura 10.1.5. Aplicaciones especiales en cortes.



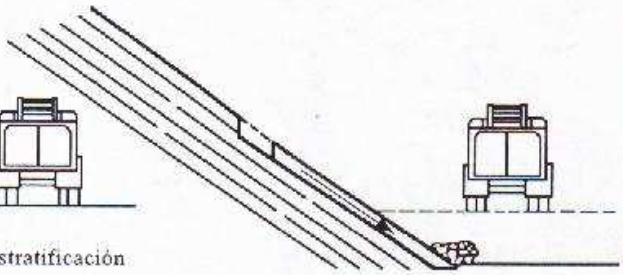
Corte en lecho de roca con estratificación inclinado paralelo a ángulo de corte

Gráfica A.



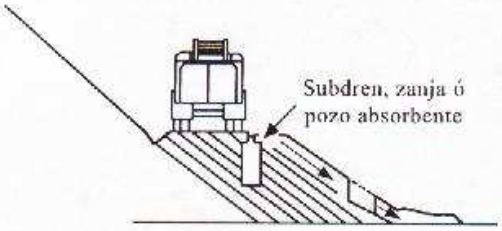
Escarpando al corte, socavando la estratificación

Gráfica B.



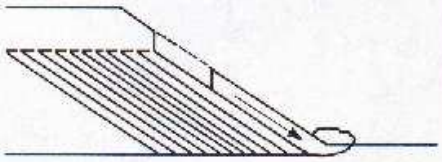
Aumentando altura de corte (bajando al camino)

Gráfica C.



Saturando (con agua) la subrasante (o relleno)

Gráfica D.



Poniendo una sobre carga o peso extra en el talud (subiendo el camino)

Gráfica E.

Figura 10.1.6. Acciones que pueden hacer un corte inestable (en lecho de roca estratificada).

Fuente: Adaptado de Leighton, 1966.

Tabla 10.1.1. Pendientes típicas de cortes en roca madre.

	Descripción	Rango Máximo de Pendiente Masiva		Fracturada
1.	Ígnea			
	Granito, basalt, tufa volcánica soldada y ceniza y piraclásticas cementada	1/4:1	a	1/2:1
2.	Sedimentaria			
	Arenisca y caliza masiva,	1/4:1		1/2:1
	Roca arcillosa y roca limosa masiva	3/4:1		1:1
3.	Metamórfica			
	Gneis, esquisto y mármol	1/4:1		1/2:1
	Pizarra	1/2:1		3/4:1
4.	Roca intemperizada o serpentina	3/4:1		1:1
5.	Granito descompuesto in situé, ligeramente a moderadamente intemperizado	1/4:1		1:1

NOTAS

Roca no intemperizada- La estabilidad de las pendientes de cortes en roca madre depende del tipo de material, el ángulo del buzamiento, las juntas, las fracturas o fallas de la masa rocosa hacia el corte propuesto, tipo y condición del material en las grietas, y la intemperización del material recién expuesto. Si estos planos de debilidad se inclinan mas de 45° hacia la excavación, entonces la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de estos planos es un factor critico, tal como el ángulo del corte es igual al del buzamiento.

Se recomienda consultar un ingeniero geotécnico para una investigación especial cuando el buzamiento excede los 45° hacia la excavación o si el punto de contacto entre la capas contiene material plástico o arcilloso.

Las situaciones donde se encuentra roca agrietada con planos de debilidad bien definidos, cortes altos (>10 m) deben ser evaluadas por un ingeniero geólogo, posiblemente utilizando un "análisis de estabilidad steronet" para taludes en roca. Se debe evaluar la experiencia local con cortes en roca similar si existiera.

Fuente: Adaptado de USDA-Forest Service, Transportation Engineering Handbook, R-6-Supp. 19.

Tabla 10.1.2. Pendientes típicas de cortes en suelos (cortes hasta 10-15 m de altura).

Suelo #	Descripción USC	Nivel de Agua Freática Bajo (debajo de la excavación)		Nivel de Agua Freática Alta, Filtración o Áreas Inestable	
		suelto[2]	compactado[2]	suelto[2]	compactado[3]
1.	Grava arenosa (GW, GP)	1½:1	¾:1	3:1	1¾:1
2.	Arena, granos angulares bien graduadas (SW)	1¾:1	1:1	3:1	2:1
3.	Grava limosa (GM); arena uniforme (SP)	2:1	1½:1	4:1	3:1
4.	Arena limosa (SM); Arena arcillosa (SC)	1:1	¾:1	3:1	2½:1
5.	Arcilla con P.I. bajo (CL), a 3 m de altura	¾:1	¼:1	3:1	2½:1
6.	Limo arcillo arenoso (ML), a 15 m de altura	1:1	¾:1	4:1	3:1

[1] Basado en la densidad de material saturado de 125 pcf. Pendientes más planas deberán usarse para los materiales con una densidad más baja y las pendientes más empinadas con material con más alta densidad. Por cada cambio de 5% en la densidad, modifique la relación por aproximadamente 5%.

[2] Aproximadamente 85% de la densidad máxima relativo a AASHO T-99.

[3] Aproximadamente 100% de la densidad máxima relativo a AASHO T-99.

NOTAS:

- La mayoría de los suelos desaguados en taludes aguantarán temporalmente un corte vertical hasta una altura de 2-3 metros.
- Los valores reflejados en esta tabla son aproximaciones y se pueden variar dependiendo de las condiciones locales y del tipo de suelo. Se debe considerar la experiencia local para una pendiente estable. Para los cortes altos (>10-15 m) y las aplicaciones importantes, un ingeniero geotécnico o geológo experimentado debe hacer una evaluación o análisis específica de la estabilidad del talud.

Fuente: Adaptado de USDA-Forest Service, Transportation Engineering Handbook, R-6-Supp. 19

Tabla 10.1.3. Cortes en granito descompuesto.

Pendiente Natural (%)	Inclinación de Corte (%)	Profundidad (P[1]) (m)	Altura (A[2]) (m)
70%	1/2:1	2	3[3]
70%	3/4:1	4	8
70%	1:1	5	15
70%	1 1/2:1	6	45
60%	1/2:1	2	3
60%	3/4:1	4	8
60%	1:1	6	16
50%	1/2:1	2	3
50%	3/4:1	5	8
50%	1:1	9	18

Ejemplo: En una pendiente de una ladera de 60% (31°) se utiliza un corte de 3/4:1 cuando el suelo encima del lecho rocoso tiene una profundidad de 2-4 metros. La inclinación de cortes más profundos debe ser de 1:1 ó menos.

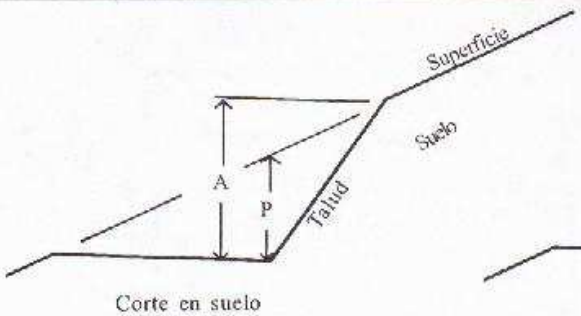
NOTAS:

- Estos valores son aproximados para la mayoría de los suelos de granito grueso (Saprolítico) in situ, asumiendo que no hay filtración ni discontinuidades.
- Estas recomendaciones son basadas en análisis de estabilidad de taludes con los siguientes parámetros para suelos desaguados: ϕ(Phi) = 40°; Cohesión (c) = 125 pcf.; Densidad húmeda = 125 pcf.
- Se asume que el manto acuífero está muy debajo de la superficie del suelo. Se utiliza "el método de análisis de cuña deslizante", y la altura del corte recomendado refleja un Factor de Seguridad de 1.2.

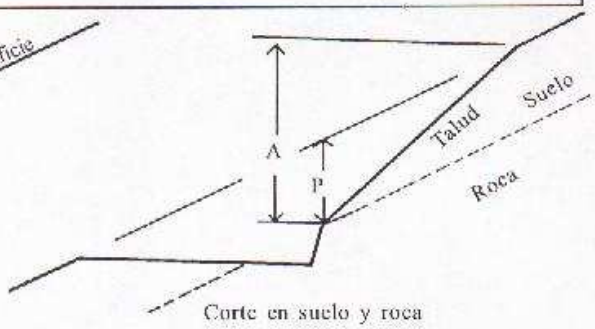
[1] Profundidad (P) es la profundidad vertical debajo de la superficie del suelo. Esta profundidad refiere solamente al material cuyas propiedades se describen arriba. En muchos casos la profundidad máxima considerada será hasta topar con el lecho rocoso (ver las figuras abajo).

[2] Altura (A) es la altura vertical desde la profundidad correspondiente hasta donde el corte sale a la luz de la ladera natural.

[3] Cortes más empinados y más altos de lo indicado es posible donde se encuentran suelos in situé más resistentes y menos intemperizados.



Corte en suelo



Corte en suelo y roca

SECCIÓN 10.2.
TALUDES DE RELLENOS

La construcción de rellenos es generalmente una parte rutinaria del movimiento de tierra en un proyecto de construcción. El uso de material de una calidad razonable, buen control de compactación y los ángulos estándares recomendados para taludes de rellenos producirán generalmente una estructura estable. El ángulo de inclinación para la mayoría de materiales utilizados para construir taludes de rellenos estables es de 1 1/2:1 (H:V). Los rellenos de roca pueden ser estables sobre inclinaciones con un ángulo hasta 1 1/3:1. Para lograr una buena estabilización vegetal en una ladera, los rellenos deben ser de un 2:1 o con una ladera más plana, especialmente para taludes menos de 3 metros de alto. La Tabla 10.2.1 presenta los ángulos recomendados para taludes de relleno de diversos materiales.

La Figura 10.2.1 muestra la construcción de un relleno típico sobre una ladera, con una inclinación estándar de 1 1/2:1, así como una sección del relleno que se está ampliando o usando como un sitio para disponer del material de exceso. Los materiales que resulten de derrumbes o de cualquier desecho que hayan sido tirados, se deben colocar, generalmente, sobre una pendiente más plana que 1 1/2:1, por ser material suelto, ya que la superficie del relleno original puede formar un plano de debilidad, a menos que se reconstruya en capas.

Los rellenos construidos con una inclinación de 1 1/2:1 son generalmente estables, sin embargo, la inestabilidad en taludes de relleno puede ocurrir por una variedad de razones, tales como las siguientes (ver Figura 10.2.2):

- Colocar material en laderas inclinadas donde se excede la resistencia interna del suelo.
- Aumentar la profundidad de un relleno puesto sobre material débil existente.
- La falta de una limpia y chapeo adecuado al terreno y no compactar el relleno suficiente para que se adhiera bien con la superficie de la tierra original.
- Compactar el relleno cuando no cuente con la humedad óptima ni la densidad máxima (o sin compactación).
- La inclinación del talud del relleno excede el ángulo de reposo del

material rocoso.

- Dejar elevar el nivel de agua freática dentro del relleno donde nace agua y no construir subdrenes apropiados en terrenos húmedos.

- La acción de agua, erosionando y/o saturando el relleno por estructuras mal construidas de drenaje, por ej., cunetas, desagües transversales o subdrenajes instalados en el relleno.

La compactación de rellenos es muy importante para reducir al mínimo la falla de rellenos, y para reducir la cantidad de material que se erosiona de la superficie de un relleno. Los rellenos idealmente deben construirse en capas, y si se utilizan vehículos para transportar y colocar material de relleno, se puede aprovechar el tránsito de la maquinaria para compactar las capas. Sin embargo, si no se utiliza maquinaria, las capas de material son colocadas horizontalmente y de hecho reducen al mínimo la probabilidad de inestabilidad. Los rellenos con desechos que han sido arrojados a un lado se hacen con material suelto y "el plano" entre las cargas de material puede ser en el "ángulo de reposo". Los rellenos estructurales deben construirse en capas con algún grado de control o especificaciones de compactación, tal como una norma de compactación de 90% de AASHTO T-99 densidad máxima (ver Capítulo 13).

Los rellenos en laderas con una pendiente en exceso de 50-60 grados deben evitarse, porque los rellenos resultan ser muy grandes, largos y delgados. Para prevenir fallas en el fondo de rellenos, se deben formar terrazas en la ladera natural con una inclinación mayor de 15% antes de colocar el relleno (Figura 10.2.3 Gráfica A).

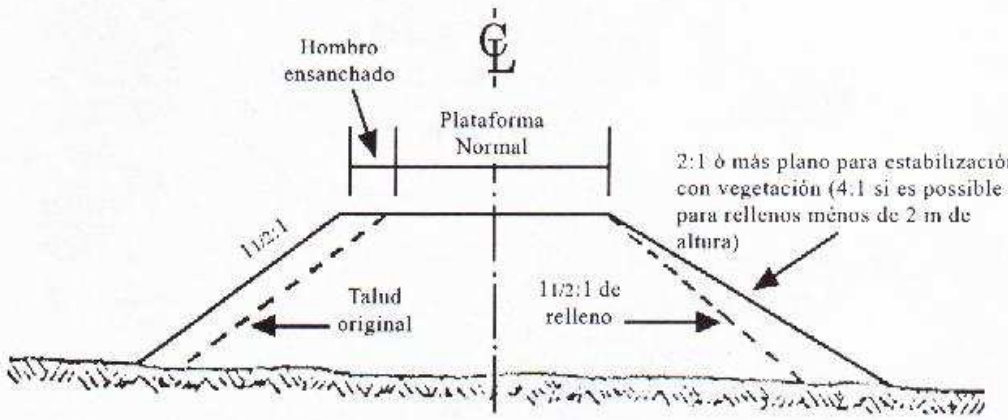
Para evitar rellenos largos y estrechos sobre pendientes muy inclinadas o para reparar las fallas de rellenos, se puede hacer rellenos reforzados con una inclinación de 1:1 y utilizar algún tipo de geotextil o georejilla, como se muestra en la Figura 10.2.3 Gráfica B. Los rellenos reforzados se construyen con el refuerzo primario puestos en intervalos de 1-1.5 metros, y un refuerzo intermedio puesto a lo largo de la cara cada 0.3 metro para prevenir asentamiento localizado. Cuando la aplicación de un relleno reforzado es factible sobre una ladera debe utilizarse porque éste ofrece una alternativa económica a estructuras de contención. Las superficie de relleno reforzado necesita paja o un maya para control de erosión.

Los rellenos que cruzan por áreas húmedas deberán ser construidos en el fondo con materiales rocosos, que ofrecen drenaje libre. También se puede usar algún sistema de drenaje interno, como una capa de filtrante, debajo del relleno

(ver Figura 10.3.4).

El material colocado en la construcción con un ángulo de reposo en la ladera tiene un Factor de Seguridad de 1.0. Cualquier formación de presión por carga de agua o una actividad sísmica puede reducir el Factor de Seguridad a menos de 1.0, causando derrumbes. Los taludes de rellenos que tienen una inclinación en exceso de 70%, o un 11/3:1, exceden el ángulo de reposo de la mayoría de los materiales. La Tabla 10.2.2 muestra valores típicos para el ángulo de reposo para materiales diversos, y los taludes construidos de estos materiales deben tener una inclinación superficial más plana que este ángulo.

La Figura 10.2.4 (así como también la Tabla 10.2.2) presenta información útil sobre una manera para estimar el ángulo de fricción interno (y resistencia) de varios tipos de suelos con diferentes clasificaciones del mismo. La Figura 10.2.5 presenta gráficamente la relación entre el por ciento, la pendiente, y la relación de la inclinación (Horizontal:Vertical), que se usan frecuentemente en la construcción, mantenimiento y reparación de taludes. Finalmente, la Figura 10.2.6 muestra gráficamente la distancia longitudinal para taludes de rellenos, usando una norma de 11/2:1, sobre inclinaciones variantes de terreno. Como mencionamos arriba, los rellenos sobre inclinaciones en exceso de 45% tienden a ser muy largos.



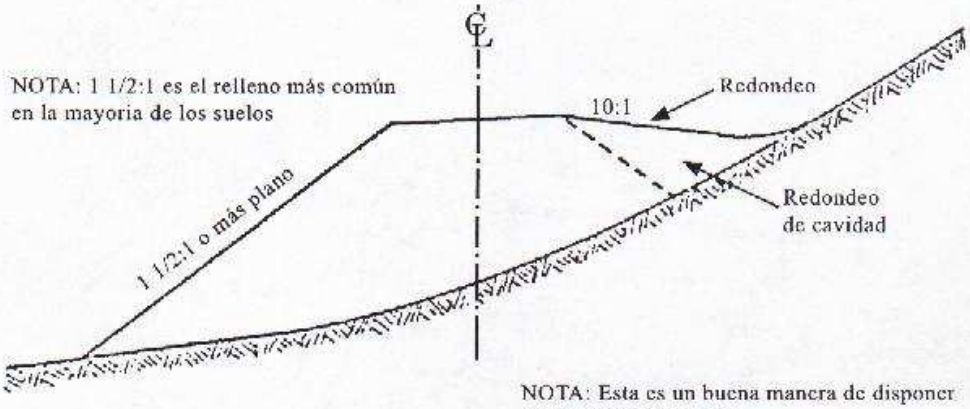
INCORRECTO

Ensanchar el hombro sin disminuir el talud crea un pandeo antiestético sin mejorar el borde del camino y hay potencial para inestabilidad.

CORRECTO

El disminuir la pendiente del talud mejora la apariencia del borde del camino y facilita la conservación, especialmente el chapeo. Los taludes planos son más seguros para el tráfico y revegetación.

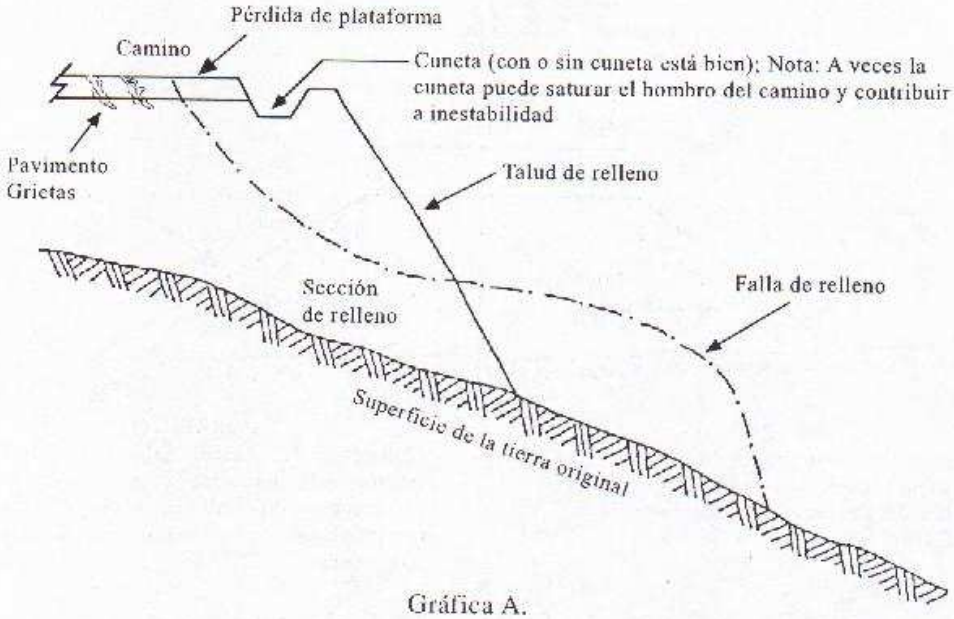
Gráfica A - Eliminación de residuos.



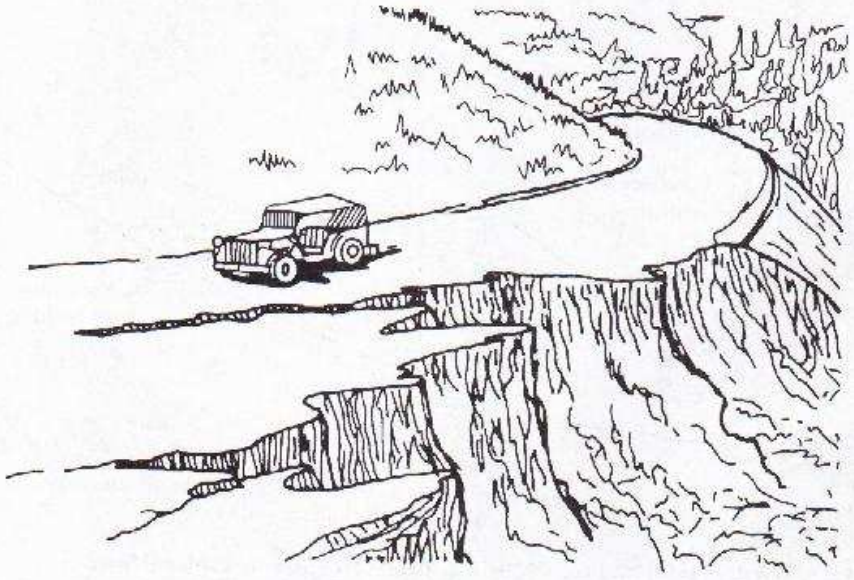
NOTA: Esta es un buena manera de disponer del material de exceso.

Gráfica B - Relleno de cavidad entre la ladera y el relleno mismo.

Figura 10.2.1. Construcción de rellenos.

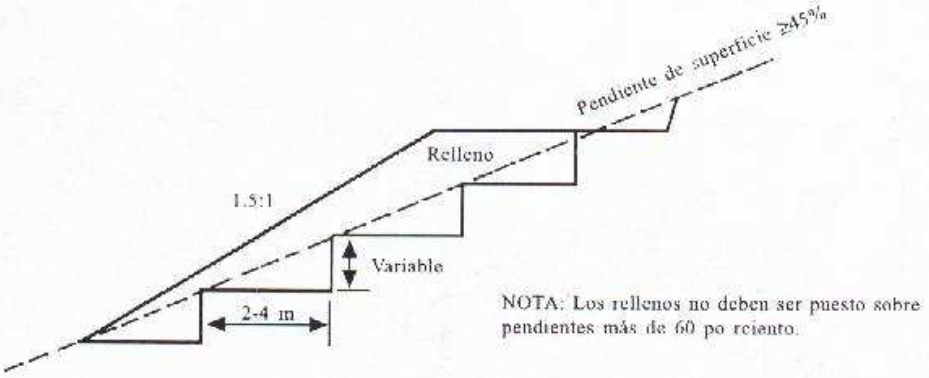


Gráfica A.

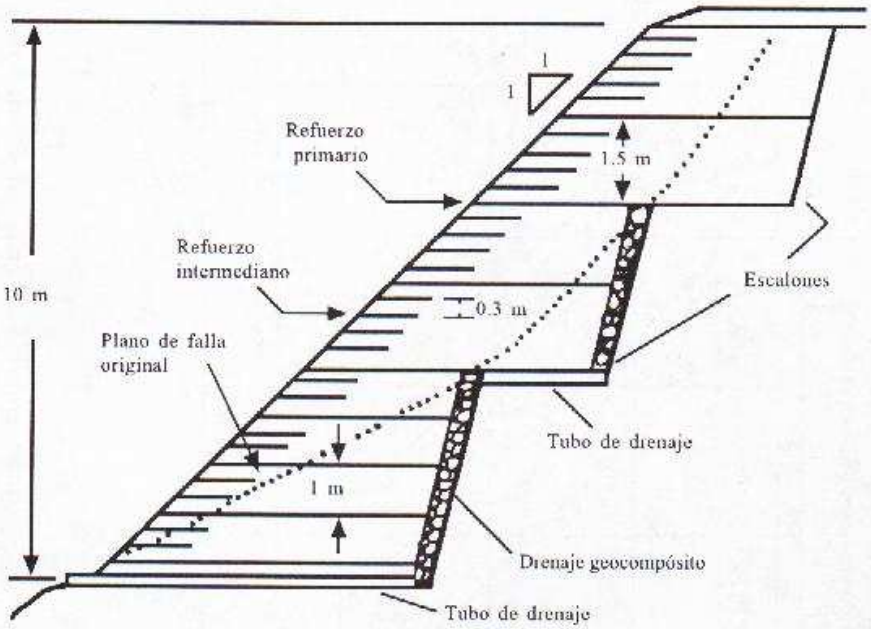


Gráfica B - Ejemplo de resultado de falla de relleno.

Figura 10.2.2. Impacto de falla de un relleno.



Gráfica A - Terrazas para previnir deslizamiento al fondo del relleno.



Gráfica B - Sección transversal de relleno reforzado usando geogrid o geotextil con terrazas excavadas y subdrenaje.

Figura 10.2.3. Rellenos sobre pendientes muy inclinadas.

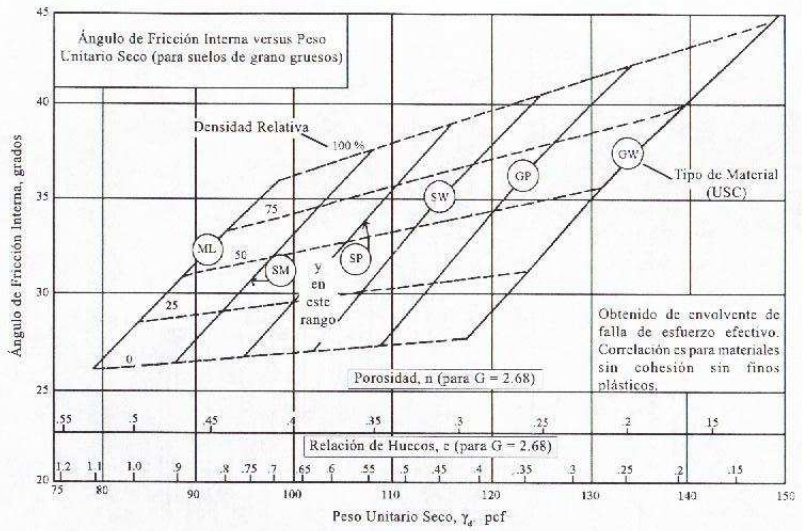
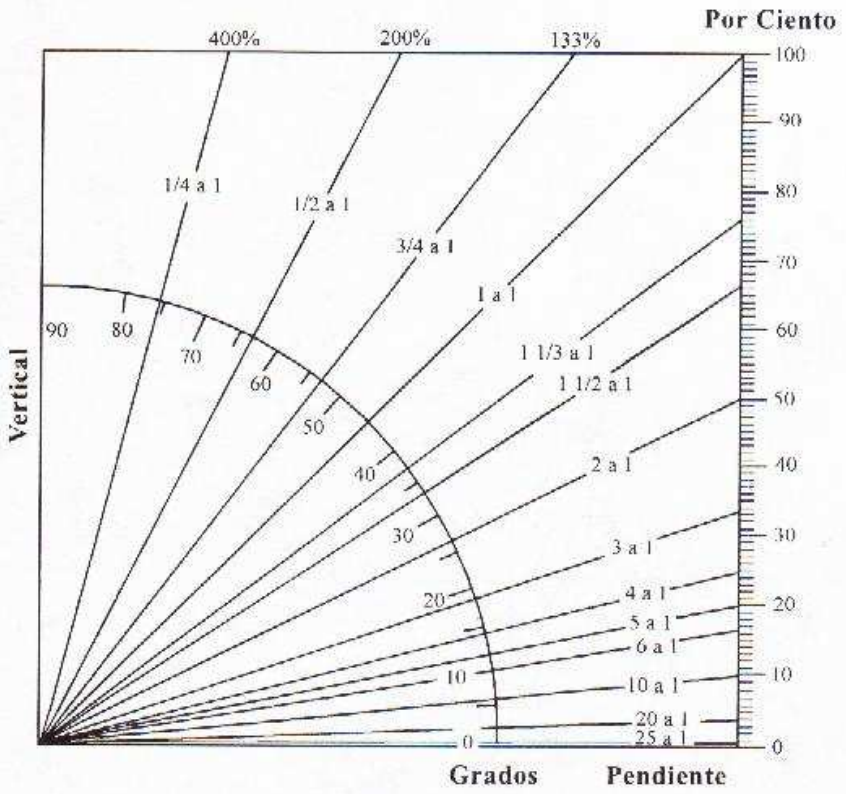


Figura 10.2.4. Gráfica para estimar ángulos de fricción de suelos.

Fuente: U.S. Navy Design Manual, 1971.



Pendiente en Grados y Por Ciento

Grados	Por Ciento	Grados	Por Ciento	Grados	Por Ciento
1	1.8	16	28.7	31	60.0
2	3.5	17	30.6	32	62.5
3	5.2	18	32.5	33	64.9
4	7.0	19	34.4	34	67.4
5	8.8	20	36.4	35	70.0
6	10.5	21	38.4	36	72.7
7	12.3	22	40.4	37	75.4
8	14.0	23	42.4	38	78.1
9	15.8	24	44.5	39	81.0
10	17.6	25	46.6	40	83.9
11	19.4	26	48.8	41	86.9
12	21.3	27	51.0	42	90.0
13	23.1	28	53.2	43	93.3
14	24.9	29	55.4	44	96.6
15	26.8	30	57.7	45	100.0

Figura 10.2.5. Cuadro comparativo de pendiente, grados, y por ciento.

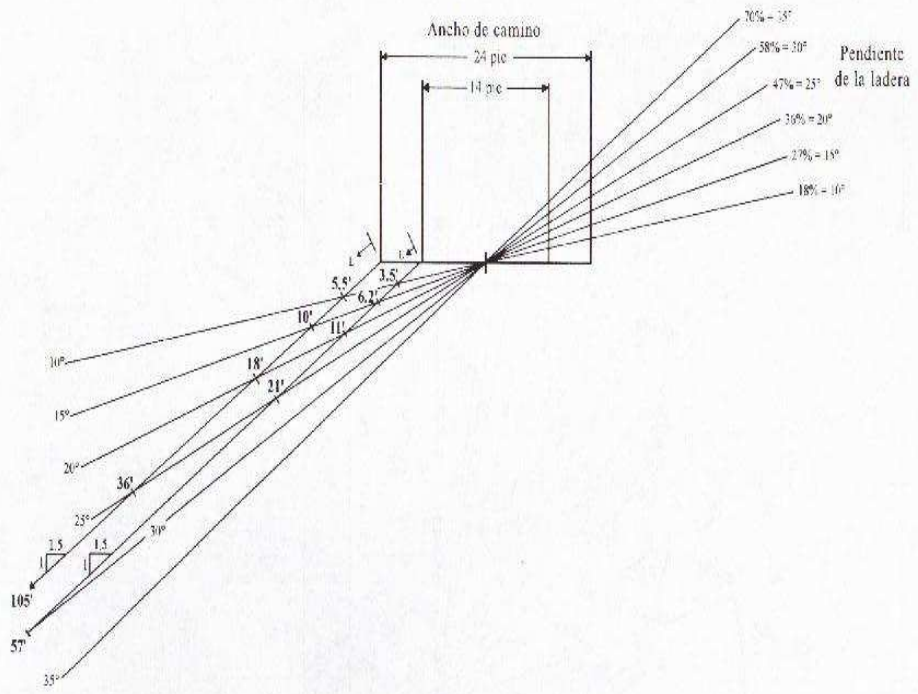


Figura 10.2.6. Distancia longitudinal para taludes de rellenos, usando rellenos 1.5:1 (en pies).

Tabla 10.2.1. Pendientes típicas de rellenos y terraplenes.

Sistema Unificado de Classificación de Suelos (USC)	Relleno & Terraplén Talud Sin Agua Subterránea	Talud Con Agua Subterránea
Roca Madre dura y angular	1.2:1	1.5:1
GW	1.3:1	1.8:1
GP, SW	1.5:1	2:1
GM, GC, SP	1.8:1	3:1
SM, SC[3]	1.75:1 ó más plano	3:1
ML, CL[3]	2:1 ó más plano	4:1
MH, CH[3]	3:1 ó más plano	4:1

NOTAS:

En ciertos casos el desplazamiento o asentamiento de los materiales de los cimientos será la consideración de diseño importante. En estos casos la pendiente del terraplén puede basarse en la Capacidad de Soporte Permisible de los materiales de los cimientos. Se deben analizar las capas blandas o de material orgánico para prevenir fallas. También se debe consultar un ingeniero geotécnico en estos casos.

[1] Porcentaje densidad mínimo recomendado para compactación es 90% AASHO T-99

[2] En taludes construidos sin control de compactación, aplastar los taludes aproximadamente 25%

[3] Para estos tipos de suelos la pendiente debe ser más plano que 1.5:1. Para rellenos altos debe hacerse un análisis de estabilidad.

[4] Para los propósitos de revegetación y control de erosión, utilizar una pendiente de relleno de 2:1 o más plana.

Fuente: Adaptado de USDA-Forest Service, Transportation Engineering Handbook, R-6-Supp. 19

Tabla 10.2.2. Ángulo de Fricción de los suelos para diseño preliminar.

Clasificación	Pendiente Ángulo de Reposo		Fuerza Última (deformación larga)		Fuerza Pico (deformación pequeña)			
					denso mediano		muy denso	
	i(°)	Pendiente (H hasta V)	ϕ_{cv}(°)	$\tan\phi_{cv}$	ϕ(°)	$\tan\phi$	ϕ(°)	$\tan\phi$
Limo sin plasticidad	26 a 30	2:1 a 1.75:1	26 a 30	0.488 a 0.577	28 a 32	0.532 a 0.625	30 a 34	0.577 a 0.675
Arena uniforme, fina hasta tamaño medio	26 a 30	2:1 a 1.75:1	26 a 30	0.488 a 0.577	30 a 34	0.577 a 0.675	32 a 36	0.675 a 0.726
Arena bien graduada	30 a 34	1.75:1 a 1.50:1	30 a 34	0.577 a 0.675	34 a 40	0.675 a 0.839	38 a 46	0.839 a 1.030
Arena y grava	32 a 36	1.60:1 a 1.40:1	32 a 36	0.625 a 0.726	36 a 42	0.726 a 0.900	40 a 48	0.900 a 1.110

Notas:
Tangente ϕ x 100 = Porcentaje (%) Pendiente

30^0 = 58% = 1.75:1 37^0 = 75% = 1.33:1
34^0 = 67% = 1.50:1 45^0 = 100% = 1.00:1

Fuente: Hough, 1957.

SECCIÓN 10.3.
MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Las fallas de cortes de laderas o rellenos pueden ser corregidas, controladas, o toleradas con una combinación de cualquiera de las cuatro medidas principales que son: evitar, mantener, o reubicar el camino; cortar (reconformar) o nivelar; instalar drenajes; o estabilizar con estructuras o vegetación. Royster, 1982, presenta información útil de diferent métodos de estabilización, ver la referencia citad en la bibliografia para más información. Las medidas a tomar dependen principalmente del costo, sin embargo, hay otros factores que determinan el método que se utiliza, tales como, el tipo de falla, el uso del camino, la ubicación de la falla, el potencial de crecimiento de la misma, etc. Existe también un número de niveles de eficacia y aceptabilidad que pueden ser aplicados en el uso de estas medidas.

A veces se requieren unas medidas de corrección inmediatas que son proyectos de largo plazo y a veces solamente se requiere un control mínimo que se puede terminar rápidamente. Cualquiera de las medidas que se elija o el nivel de eficacia requerida, el Ingeniero Geólogo o Geotécnico debe considerar cómo se puede prevenir o corregir el problema en la primera oportunidad.

Las áreas donde se han tomado medidas para prevenir deslizamientos o las construcciones con diseños para prevenir derrumbes mayores tienen un costo más efectivo. A veces el costo de la reubicación de un camino resulta más bajo que las medidas de prevención para corregir los problemas existentes, porque muchas veces se requiere de múltiples medidas para estabilizar el sitio. Por ejemplo, el estabilización una falla de relleno puede involucrar nivelación y mantenimiento de la plataforma del camino, sellando las grietas y bajando el nivel del camino a un área de deslizamiento para reducir el peso sobre la cabeza de la falla y drenar el agua del sitio.

La estabilización de taludes con vegetación o con "métodos biotécnicos" son muy recomendadas en los proyectos de reparación de caminos rurales por su efectividad y bajo costo. Las ventajas del uso de estos métodos para estabilizar taludes son: bajos costos iniciales, requiere mucha mano de obra, que sea visualmente agradable, utiliza sistemas naturales y biológicos, y requiere menos mantenimiento a largo plazo. Los métodos biotécnicos pueden ser utilizados conjuntamente con otros métodos físicos, tales como contrafuertes de

roca o gaviones, rellenos y taludes reforzados, etc. Estos métodos son tratados con más detalle en el Capítulo 11.

Mientras se recomienda el uso de métodos de estabilización vegetativa en la mayoría de proyectos, se debe reconocer las limitaciones. Las medidas vegetativas o biotécnicas son apropiadas para el control de erosión superficial y en los casos de fallas poca profundo, tales como, deslizamientos translacionales de detritos. No se debe utilizar solamente métodos vegetativos para estabilizar los deslizamientos amplios y profundos, sino conjuntamente con medidas físicas. De preferencia se debe utilizar las especies de arbustos y árboles que echan raíces profundas en vez de gramíneas para estabilizar taludes. La colocación de material vivo y desechos vegetales en el pie de un talud o relleno ayudará a controlar erosión y atrapar sedimento.

Se utilizan los métodos de estabilización de taludes para reparar los caminos en el caso de derrumbes, asegurar las áreas debajo de taludes, o prevenir fallas. Las opciones para resolver problemas de inestabilidad de taludes son las siguientes:

- Darle más mantenimiento a los caminos para la seguridad de los transeúntes.
- Sólo remover el material derrumbado sin hacer reparaciones.
- Reubicar el camino para evitar problemas en el futuro.
- Aplastar o reconstruir el relleno con un ángulo estable. La Figura 10.3.1 Gráfica A muestra una falla de relleno típica de una plataforma, y la B un talud reconstruido con una pendiente más plana y estable. Normalmente se instala un drenaje también.
- Ajustar la plataforma subiendo el nivel del camino para reducir al mínimo la altura del talud, o bajándolo para remover material de la cabeza del relleno, (Figura 10.3.2) que reducirá el peso del deslizamiento y mejorará la estabilidad del talud.
- Aplastar el talud o modificar el corte con ángulo estable (Figura 10.3.3 Gráfica A).
- Usar una combinación de métodos; modificando el talud, bajando el camino, removiendo el material caído, y agregando estructuras de contención (Figura 10.3.3 Gráfica B).
- Instalar subdrenes longitudinal de zanja, o colocar una capa de drenaje debajo del relleno para evitar que el agua subterránea

sature el mismo (ver Figura 10.3.4).

- Instalar drenaje interno tales como subdrenes de penetración transversal (subdrenes horizontales) para interceptar el agua antes de que llegue a la cara del talud (ver Figura 10.3.5). La Gráfica muestra el cambio de dirección ideal del flujo del agua subterránea y las fuerzas de filtración causadas por el corte; los cambios en el flujo del agua subterránea que puede causar inestabilidad; y el uso de subdrenes horizontales para mejorar la estabilidad del corte y prevenir que el agua llegue a la cara del talud. Se usa subdrenes individuales o multiples, frcuentamente en un areglo de abonico (Figura 10.3 Gráfica E).

- Usar diques verticales de alambre soldado (gaviones) o trinchera recortada, reforzados sobre rocas grandes para contener la ladera y cambiar la dirección del plano de falla para el interior del talud.

- Instalar estructuras de contención tales como contrafuertes, muros de contención, gaviones, y contrapesos de roca para estabilizar los cortes (Figura 10.3.6). Se puede utilizar estructuras parecidas para la estabilización de otros tipos de deslizamientos, incluyendo fallas de relleno e instalando alguna forma de subdrenaje (Figura 10.3.7).

- Utilizar gaviones como estructuras de contención para la estabilización de deslizamientos y las superficies de taludes, protegiéndolas de las fuerzas de erosión y desmoronación. Esta técnica es la indicada en los ámbitos ribereños porque el material es duradero y disponible localmente, y se drena libremente (Figura 10.3.8).

- Utilizar rellenos reforzados (con capas de geotextil o georejilla) para brindar estabilidad al talud, levantándolo con una inclinación de 1:1 (Figura 10.2.3).

- Utilizar anclajes de roca o suelo para estabilizar zonas de material.

- Instalar rocas o pilares sujetados para sostener los bloques o zonas rocosas.

- Utilizar métodos de estabilización y control de erosión biotécnicos, o una combinación de estructuras físicas con vegetación. La Figura 10.3.9 muestra el uso de vegetación con los sistemas radiculares estabilizando la superficie de un talud. La Figura 10.3.10 presenta otra alternativa, con el uso de capas de ramas donde se siembran las ramas en la cara del talud para estabilizarlo físicamente. Las capas de ramas se pueden sembrar superficialmente o más profundo dependiendo de las circunstancias, y puede utilizarse en conjunto con otros tipos de refuerzo tal como georejilla.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad de taludes se basa en la experiencia local, examinando los taludes existentes de ciertos materiales con un ángulo de ladera particular y de una altura estable. Las zonas de inestabilidad locales deben ser evaluadas independientemente.

El análisis de estabilidad de laderas específicas o de derrumbes mayores debe involucrar una investigación geotécnica para poder conocer la situación geológica del sitio, las propiedades de los materiales, el factor de seguridad de la talud, y el factor de seguridad propuesto con las medidas de estabilización. Las investigaciones involucran los siguientes factores:

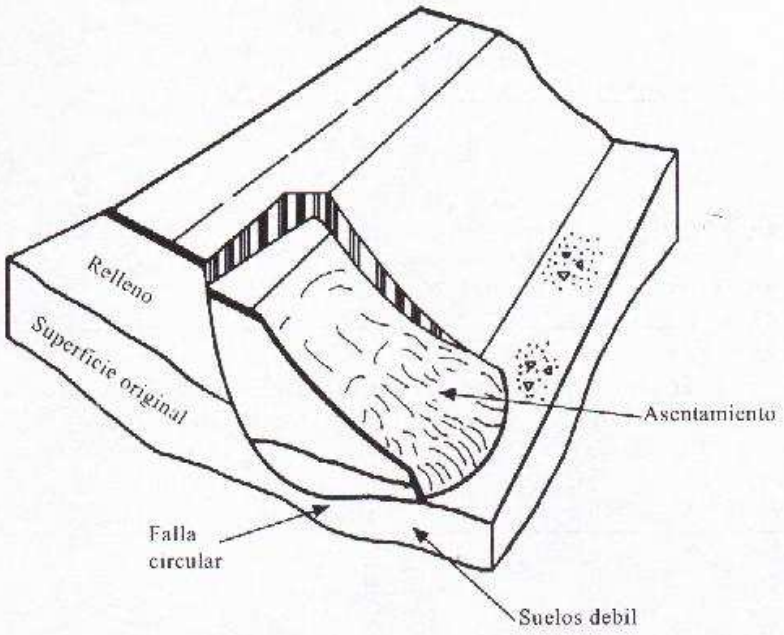
- Determinación de las condiciones del subsuelo a través de excavaciones o perforaciones exploratorias.
- Pruebas de laboratorio de materiales del sitio o del derrumbe para determinar sus propiedades mecánicas, particularmente el fuerza del suelo (åangulo de fricción y cohesión) y peso unitario.
- Programa de monitoreo para determinar el movimiento del derrumbe y los niveles del agua subterránea y la presión hidrostática.
- Análisis del "Equilibrio Límite" para determinar la relación entre las fuerzas de conducción (movimiento) y las fuerzas de resistencia. Una vez se haya analizado el derrumbe, las medidas de estabilización podrán ser evaluadas.

El análisis de estabilidad es algo complejo y fuera del alcance de este manual. Existen varios métodos utilizando diferentes supuestos de fuerzas en el suelo, fuerza de agua subterránea, etc.; otras técnicas convencionales como el análisis del equilibrio límite, y unas más complejas que usan métodos como el análisis de elementos finitos. También hay programas para computadoras que pueden hacer los cálculos numéricos para analizar un deslizamiento. Se recomienda que un Ingeniero Geólogo o Geotécnico con experiencia en este campo y con conocimiento de las condiciones geológicas y de los suelos se haga cargo de estos análisis

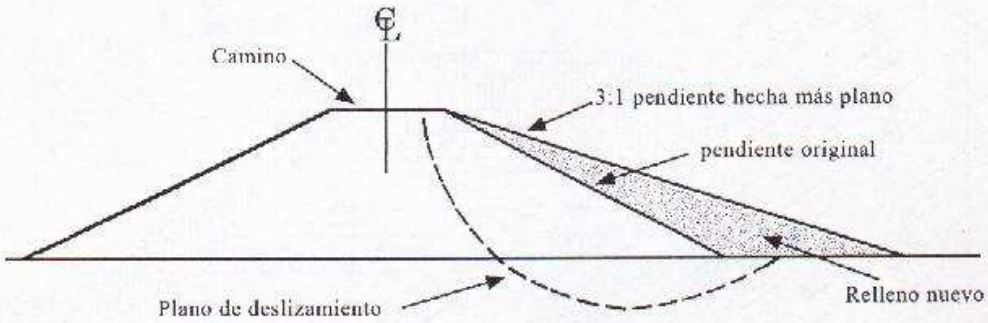
Un análisis de estabilidad puede hacerse con las tablas de estabilidad de taludes. Estas tablas han sido elaboradas con base en análisis hechos utilizando parámetros ya establecidos incluyendo: ángulo de inclinación, altura del talud; los valores determinados de las propiedades de suelos, incluyendo

peso unitario, cohesión, ángulo de fricción; ubicación de agua subterránea. También es necesario determinar el Factor de Seguridad de la pendiente existente y/o propuesta. Se puede conseguir información útil para el análisis de la estabilidad de los taludes en varios manuales publicados por el USDA-Forest Service, Federal Highway Administration, y libros de texto (ver la referencia en la Bibliografía).

Un método empírico para evaluar la estabilidad de taludes consiste en hacer una comparación del corte propuesto con las pendientes estables existentes en la zona inmediata. La Figura 10.3.11 muestra un ejemplo de una gráfica que se puede elaborar trazando la inclinación y la altura de cortes observadas en el campo con el mismo tipo de suelo y bajo las mismas condiciones. Los cortes estables e inestables se señalan con diferentes símbolos, y se establece la línea divisoria entre los dos. De esta manera se pueden definir los parámetros para estimar el ángulo y la altura de un corte estable. Las condiciones insólitas o especiales tales como zonas débiles o áreas húmedas deben evaluarse por separado.

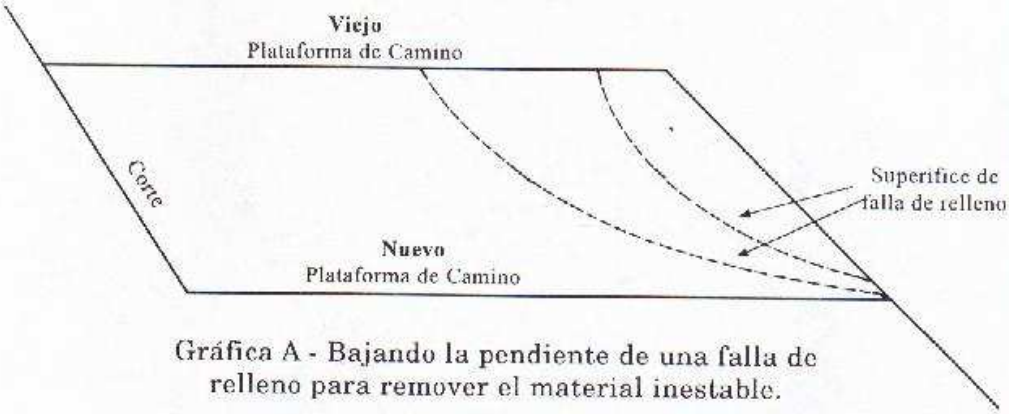


Gráfica A - Falla rotacional (derrumbe) desde profundiad amplia.

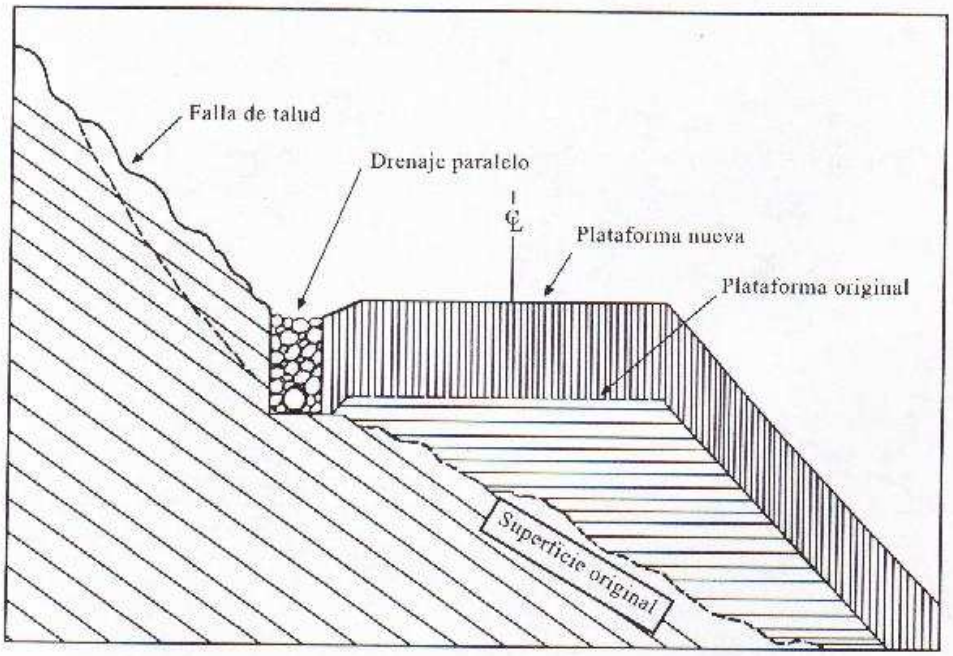


Gráfica B - Sección transversal enseñando el concepto aplastar una pendiente para establecerlo.

Figura 10.3.1. Aplastamiento y regraduación en taludes de cortes y rellenos.

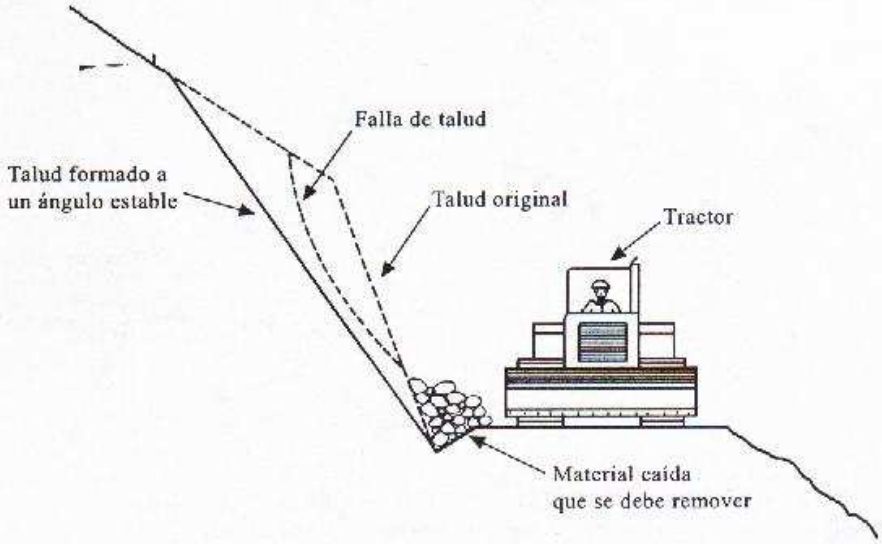


Gráfica A - Bajando la pendiente de una falla de relleno para remover el material inestable.

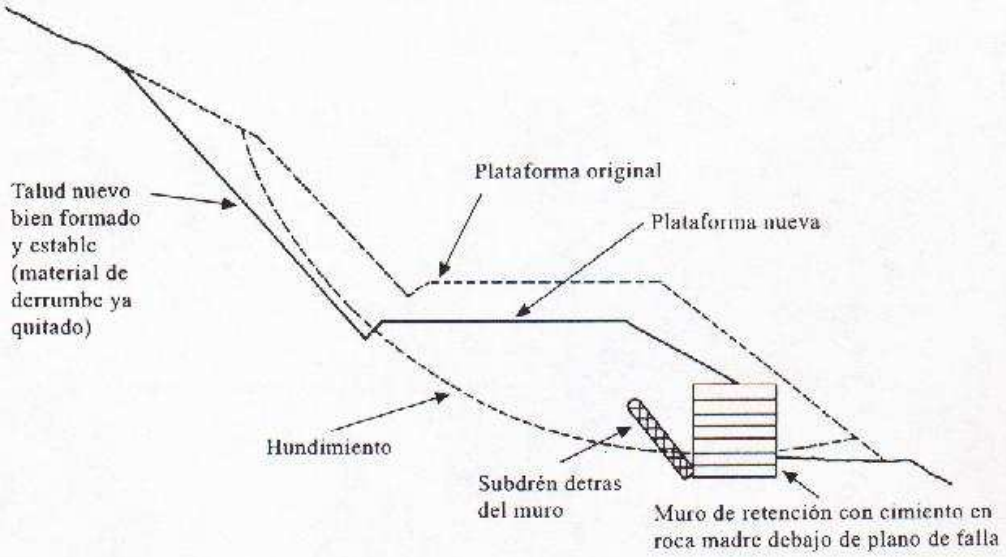


Gráfica B - Subiendo la plataforma del camino al pie de una falla de corte para mejorar el drenaje y estabilizar el talud.

Figura 10.3.2. Ajustando la plataforma de un camino para mejorar su estabilidad.

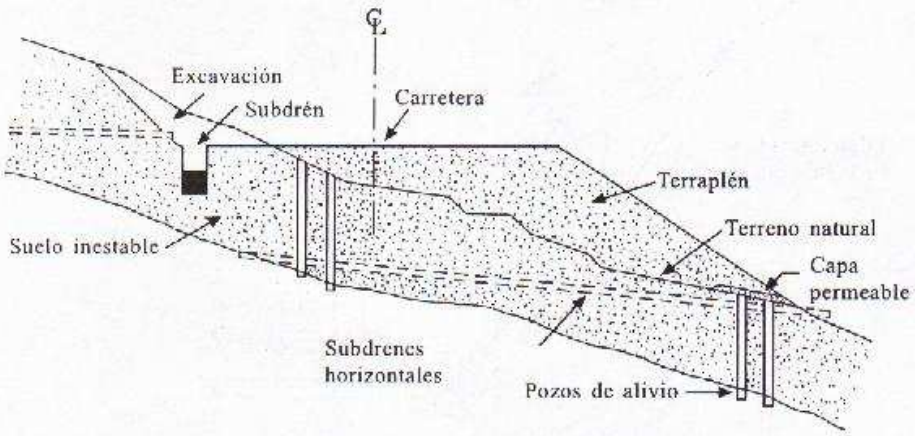


Gráfica A - Aplastando el ángulo del talud de corte.

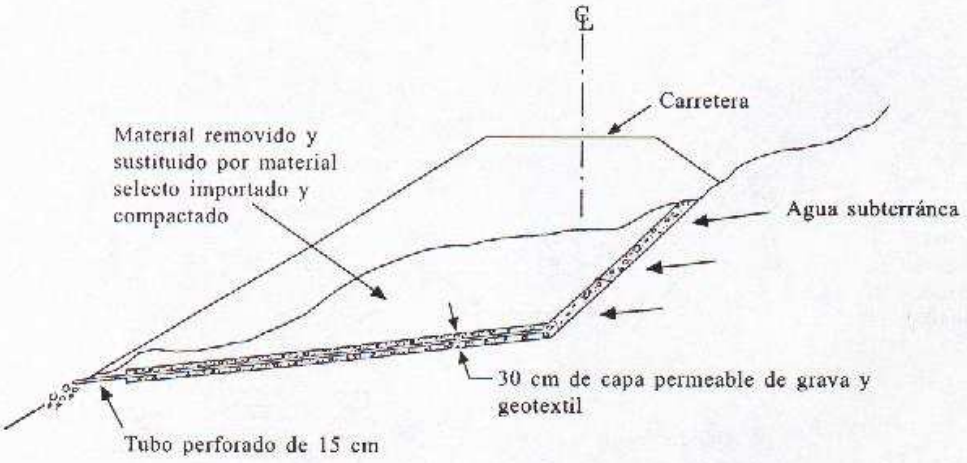


Gráfica B - Reparaciones multiples del camino- bajando la plataforma, removiendo material inestable, y construyendo muros de retención con drenajes.

Figura 10.3.3. Aplanando el talud de corte y otras reparaciones para estabilizar un derrumbe.



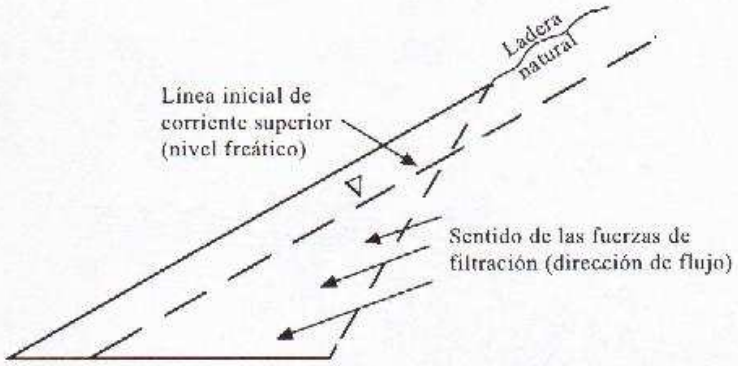
Gráfica A - Subdrenes horizontales y pozos de alivio para remover agua subterránea.



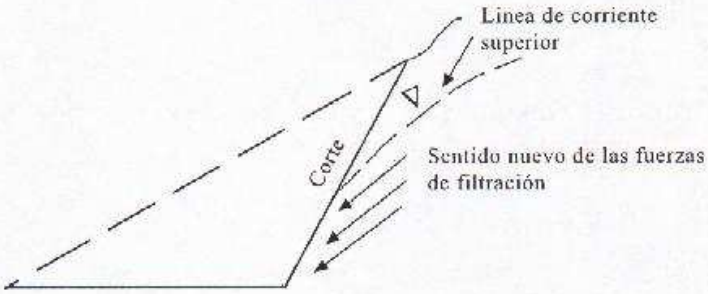
Nota: En el extremo de salida el tubo no deberá estar perforado

Gráfica B - Colocación de una capa permeable de grava (colchón filtrador) entre geotextil bajo el terraplén y remoción de material blando.

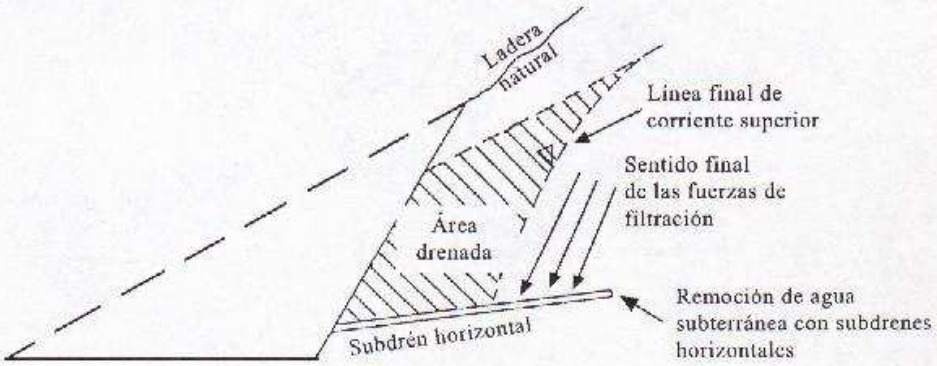
Figura 10.3.4. Opciones de subdrenaje para estabilizar los rellenos.



Gráfica A - Condición de flujo en la ladera antes de efectuar el corte.

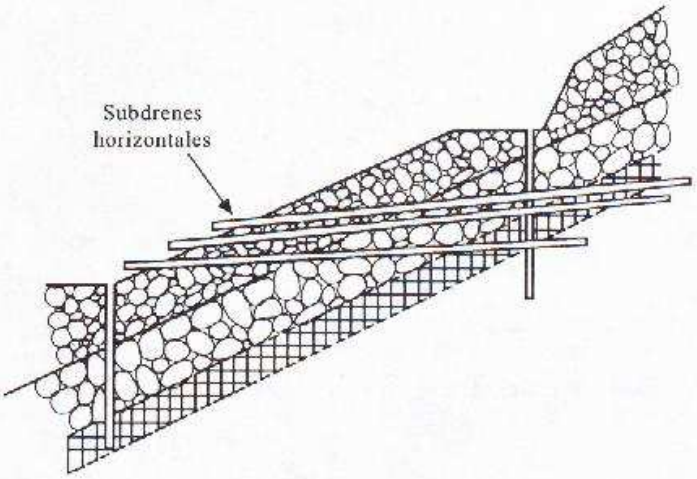


Gráfica B - Condición de flujo en la ladera después de efectuar el corte (u otra inestabilidad).

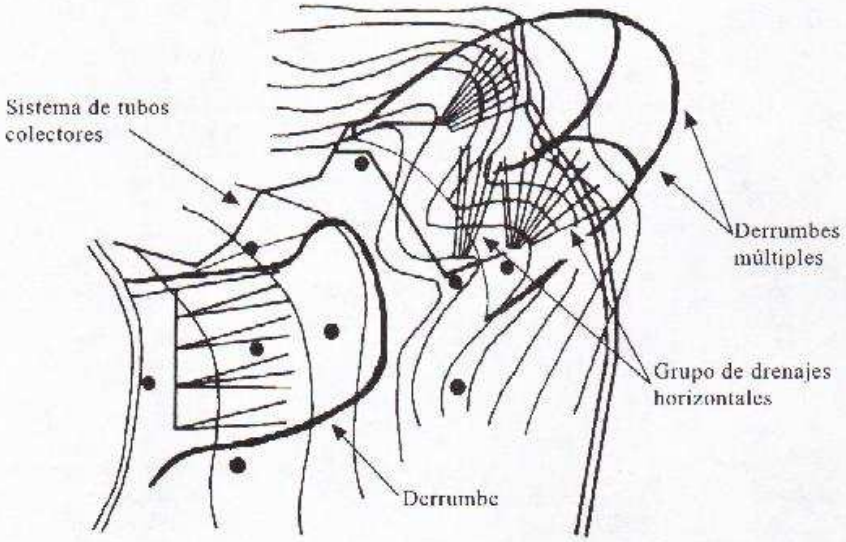


Gráfica C - Condición de flujo en la ladera después de efectuar el corte y colocar el subdrén (horizontal) de penetración transversal.

Figura 10.3.5. Uso e instalación de subdrenes horizontales para estabilización de cortes, laderas y derrumbes.

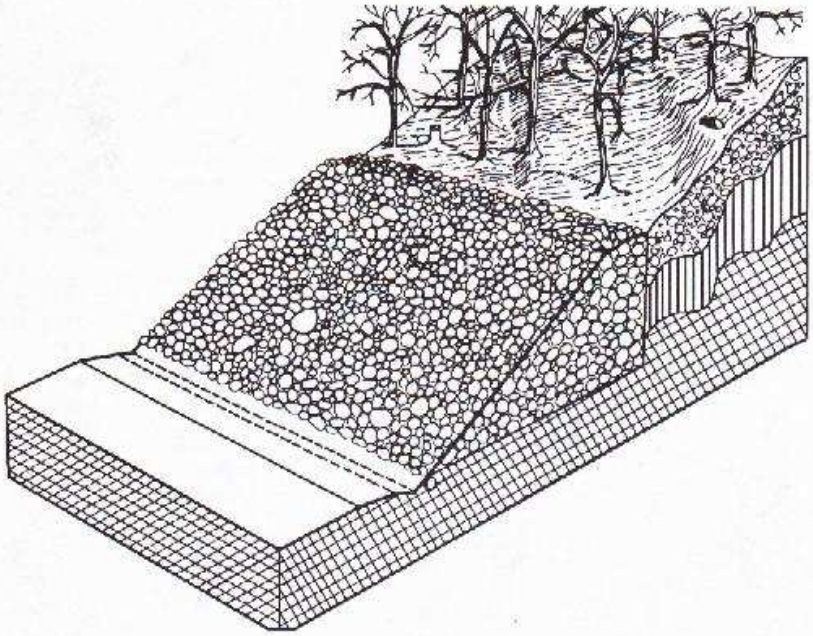


Gráfica D - Instalación de varios subdrenes horizontales en diferente estrata.

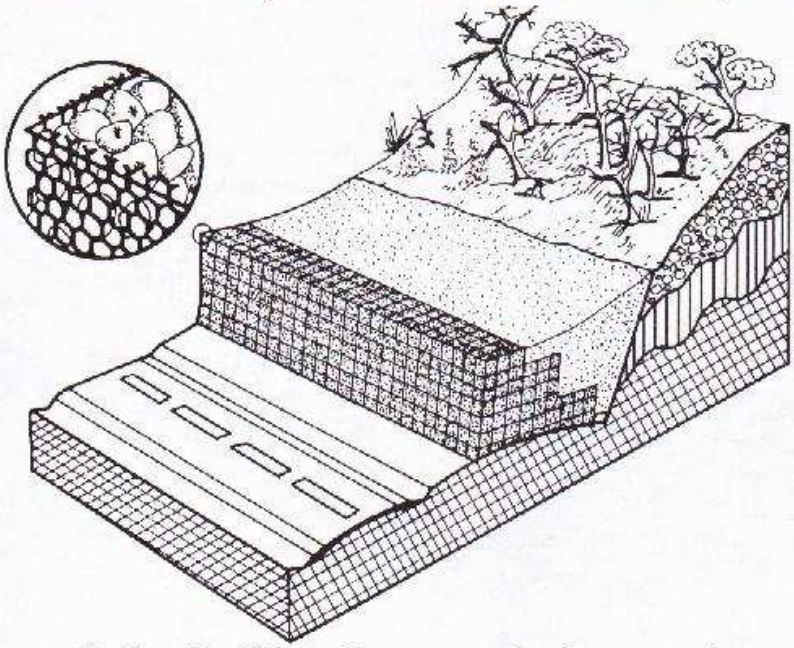


Gráfica E- Vista en planta de un grupo de subdrenes horizontales en un derrumbe complejo.

Figura 10.3.5. Uso e instalacion de subdrenes horizontales para estabilización de cortes, laderas y derrumbes (continuación).



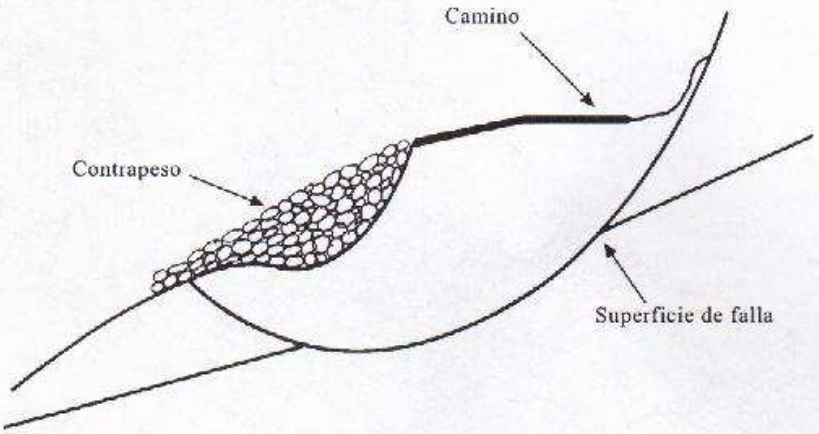
Gráfica A - Dibujo de un contrafuerte hecho con piedras.



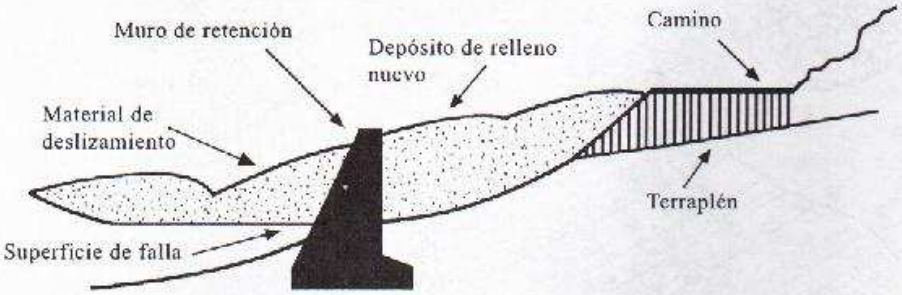
Gráfica B - Dibujo de un muro hecho con gaviones.

Figura 10.3.6. Estabilización de cortes con estructuras.

Fuente: Adaptado de Gray and Leiser, 1982.

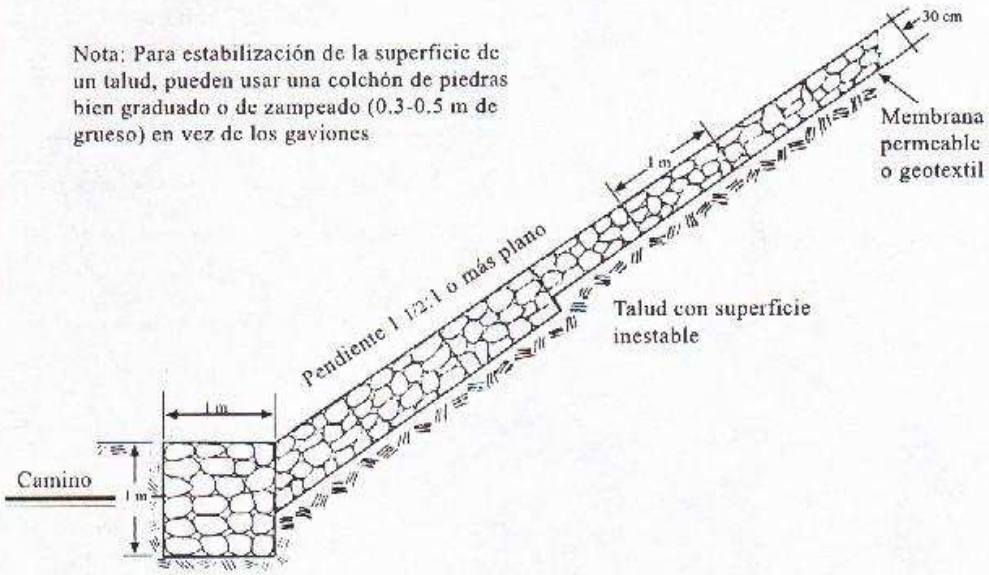


Gráfica A - Contrapeso de enrocamiento.

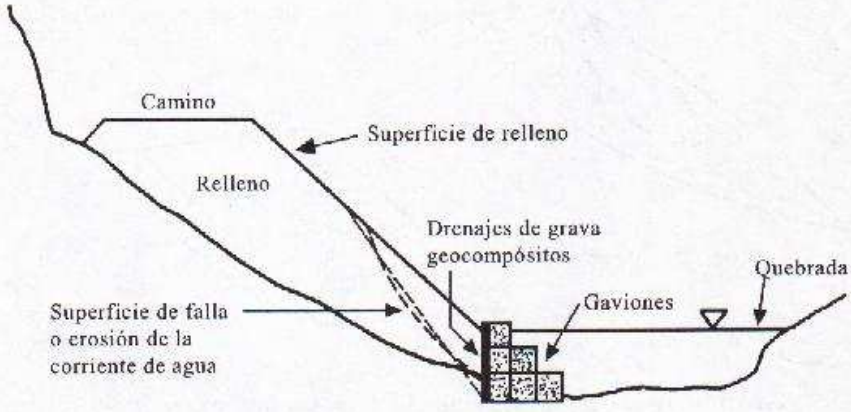


Gráfica B - Estructura (muro) de retención.

Figura 10.3.7. Estabilización de deslizamientos y fallas de rellenos con estructuras.

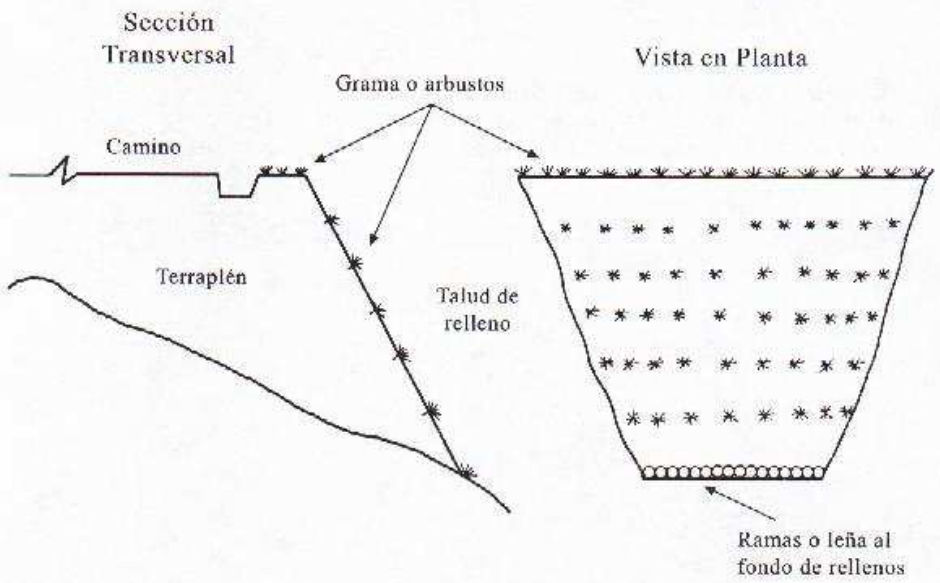


Gráfica A - Talud con armamento de gaviones.

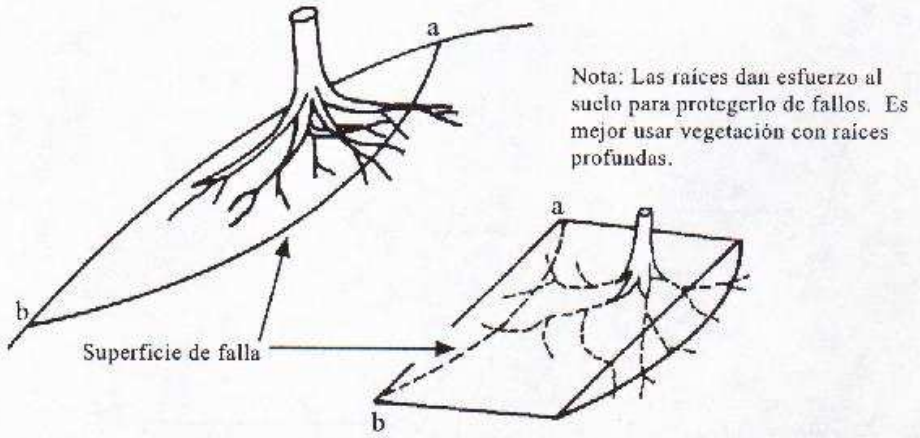


Gráfica B - Pie de relleno reforzado con gaviones.

Figura 10.3.8. Uso de los gaviones en estabilización de taludes.

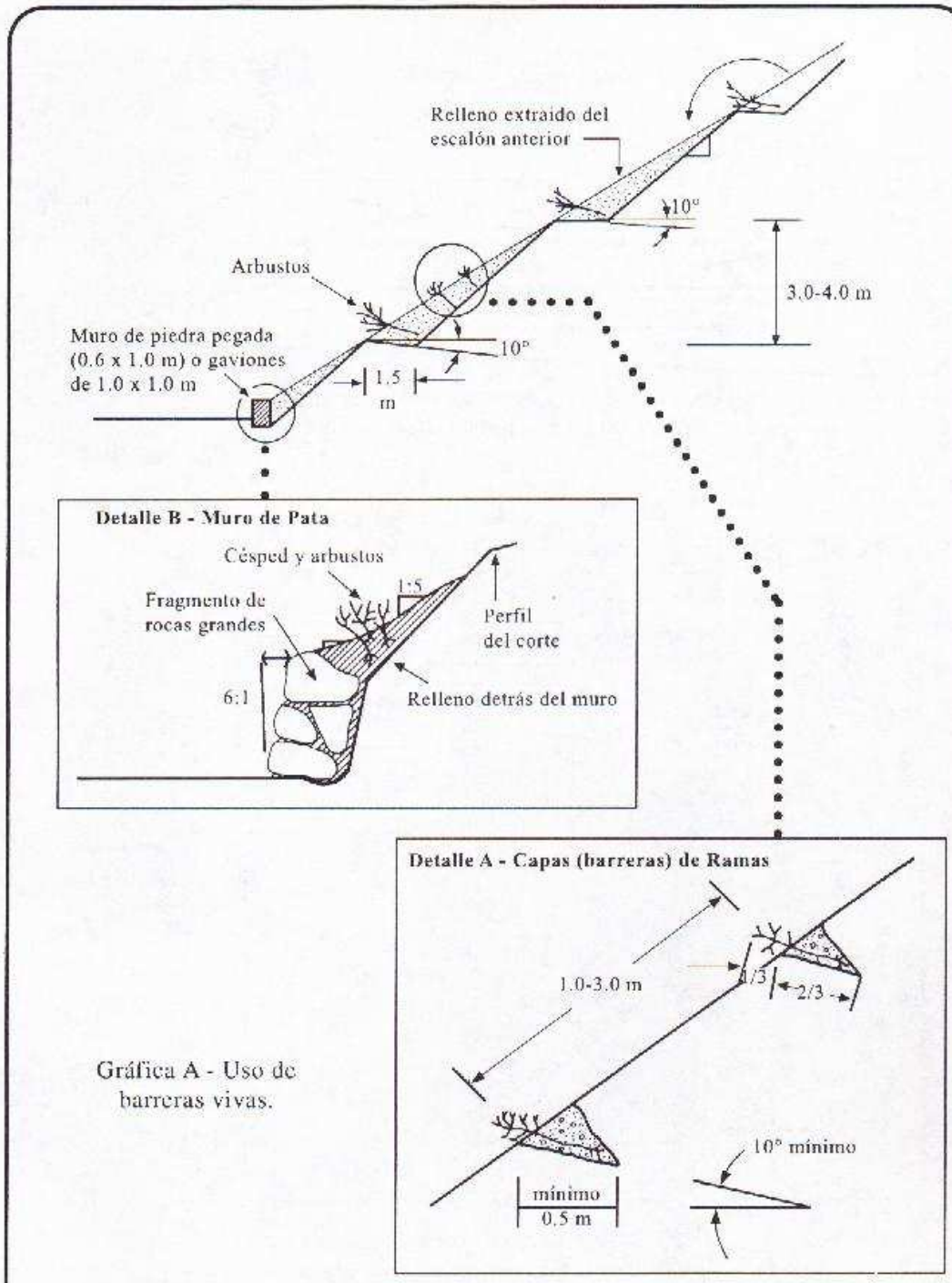


Gráfica A - Uso de gramíneas y arbustos en la estabilización superficial de taludes.



Gráfica B - Uso de raíces de vegetación para la prevención de falla de la superficie de talud.

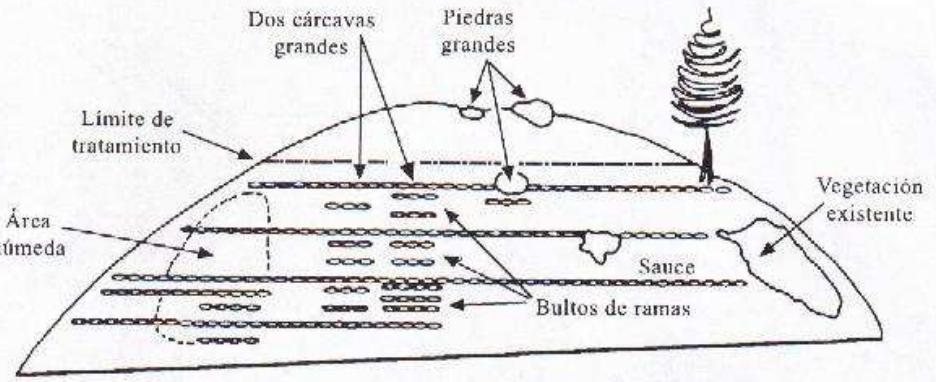
Figura 10.3.9. El uso de vegetación para estabilización de taludes.



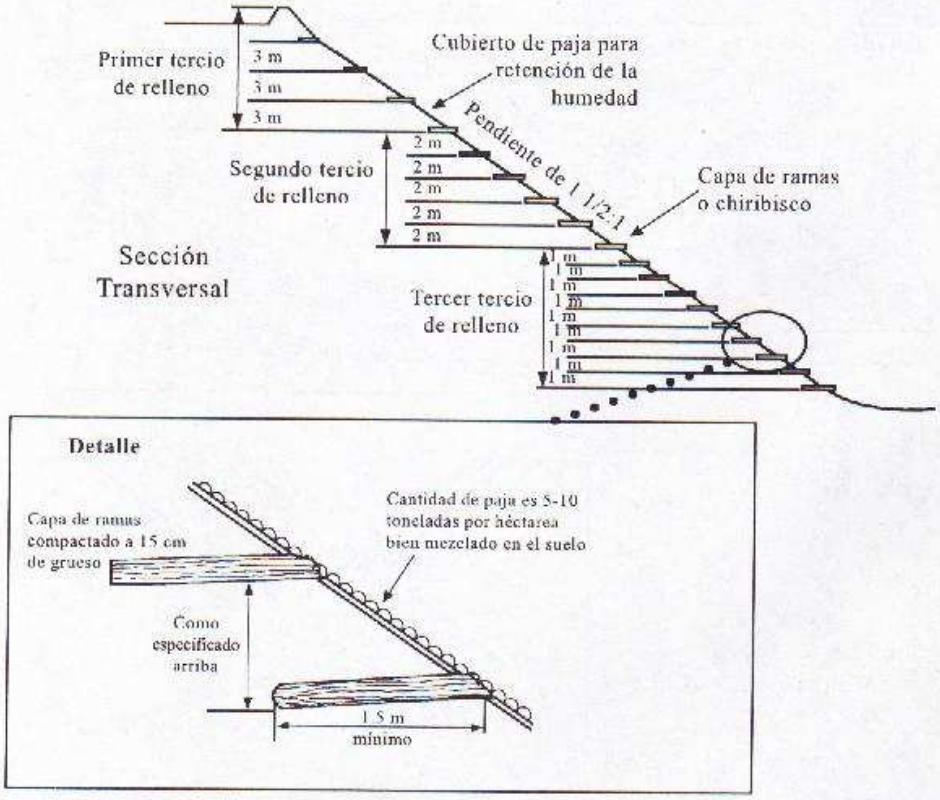
Gráfica A - Uso de barreras vivas.

Figura 10.3.10. Métodos de estabilización de taludes con vegetación.

Fuente: Adaptado de García L., 1991.



Gráfica B - Método de bultos de ramas puestos en contorno para estabilización de taludes con vegetación.



Gráfica C - Método de capa de ramas para estabilización de taludes con vegetación.

Figura 10.3.10. Métodos de estabilización de taludes con vegetación (continuación).

Fuente: Gray and Leiser, 1982.

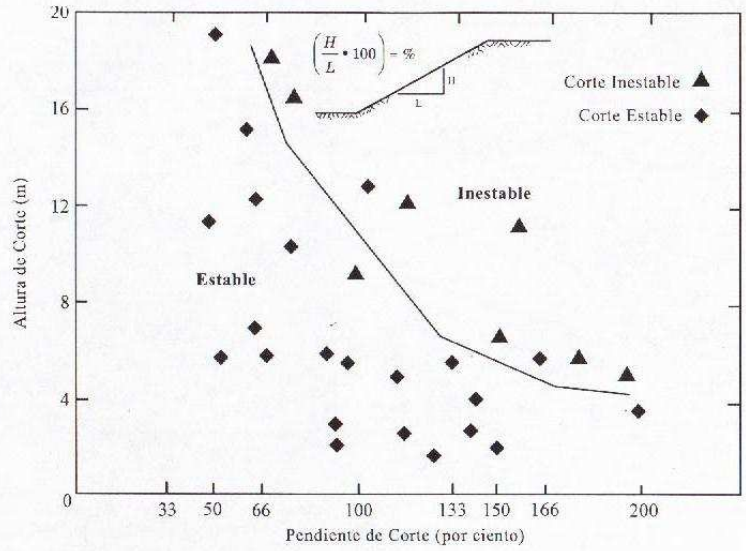


Figura 10.3.11. Ejemplo de un método para estimar estabilidad de cortes usando data del campo.

Fuente: Adaptado de Duncan, sf.

SECCIÓN 10.4.
TIPOS Y USOS DE MUROS DE CONTENCIÓN

Las estructuras de contención (o retención) se utilizan en las diferentes aplicaciones en la construcción de caminos, incluyendo la estabilización de pendientes. Su aplicación principal consiste en resolver las limitaciones de espacio donde se necesita un muro para apoyar el camino en las partes estrechas, tales como, cuando el terreno tiene una inclinación muy pronunciada. También son utilizados para reconstruir caminos donde ha habido una falla de relleno, para evitar cortes de ladera en zonas de deslizamientos, para apoyar un camino que atraviesa una hondonada estrecha y empinada, etc.

Los muros de contención son estructuras relativamente caras, tanto que se deberían buscar otras opciones, tales como la reubicación del camino, hacer un corte en la ladera para colocar el camino sobre una banqueta, usar un relleno reforzado o de roca, etc. Sin embargo, los muros de contención ofrecen la mejor solución para apoyar el camino. Su uso puede evitar los problemas de estabilidad de taludes, la necesidad de los taludes de relleno largos (que pueden erosionar o ser inestables), y mantener el pie del relleno fuera de los drenajes, los cuales pueden tener impactos ambientales adversos.

Existen varios tipos básicos de estructuras de contención, con una variedad de las opciones de muro dentro de cada tipo (ver Figura 10.4.1). Los tipos fundamentales son las estructuras de contención de gravedad donde la masa de la estructura resiste deslizamiento y volcamiento; sistemas de tierra reforzada donde se refuerza el relleno con material, tales como, alambre soldado, georejilla, o geotextiles para formar una unidad sólida que forma el muro; y tipos especiales como empalizado, o pilote -H o paredes ancladas que se usan en aplicaciones difíciles, tal como, un lecho rocoso muy empinado para evitar excavación.

Las estructuras de gravedad más comunes son las de concreto reforzado, muros encribados, gaviones, mampostería, muros secos construidos de roca, y piedras largas. El tamaño de la estructura depende de la altura del muro de acuerdo al sitio y que provea la elevación recomendada del camino, cumpliendo con las condiciones de carga del muro y los cimientos. En el caso de las estructuras de gravedad, la anchura de la base es aproximadamente 60-70% de la altura para ser estable. La estructura debería ser acuñada en el talud o el suelo, de modo que el pie del muro se entierre por lo menos 0.5 metros en

material nativo (no relleno).

Los cimientos de la estructura son muy importantes para evitar fallas, porque la causa número uno de las fallas de muro de contención son los cimientos mal hechos. El muro debe ser puesto sobre suelo macizo, no-asentable o roca que tenga la capacidad de carga y que no esté sujeto a deslizamiento. También la mayoría de los diseños de muros presumen que el sitio y el material de relleno se desagüe, entonces, debe colocarse un drenaje geocompuesto o de grava detrás de cualquier tipo de muro, o en cambio, construirse de un material que se drene libremente, como roca gruesa. Normalmente la altura de estructuras de gravedad es de hasta 8 metros, porque las que sobrepasan este límite son relativamente difíciles y muy caras de construir.

El uso de sistemas de muros como tierra reforzada, o Relleno Mecánicamente Estabilizado (MSB) ofrecen una alternativa efectiva y económica a estructuras de gravedad de tipo tradicional para la mayoría de las aplicaciones y alturas de muros. Para muros en exceso de 10 metros de alto, los MSB ofrecen ventajas importantes de costo sobre estructuras de gravedad. La construcción de caminos en lugares remotos donde el acceso es frecuentemente difícil, cuando se tiene un presupuesto limitado, con uso de materiales prefabricados o de menor peso, combinado con materiales locales, es muy ventajosa.

Muchos tipos alternos de estructuras de contención han sido construidas aprovechando el uso de materiales geosintéticos y los conceptos de refuerzo de tierra. En la construcción de estructuras de suelo reforzado se incluyen muros de alambre soldado; muros de geotextil y de malla de alambre; muros de aserrín de poco peso; y muros con fachadas de llantas, vigas de madera, troncos, pacas de paja, gaviones, concreto, y bloques de concreto; además de rellenos reforzados (ver Figura 10.4.2). Estos muros cuestan normalmente entre $15 y $30 dólares (E.U.A.) por pie cuadrado de fachada de muros para estructuras de hasta 8 metros de alto (precios de 1994).

Los muros de malla de alambre soldado, como los de la Hilfiker Corp., han dado muy buenos resultados porque son fáciles de construir, son bien diseñados, la calidad cuenta con el soporte del fabricante, y son de bajo costo. Estos productos han sido utilizados y adaptados a una gran gama de aplicaciones, incluyendo reparación y construcción de camino, operaciones de excavaciones en canteras y minería, estribos de puente, estabilización de deslizamientos, y otros usos para muros, y casi todos con suelo nativo local para relleno. La información adicional de construcción y diseño sobre los muros de alambre soldado se da en las tablas de selección de muro y "Guía para la Construcción" en los Apéndices.

Los muros de geotextil utilizan materiales muy económicos, pero es laborioso formar la fachada. El mejor diseño de muros (MSB) utilizado es el geotextil o rejillas de plástico (georejilla) para el refuerzo de suelo, usando otros materiales para la fachada. Un muro de tierra reforzada (MSB) con fachada de llantas o pacas de paja sería lo más sencillo y económico para construir, mientras que un muro con fachada de vigas de madera sería el diseño ideal considerando la estética, la duración, y el costo.

Los rellenos reforzados (Figura 10.2.3 Gráfica B), con rejillas de plástico (georejilla), en pendientes de 1:1 o más pronunciadas, ofrecen una buena alternativa económica a las estructuras de contención en terrenos donde sea posible utilizarlos. Los rellenos reforzados son algo más económicos que una estructura de contención para el mismo sitio porque no se involucra ningún material de fachada, y la construcción puede ser relativamente rápida. Diseños para rellenos reforzados son disponible de las fabricantes de los geosinteticos.

Los suelos locales, frecuentemente de calidad marginal, son comúnmente utilizados en estructuras de contención porque tienen un costo bajo. Las arenas finas con barro, barro con arcilla, y suelos con 50% de materiales finos han sido utilizados en las estructuras de contención con resultados satisfactorios. Todos los materiales usados deben ser de fricción dominante, generalmente con un ángulo de fricción de 30 grados ó más, y bien compactado. Los materiales marginales pueden complicar la construcción porque son difíciles para lograr compactar el suelo a las especificaciones recomendadas, y pueden tener un mayor asentamiento de la fachada. Por lo tanto, si se contempla utilizar suelos marginales en un proyecto, deberían ser ensayados y analizados.

Un buen control de compactación es conveniente detrás de cualquier estructura de contención, y la densidad estándar especificada para relleno detrás de muros es el 95% de AASHTO T-99. Una compactación que no cumpla con las especificaciones puede resultar en refuerzos variables y adicionales sobre el muro. Una buena compactación es particularmente recomendada si la calidad de los suelos es marginal, para aumentar al máximo su resistencia.

Un buen drenaje es muy importante, porque la mayoría de los muros se diseñan para una condición desaguada, y si se sube agua freática detrás de la estructura, la carga sobre el muro probablemente excederá las suposiciones de diseño. Los desagües generalmente utilizados detrás de estructuras de retención, de gravedad o tierra reforzada (MSB), son de grava o desagües de chimenea geocompuesta, puesta detrás de la estructura, o preferentemente detrás del relleno. A menos que el agua subterránea sea encontrada, normalmente los desagües no son necesarios detrás de los muros de gaviones y de roca porque se

desaguan libremente.

La anchura de muros de tierra reforzada (MSB) es ligeramente más que la de una estructura de gravedad, o sea 70-80% de la altura. En suelos pobres, una anchura de base de 0.8H ó más amplia puede usarse. Este tipo de muro es ventajoso en suelos blandos y en áreas inestables porque los cimientos son relativamente amplios, reduciendo así la presión de apoyo del cimiento. Además, estos muros, particularmente los de geotextil, pueden tolerar un grado alto de deformación. Se han construido unas estructuras de tierra reforzada de hasta 30 metros de alto.

EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE GRAVEDAD

La Figura 10.4.3 muestra el esquema típico de muros de roca y algo de la geometría básica de instalación. Se han construido muros de roca de hasta 8 metros de alto diseñado con el uso de mampostería y contrafuertes. La Gráfica A muestra un típico diseño de un paredón de roca de 5 metros de altos para una estructura de contención, mientras la Gráfica B muestra un paredón de roca estrecho bajo diseñado con una fachada para un talud de hasta 2 metros de alto.

La Figura 10.4.4 muestra algunas de las configuraciones básicas gaviones utilizados como estructuras de contención. Los gaviones se usan generalmente para muros de contención hasta una altura de 6 metros con una cara de pared de 1:6 (H:V). El uso de una cara de muro suave o escalonada (de grados) depende de la preferencia personal con un arreglo de ajuste al sitio. El diseño estructural de ambas configuraciones es similar. Las tablas de diseño presentadas en la Figura 10.4.5 muestran el número y las dimensiones de las canastas necesitadas para cada incremento de altura de las condiciones de carga de un relleno a nivel y uno con una inclinación de 11/2:1 detrás del muro. Los materiales de relleno son arenas gruesas limosas o gravas arenosas con un peso unitario presumido de 110 libras por pie cúbico (1,760 kg/m^3). El uso de material más fino o rico en arcilla necesita una anchura más amplia de base, determinada por un análisis.

Los muros se diseñan de modo que el resultante de furezas caiga dentro del medio tercero de la base y el factor de seguridad contra volcamiento sea mayor de 1.5. La seguridad contra volcamiento se logra solamente si la presión sobre el suelo debajo del pie del muro no excede a la capacidad permisible de soporte del suelo. Estos muros tienen una presión de apoyo no mayor de 2 toneladas por pie cuadrado. La Tabla 10.4.3 presenta los valores de Capacidad

Permisible de Soporte nominal para suelos diversos. Si la presión del muro excede el valor de la capacidad de soporte, entonces la anchura de la base del muro debe aumentarse.

Para los diseños reales de estructuras de contención, las presiones de tierra que actúan sobre el muro deben ser determinadas como una función de la geometría de sitio, condiciones de carga y tipo de suelo. La Figura 10.4.6 Gráfica A presenta las curvas para determinar las presiones de tierra hacia una estructura de contención (gaviones o las otras estructuras de gravedad sencilla) para inclinaciones variantes detrás del muro y varios tipos de suelo. Si el terreno es plano detrás del muro, el ángulo de inclinación es cero y la carga viva del tráfico puede aproximarse con una sobrecarga uniforme de 250 libras por pie cuadrado a través del camino. Normalmente un mínimo de 2 pies (0.6 metros) de cubierta se pone sobre un muro a la superficie del camino. Una vez las presiones de tierra se determinan, los valores en la Figura 10.4.6 Gráfica B pueden usarse con las ecuaciones presentadas para determinar la estabilidad de cualquier muro propuesto. El propósito de los cálculos básicos para una estructura de contención de gravedad consiste en asegurar la estructura contra: 1) volteamiento; 2) deslizamiento; 3) falla de capacidad de soporte; y 4) estabilidad global.

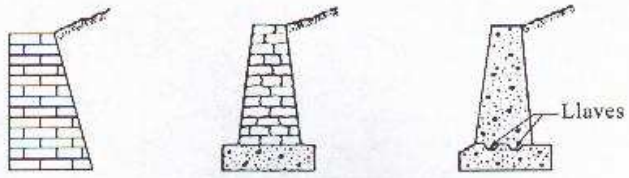
EL DISEÑO DE MUROS DE TIERRA REFORZADA

En la Tabla 10.4.1 Gráficas A y B se presentan cuadros de diseño para muros de tierra reforzada usando refuerzo geosintético (geotextil o georejilla), para muros de 8 pies (2.5 metros) o 15 pies (4.6 metros) de alto, respectivamente, y con un relleno a nivel y sobrecarga de 250 libras por pie cuadrado (similar a una carga de tránsito). De diversos fuerzas de suelo (ángulos de fricción) y el espacio de refuerzo de 8-16 pulgadas, la longitud del geotextil de refuerzo y la fortaleza requerida pueden determinarse. Este procedimiento de diseño determina "la estabilidad interna" de la estructura de tierra reforzada y los requerimientos del material de refuerzo. Una vez determinada, se puede utilizar una variedad de materiales para la fachada, incluyendo trozos de madera, llantas, bloques de concreto, o el geotextil mismo. Los detalles de conexión entre el material de fachada y el material de refuerzo varían, e idealmente, la conexión debería ser tan fuerte como el material de refuerzo. Sin embargo, en la realidad, las cargas sobre los componentes de la fachada son relativamente bajas, cuando se usan los materiales de refuerzo flexible colocados muy unidos. La estabilidad externa de

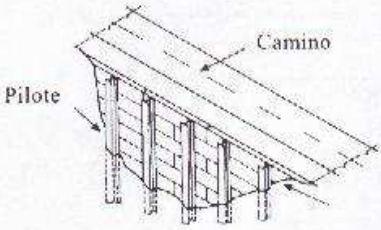
estructuras de tierra reforzada se analiza en una manera parecida a la que se utiliza para las estructuras de contención de gravedad, como en la Figura 10.4.6.

La Figura 10.4.7 presenta un ejemplo de un diseño usando las tablas de diseño (Tabla 10.4.1 Gráfica A y Gráfica B) para refuerzo geosintético para la estructura de contención de geotextil de 15 pies de alto mostrada en la Figura 10.4.8. La Figura 10.4.9 muestra la secuencia de construcción y la forma interín de un muro de tierra reforzada con geotextil. Nótese que la cara de un muro de geotextil debe protegerse de alguna manera, tales como con gunita, madera, o por lo menos con una emulsión de asfalto.

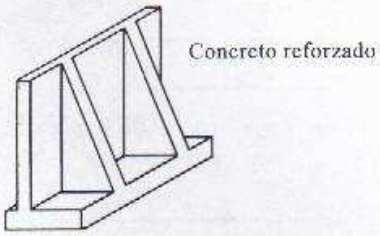
La Tabla 13.4.2 presenta la información que es útil para estimar propiedades de fuerza de roca y suelo para el diseño de estructuras de contención, así como también en cualquier análisis de estabilidad de pendientes. La Tabla 10.4.3 provee los valores permisibles recomendados de capacidad de soporte (presión de apoyo) para varios tipos de roca y suelo y la consistencia del material encontrado en el sitio (in situé). Se deben considerar estos valores en la determinación de la conveniencia de los materiales para los cimientos del muro. Finalmente, la Bibliografía contiene unas referencias útiles sobre la selección, diseño y construcción de estructuras de contención. La publicación del Mohney, "Forest Service Retaining Wall Design Guide" ofrece una cobertura comprensiva del tema.



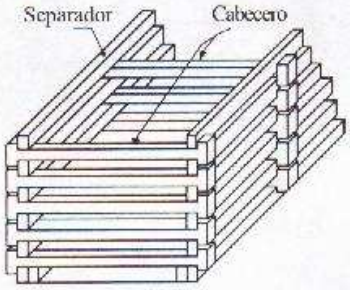
Gráfica A - Muros de gravidad.



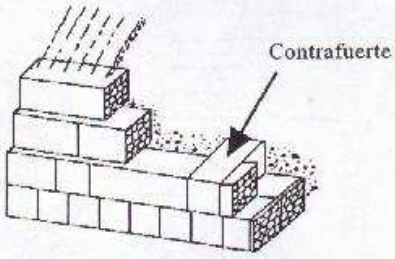
Gráfica B - Pilote "H" voladizo.



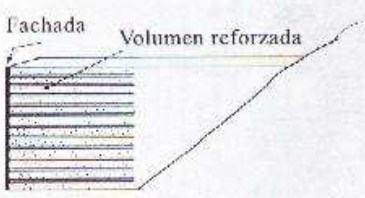
Gráfica C - Concreto voladizo con contrafuertes.



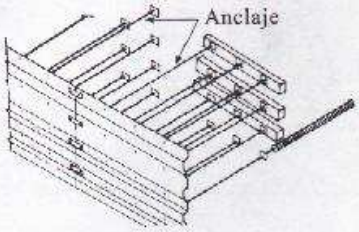
Gráfica D - Muro encribado.



Gráfica E - Muro de gaviones.



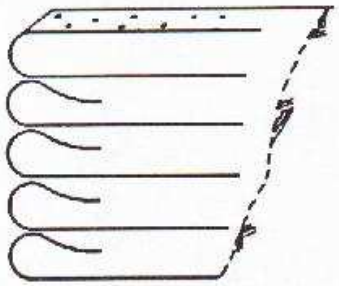
Gráfica F - Estructura de suelo reforzado.



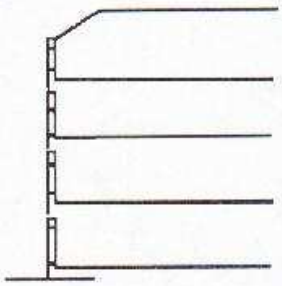
Gráfica G - Muro anclado o retenido.

Figura 10.4.1. Tipos comunes de estructuras de retención.

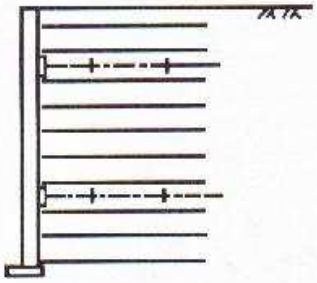
Fuente: Adaptado de Gray & Leiser, 1982.



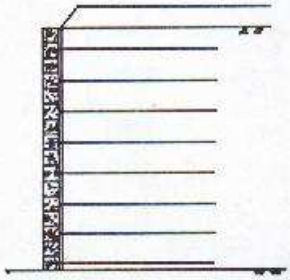
Gráfica A - Muro de geotextil con cara doblada.



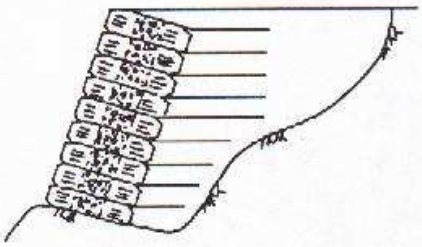
Gráfica B - Muro de alambre soldado.



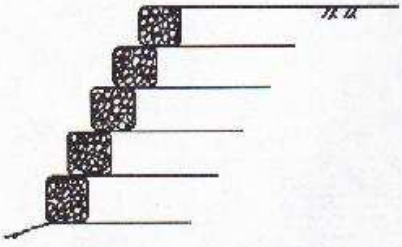
Gráfica C - Muro con fachada completa de concreto.



Gráfica D - Muro con fachada de madera o bloques de concreto modular



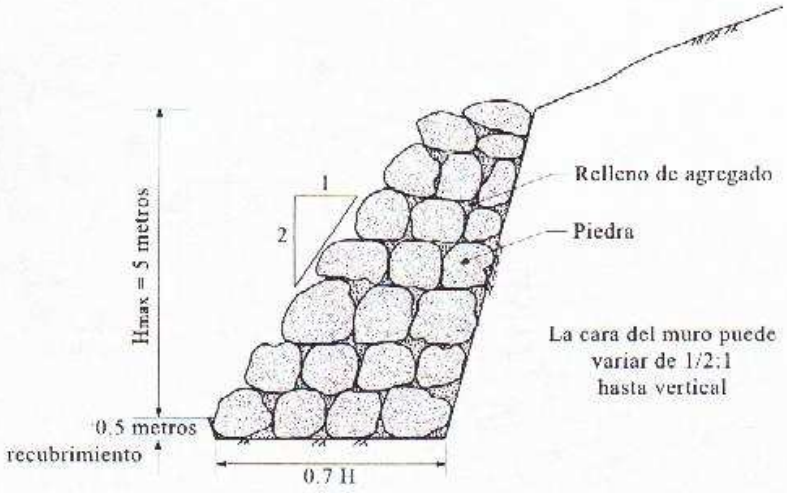
Gráfica E - Muro de fachada de llantas.



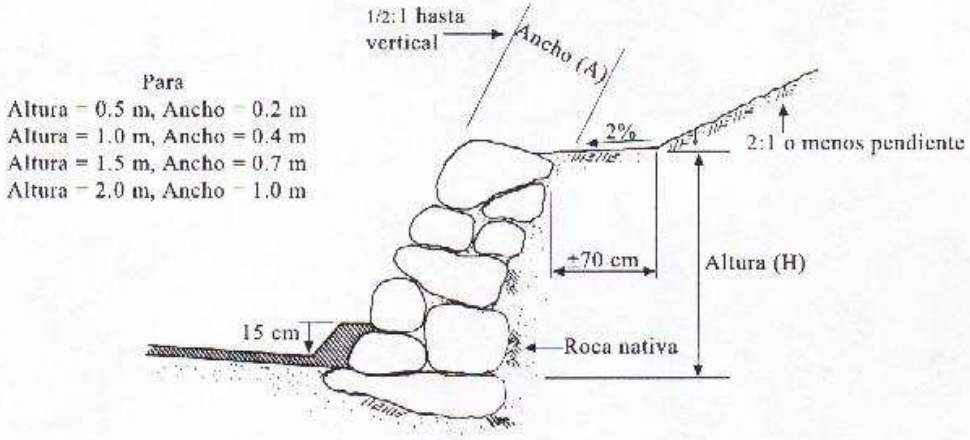
Gráfica F - Muro con fachada de gaviones.

Figura 10.4.2. Tipos de muros de suelo reforzado mecánicamente con diferentes tipos de fachadas.

Fuente: Adaptado de Wu, 1994

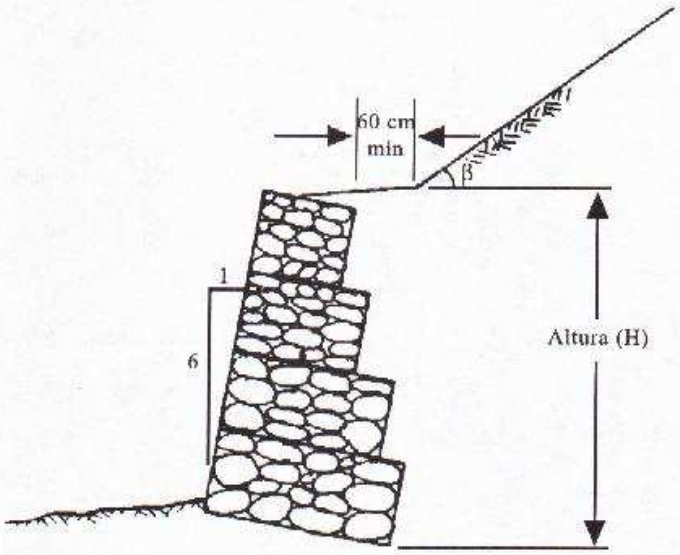


Gráfica A - Configuración típica de muro de retención alto.

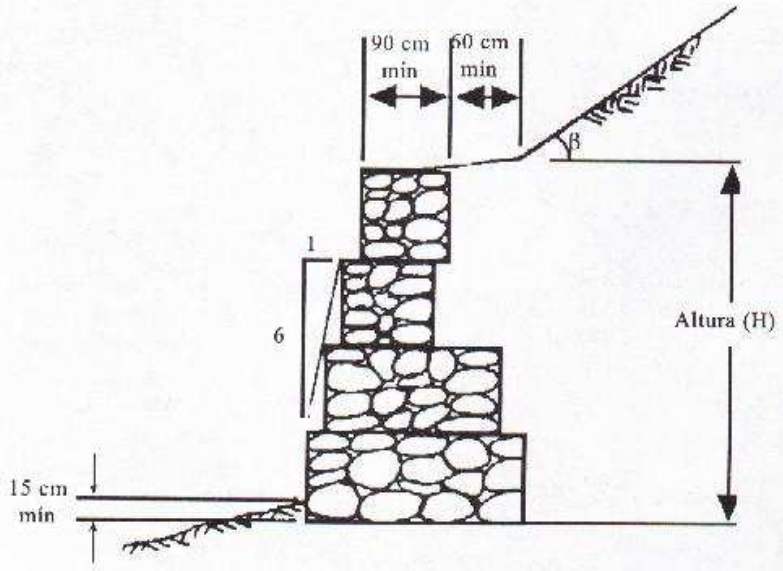


Gráfica B - Configuración típica de muro de retención bajo.

Figura 10.4.3. Construcción típica de muro de piedra.

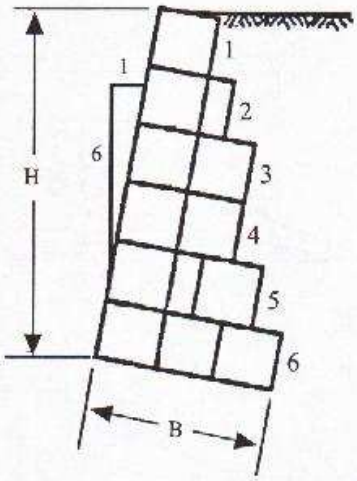


Gráfica A - Muro de gavión con fachada suave.



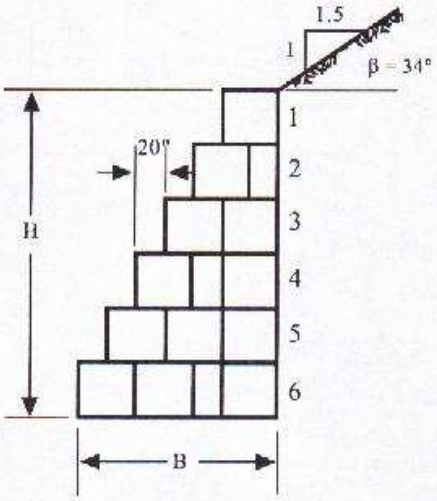
Gráfica B - Muro de gavión con fachada en forma de grados.

Figura 10.4.4. Muros de gaviones con diferentes arreglos de canastas.



No de niveles	H	B	No. de gaviones (por ancho)
1	3' 3"	3' 3"	1
2	6' 6"	4' 11"	1 1/2
3	9' 9"	6' 6"	2
4	13' 1"	6' 6"	2
5	16' 4"	8' 2"	2 1/2
6	19' 7"	9' 9"	3

Gráfica A - Relleno plano (fachada suave).



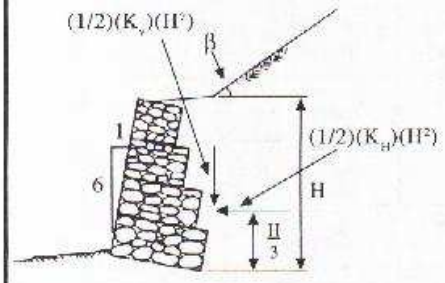
No de niveles	H	B	No. de gaviones (por ancho)
1	3' 3"	3' 3"	1
2	6' 6"	4' 11"	1 1/2
3	9' 9"	6' 6"	2
4	13' 1"	8' 2"	2 1/2
5	16' 4"	9' 9"	3
6	19' 7"	11' 5"	3 1/2

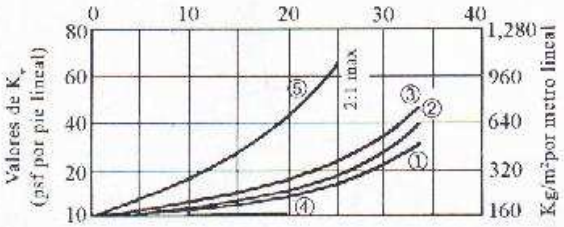
Gráfica B - Relleno a 1 1/2:1 (fachada en forma de grados).

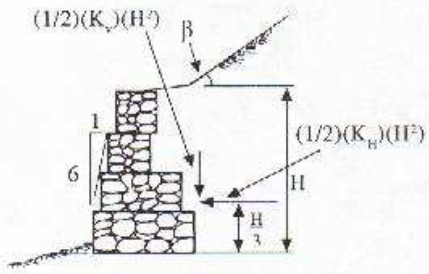
Nota: Estas tablas son para rellenos de suelo arenoso o de arena-grava.
- Para suelos mas finos o de arcillas, la presión de la tierra sobre el muro aumentará y el ancho de la base del muro (B) debe aumentar por cada altura. Peso de relleno = 110 pcf.
- Seguro contra volteamiento en suelos con mínima capacidad de soporte de 2 toneladas/pie^2
- Para rellenos planos o con pendientes moderadas. Se puede usar fachada suave o de grados.

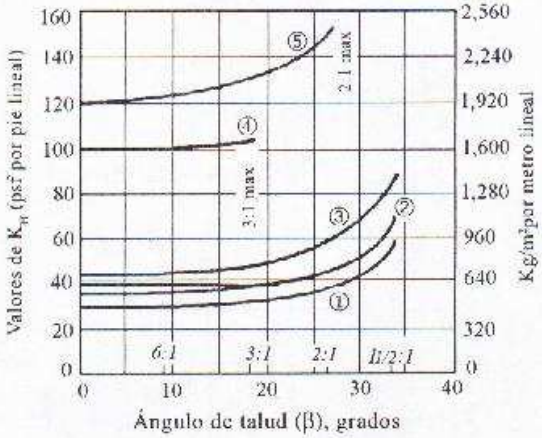
Figura 10.4.5. Tablas de diseño estándar para muros de gaviones hasta un altura de 20 pies con rellenos planos o pendientes moderadas (1 1/2:1).

Fuente: Adaptado de Gray y Leiser, 1982.









Circled numbers indicate the following soil types:

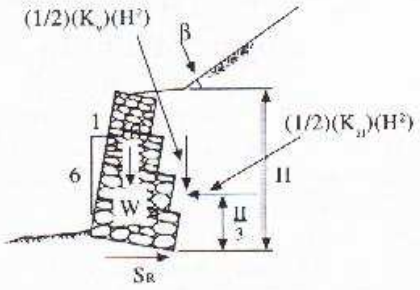
1. Clean sand and gravel: GW, GP, SW, SP.
2. Dirty sand and gravel of restricted permeability: GM, GM-GP, SM, SM-SP.
3. Stiff residual silts and clays, silty fine sands, clayey sand and gravels: CL, ML, CH, MH, SM, SC, GC.
4. Very soft to soft clay, silty caly, organic silt and clay: CL, ML, OL, CH, MH,OH.
5. Medium to stiff clay deposited in chunks and protected from infiltration: CL, CH.

- For types 5 material H is reduced by 4 ft, resultant acts at a height of (H - 4)/3 above base.
- For flat fills behind the wall, use curves at angle β = 0.

Gráfica A - Presión de tierra para muros de gravidad (con rellenos con ángulo de talud variables).

Figura 10.4.6. Diseño simple de muros de retención de gravidad.

Fuente: Adaptado de Mohney, 1994.



Existen cuatro consideraciones primarias para el diseño de 1. Volteamiento, 2. Deslizamiento, 3. Capacidad de Soporte, y 4. Estabilidad Global.

FUERZAS AFECTANDO UN MURO

A. Presión de Tierra Horziontal (P_H)

Donde: $P_H = \left(\frac{1}{2}\right)\left(K_H \cdot H^2\right)$

(Ver Figura 10.4.6 Gráfica A para valores de K_H y K_V para pendiente β y para varios tipos de suelos.)

B. Presión de Tierra Vertical (P_V)

Donde: $P_V = \left(\frac{1}{2}\right)\left(K_V \cdot H^2\right)$

(Ver Figura 10.4.6 Gráfica A para valores de K_H y K_V para pendiente β y para varios tipos de suelos.)

C. Peso de la Estructura (W)

Donde: $W = \gamma(B \cdot H)$

γ= Peso unitario de la estructura (110 libras/pie³ para gaviones)
B = ancho (promedio) de la estructura
H = altura de la estructura

D. Resistencia a Deslizamiento (S_R)

Donde: $S_R = W(\tan\delta)$

δ= Factor de fricción entre muro y el suelo (usualmente 0.3)

1. VOLTEAMIENTO

El volteamiento de fuerzas de enderezamiento debe exceder las fuerzas de volteamiento por un factor de 1.5 (1.5 es un factor de seguridad, tomando el momento sobre el pie de la estructura).

Donde: $1.5 = \dfrac{\text{momento de enderezamiento}}{\text{momento de volteamiento}} = \dfrac{W \cdot \frac{B}{2} + P_V \cdot B}{P_H \cdot \frac{H}{3}}$

Gráfica B - Cálculos básicos para el diseño de estructuras de retención.

Figura 10.4.6. Diseño simple de muros de retención de gravedad (continuación).

2. DESLIZAMIENTO

La resistencia al deslizamiento debe exceder las fuerzas de deslizamiento por el factor 1.5 (1.5 es un factor de seguridad), ignorando las presiones pasivas de la tierra debido a la profundidad de la estructura debajo de la tierra y la cohesión.

$$1.5 = \frac{\text{fuerzas resistentes}}{\text{fuerzas de deslizamiento}} = \frac{(W + P_V)\tan\delta}{P_H}$$

3. CAPACIDAD DE SOPORTE

La presión del suelo en la base del estribo o fondo de la estructura debe ser menor que la capacidad de soporte del cimiento del suelo por el factor 3.0 (factor de seguridad). Ver los valores en la Tabla 10.4.3 para la capacidad de soporte permisible, la cual ya contiene el factor de seguridad.

4. ESTABILIDAD GLOBAL

La estabilidad global usualmente es segura, si la estructura está colocada en una terraza excavada totalmente con material del lugar (in-situ). En pendientes muy inclinadas, la estructura debe tener una profundidad de por lo menos 2 pies debajo de la superficie de la pendiente. En áreas o depósitos resbalosos debe ser hecho un análisis específico de estabilidad de la pendiente.

Gráfica B - Cálculos básicos para el diseño de estructuras de retención.

Figura 10.4.6. Diseño simple de muros de retención de gravedad (continuación).

Tablas de Diseño

Las tablas de diseño en las Tablas 10.4.1 Gráfica A y Gráfica B están basadas en el método de diseño de CTI. Se puede usar esta tablas cuando la altura del muro es menos de 15 pies, el cimiento es firme, el relleno es granular, y es necesario hacer una diseño rápido. Para usar estas tablas para el diseño de un muro de suelo reforzado con geosintéticos, se necesitan los siguientes parámetros, 1) altura del muro (H), 2) ángulo de fricción del relleno (ϕ), 3) espaciamiento vertical del refuerzo (s), y 4) máximo movimiento admisible del muro lateral (Δ_{max}). Estas tablas ayudan a determinar 1) longitud mínima de refuerzo (L), 2) la mínima fuerza/ancho del refuerzo geosintético del diseño límite de deformación (T_{rd}), y 3) la fuerza última requerida del refuerzo geosintético (T_{ult}) .

Ejemplo de Diseño:

H=15 ft, ϕ = 35°, and Δ_{max} = (3%) • H

Usar Tabla 10.4.5 Gráfica B para altura de muro H = 15 ft,

$$\Delta_{max} = (3\%)H = (3\%)(12)(15) = 5.4 \text{ pulgadas}$$

El diseño límite de deformación ε_d = (0.7 • Δ_{max}) % = (0.7•5.4) % = 3.8 %

Para ϕ = 35° (interpolar entre ϕ = 34° and ϕ = 36°) y s = 12 pulgadas:

$$L = \frac{(11.0 + 10.6)}{2} = 10.8 \text{ pie}$$

$$T_{\varepsilon d} = T(@3.8\%) = \frac{(810 + 740)}{2} = 775 \text{ libras/pie}$$

$$T_{ult} = \frac{(2,420 + 2,220)}{2} = 2,320 \text{ libras/pie}$$

Así se puede construir fácilmente un muro de suelo reforzado con geotextil hasta 15 pies de alto para apoyar una carga de 250 psf, como un camión. Es necesario construirlo de un tipo de geotextil que tiene una fuerza mínima por ancho de 775 libras/pie y con una fuerza última mínima de 2320 libras/pie. El espaciamiento de las capas de geotextil es 12 pulgadas (1 pie) y longitud de geotextil es 10.8 pies, como se muestra en Figura 10.4.8.

Figura 10.4.7. Ejemplo de uso de Tabla 10.4.1. para el diseño de muros de suelo reforzado con geotextil.

Fuente: Adaptado de Wu, 1994.

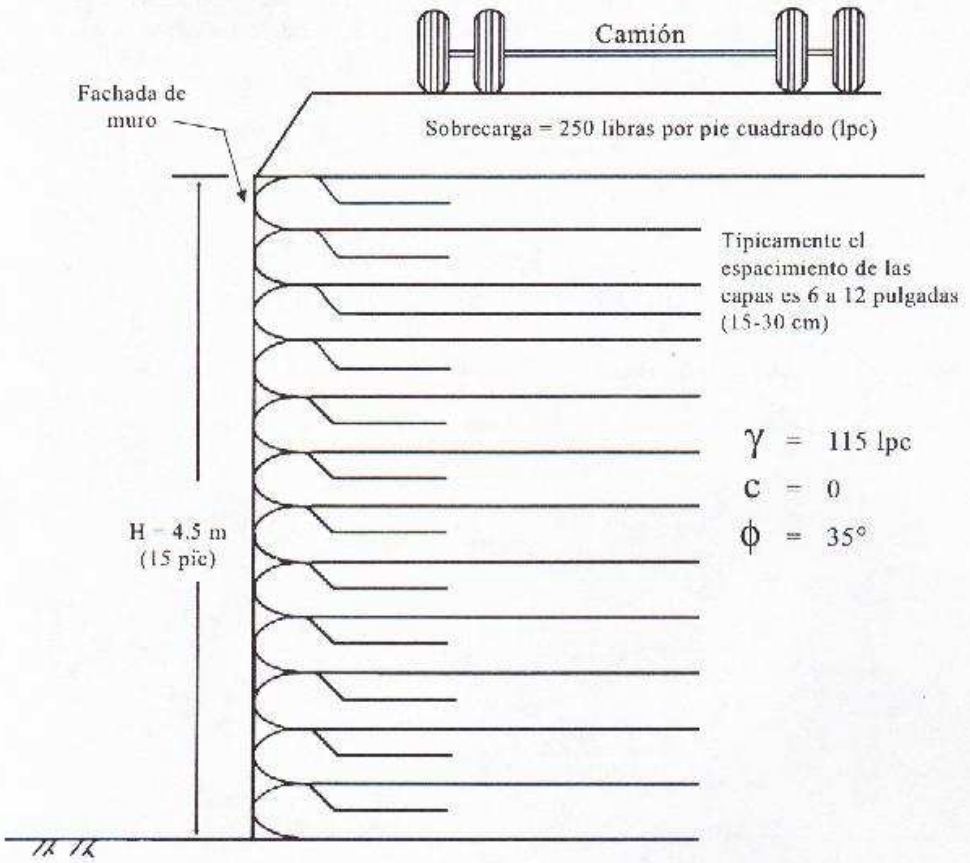
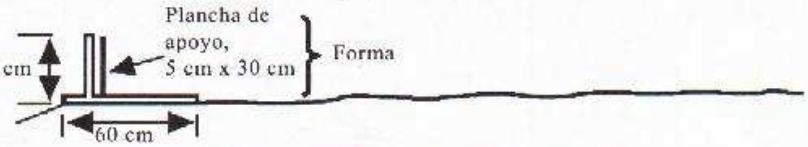


Figura 10.4.8. Sección transversal de construcción de un muro de suelo reforzado con geotextil.

Fuente: Adaptado de Wu, 1994.

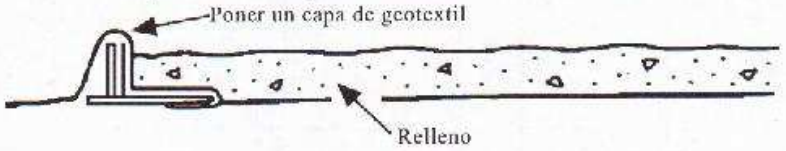
1.1. Nivelar, aplanar y compactar la subrasante.
1.2. Colocar la plancha de apoyo en el pie del muro a construirse.

Paso #1



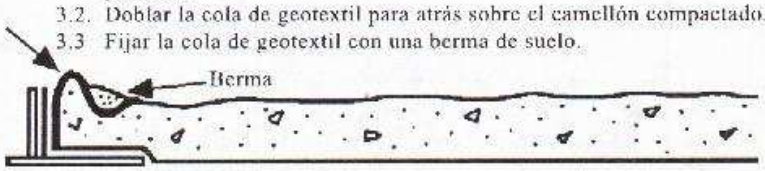
2.1. Tender una capa de geotextil sobre la subrasante, dejando colgar "una cola" de 2 m en el lado exterior de la plancha.
2.2. Colocar el relleno, en dos capas, al nivel de la plancha de apoyo, compactando cada capa a una densidad de 95% de AASHTO T-99.

Paso #2



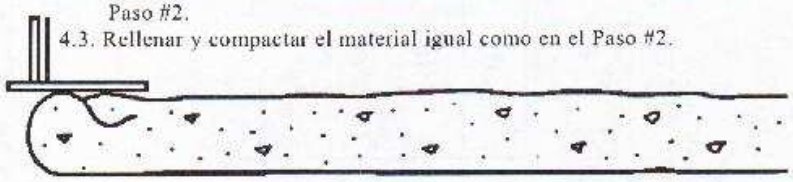
3.1. Formar un camellón a lo largo de la orilla (cara interior de la plancha).
3.2. Doblar la cola de geotextil para atrás sobre el camellón compactado.
3.3 Fijar la cola de geotextil con una berma de suelo.

Paso #3



4.1. Colocar la plancha sobre la superficie nueva arriba.
4.2. Tender otra capa de geotextil sobre el relleno en la misma manera del Paso #2.
4.3. Rellenar y compactar el material igual como en el Paso #2.

Paso #4



5.1. Repetir el mismo proceso (arriba) hasta llegar a la altura del muro deseado.

Paso #5

Cuando termine la construcción del muro, debe aplicar un emulsión de asfalto (1 litro/m²) sobre la cara del geotextil para protegerlo de los rayos de sol.

Figura 10.4.9. Secuencia de la construcción de un muro de suelo reforzado con geotextil.

Fuente: Adaptado de Mohney, 1994.

Tabla 10.4.1. Tabla para diseño basada en el "Método Simplificado CTI" para muros reforzados con geosintéticos.

Gráfica A - Altura del Muro (H) = 8 pie (2.4 metros)

Ángulo de Fricción de Relleno, ϕ (grado)		30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Longitud de Refuerzo, L (pie)		6.2	6.0	5.9	5.7	5.5	5.3	5.2
T_{ed} (lb/ft)	s = 8 in	380	350	320	290	270	250	220
	s = 12 in	570	520	480	440	400	370	340
	s = 16 in	750	690	640	590	540	490	450
T_{ult} (lb/ft)	s = 8 in	1130	1040	960	880	810	740	670
	s = 12 in	1700	1560	440	1320	1210	1110	1010
	s = 16 in	2260	2090	1920	1760	1610	1470	1340

Notes:

1. Diseño límite de deformación, $\varepsilon_d = (1.3 * \Delta_{max})$ %, donde Δ_{max} es el máximo movemiento admisible del muro lateral (en pulgadas).
2. T_{ed} : fuerza/ancho requerido del refuerzo geosintético al diseño límite de deformación (ε_d).
3. T_{ult} : fuerza última requerida del refuerzo geosintético.
4. s: espaciamiento vertical de refurezo.
5. Presión de sobrecargae = 250 psf [libras por pie cuadrado] (aumentar T_{ed} and T_{ult} por 22 % para cada 250 psf adicional de presión de sobrecarga.
6. CTI = Colorado Transportation Institute (Denver, Colorado, USA).

Fuente: Adaptado de Wu, 1994.

Tabla 10.4.1. Tabla para diseño basada en el "Método Simplificado CTI" para muros reforzados con geosintéticos.

Gráfica B - Altura del Muro (H) = 15 pie (4.5 metros)

Ángulo de Fricción de Relleno, ϕ (grado)		30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Longitud de Refuerzo, L (pie)		11.7	11.3	11.0	10.6	10.3	10.0	9.7
T_{ed} (lb/ft)	s = 8 in	630	580	540	490	450	410	380
	s = 12 in	950	880	810	740	680	620	570
	s = 16 in	1270	1170	1070	990	900	830	750
T_{ult} (lb/ft)	s = 8 in	1900	1750	1610	1480	1360	1240	1130
	s = 12 in	2850	2630	2420	2220	2030	1860	1700
	s = 16 in	3800	3500	3220	2960	2710	2480	2260

Notes:

1. Diseño límite de deformación, $\varepsilon_d = (1.3 * \Delta_{max})$ %, donde Δ_{max} es el máximo movemiento admisible del muro lateral (en pulgadas).
2. T_{ed} : fuerza/ancho requerido del refuerzo geosintético al diseño límite de deformación (ε_d).
3. T_{ult} : fuerza última requerida del refuerzo geosintético.
4. s: espaciamiento vertical de refurezo.
5. Presión de sobrecargae = 250 psf [libras por pie cuadrado] (aumentar T_{ed} and T_{ult} por 22 % para cada 250 psf adicional de presión de sobrecarga.
6. CTI = Colorado Transportation Institute (Denver, Colorado, USA).

Fuente: Adaptado de Wu, 1994

Tabla 10.4.2. Propiedades y fuerza de suelo y roca.

Propiedades Típicas de Suelo y Roca							
		Descripción	Peso Unitario (saturado/seco)		Ángulo de Fricción	Cohesión	
Tipo		Material	libras/pie³	kN/m³	(grados)	libras/pie²	kPa
Sin Cohesión	Arena	Arena suelta, tamaño de grano uniforme	118/90	19/14	28-34*	-	-
		Arena compactada, tamaño de grano uniforme	130/109	21/17	32-40*	-	-
		Arena suelta, mezcla de tamaños de granos	124/99	20/16	34-40*	-	-
		Arena compactada, mezcla de tamaños de granos	135/116	21/18	38-46*	-	-
	Grava	Grava, tamaño de grano uniforme	140/130	22/20	34-37*	-	-
		Arena y grava, mezcla de tamaños de granos	120/110	19/17	38-45	-	-
	Piedra Quebrada	Basalto	140/110	22/17	40-50*	-	-
		Yeso (Creta)	80/62	13/10	30-40*	-	-
		Granito	125/110	20/17	45-50*	-	-
		Caliza	120/100	19/16	35-40*	-	-
		Arenisca	110/80	17/13	35-45*	-	-
		Esquisto	125/100	20/16	30-35*	-	-
Cohesivo	Arcilla	Bentonita blanda	80-30	13/6	7-13	200-400	10-20
		Arcilla orgánica muy blanda	90/40	14/6	12-16	200-600	10-30
		Arcilla orgánica ligeramente blanda	100/60	16/10	22-27	400-1000	20/50
		Arcilla glacial blanda	110/76	17/12	27-32	600-1500	30-70
		Arcilla glacial endurecida	130/105	20/17	30-32	1500-3000	70-150
		Arcilla morena glacial, mezcla de tamaños de granos	145/130	23/20	32-35	3000-5000	150-250
	Piedra	Roca ígnea dura: granito, basalto, pórfido	160/190**	25-30	35-45	720000-1150000	35000 55000
		Roca metamórfica: cuarcita, gneis, pizarra	160/180	25-28	30-40	400000-800000	20000-40000
		Roca sedimentaria dura: caliza, dolomita, arenisca	150/180	23-28	35-45	200000-600000	10000 30000
		Roca sedimentaria blanda: arenisca, carbón, yeso, esquisto arcillosa	110/150	17-23	25-35	20000-400000	1000-20000

* Se encuentran ángulos de fricción más altos en los materiales sin cohesión cuando los son debajo de esfuerzos normales o confinados bajos.

** El peso unitario de roca integra no varia sustancialmente estando seco o saturado, con la excepción de arenisca porosa.

Fuente: Hoek y Bray, 1981.

Tabla 10.4.3. Capacidad permisible de soporte (presión de apoyo) para diferentes tipos y consistencias de suelos y roca (típicamente usados para cimientos de estructuras).

Tipo de Material de Soporte	Consistencia In Situé	Presión de Apoyo Permisible	
		Rango Normal	Valor Recomendado
		---------- (T/pie²) ----------	
Roca ígnea y metamórfica masivo cristalizada: granito, basalto, gneis, conglomerado bien cementado (para ser considerada sólida, grietas menores son permisibles)	Roca dura u sólida	60 a 100	80.0
Roca metamórfica foliada: pizarra, esquisto (para ser considerada sólida, grietas menores son permisibles)	Roca medio dura u sólida	30 a 40	35.0
Roca sedimentaria: esquista dura bien cementada, roca limosa, arenisca, caliza sin huecos	Roca medio dura u sólida	15 a 25	20.0
Lecho rocoso intemperizado o fracturado de todas clases, con la excepción de roca con un alto grado de arcilla (esquista) RQD <25	Roca blanda	8 a 12	10.0
Esquista de compactación o otra roca sólida con un alto grado de arcilla	Roca blanda	8 a 12	10.0
Una mezcla de suelos de granos finos y gruesos bien graduados: morena glacial, tépetate, arcilla rocosa (GW-GC, GC, SC)	Muy compactada	8 a 12	10.0
Grava, mezclas de grava-arena, mezclas de grava rocosa (SW, SP)	Muy compactada Medio compactada Suelta	6 a 10 4 a 7 2 a 6	7.0 5.0 3.0

Notas:

1. Variations of allowable bearing pressure for size, depth, and arrangement of footings, as well as for local high ground water, should be determined by the engineer.
2. Compacted fill, placed with control of moisture, density, and lift thickness, has allowable bearing pressure of equivalent natural soil.
3. Allowable bearing pressure on compressible fine grained soils is generally limited by considerations of overall settlement of structure.
4. Allowable bearing pressure on organic soils, uncompacted fills or over soft underlying deposits is determined by specific investigation on an individual case.
5. Extend footings into soil and soft rock a minimum of 0.5 metersa Increase the Allowable Bearing Capacity by 5% for each 0.3 meters of depth greater than 0.5 meters.
6. For small footings, less than 1.0 meter in least dimensions the Allowable Bearing Capacity shall be 1/3 times the value in the table (above) times the least dimentsion of the footing (in feet).

Tabla 10.4.3. Capacidad admisible de soporte(presión de apoyo) para diferentes tipos y consistencias de suelos y roca (típicamente usados para cimientos de estructuras) (continuación).

Tipo de Material de Soporte	Consistencia in situ¢	Presión de Apoyo Permisible	
		Rango Normal	Valor Recomendado
		(T/pie²)	
Arena gruesa a mediana, arena con un poco de grava (SW, SP)	Muy compactada	4 a 6	4.0
	Medio compactada	2 a 4	3.0
	Suelto	1 a 3	1.5
Arena mediana a fina, arena gruesa a mediada limosa o arcillosa (SW, SM, SC)	Muy compactada	3 a 5	3.0
	Medio compactada	2 a 4	2.5
	Suelto	1 a 2	1.5
Arcilla inorgánica homogénea, arcilla arenosa o limosa (CL, CH)	Muy endurecida a duro	3 a 6	4.0
	Media endurecida	1 a 3	2.0
	Blanda	0.5 a 1	0.
Limo inorgánico, limo arenoso o arcilloso, arena limoso estratificado- barrrosa- fina (ML, MH)	Muy endurecida a dura	2 a 4	3.0
	Media endurecida	1 a 3	1.5
	Blanda	0.5 a 1	0.5

Notas:

1. Variations of allowable bearing pressure for size, depth, and arrangement of footings, as well as for local high ground water, should be determined by the engineer.
2. Compacted fill, placed with control of moisture, density, and lift thickness, has allowable bearing pressure of equivalent natural soil.
3. Allowable bearing pressure on compressible fine grained soils is generally limited by considerations of overall settlement of structure.
4. Allowable bearing pressure on organic soils, uncompacted fills or over soft underlying deposits is determined by specific investigation on an individual case.
5. Extend footings into soil and soft rock a minimum of 0.5 metersa. Increase the Allowable Bearing Capacity by 5% for each 0.3 meters of depth greater than 0.5 meters.
6. For small footings, less than 1.0 meter in least dimensions the Allowable Bearing Capacity shall be 1/3 times the value in the table (above) times the least dimension of the footing (in feet).

Foto 10-1. Un diseño inadecuado y un corte del talud muy empinado puede causar deslizamientos o daños mayores al camino y mayores problemas ambientales. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 10-2. Un ejemplo de un corte de talud con un ángulo estable sembrado con gramíneas. En esta fotografía el camino tiene 18 meses de haber sido construido. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 10-3. El asentamiento de material de relleno flojo sin compactación puede causar erosión a lo largo del camino. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 10-4. Un ejemplo de una falla total de un talud de relleno causado por una inclinación excesiva y la falta de compactación adecuada del relleno. Chimaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 10-5. Una cuadrilla de trabajadores manuales limpiando las cunetas y los cortes de talud. El exceso de mantenimiento puede causar erosión, porque la vegetación sirve para frenar la corriente. Huehuetenango, Guate.

Foto 10-6. Un corte sobreinclinado retiene el agua en el talud y puede causar un deslizamiento o deslave. En este caso el corte debe ser más plano. Totonicapan, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 10-7. Se puede utilizar desechos o materiales locales para hacer estructuras para estabilizar taludes y controlar erosión. El uso de tales materiales como llantas usadas reducirá sustancialmente el costo. (GK)

Foto 10-8. Un ejemplo de gaviones convencionales tipicamente utilizados para estabilización de taludes. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 10-9. Un ejemplo de un muro de contención de tierra reforzado con geotextil. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 10-10. La construcción de un muro de contención de piedra tipica hecha con labor manual. Baja Verapaz, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 10-11. Un ejemplo de un relleno reforzado con georejilla. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 10-12. Un ejemplo de la técnica revegetativa de la aplicación de capas de ramas en un corte de talud. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Capítulo 11

Control de Erosión:
Metodos Físicos, Vegetativos
y Biotécnicos

SECCIÓN 11.1.
INTRODUCCIÓN A LA EROSIÓN

La erosión del suelo se define como el movimiento de tierra debido al agua, el viento, u otros procesos geológicos. Es uno de los impactos ambientales más común y serio de los proyectos de caminos. La erosión es una función del clima, la topografía (declive), los suelos, la vegetación y la acción humana, tales como, los métodos de cultivo, las prácticas de riego, el uso de equipo agrícola, la construcción de caminos y otras actividades de desarrollo rural. Usualmente, el control de la erosión se hace más necesario a medida que el declive del terreno se incrementa, debido a que éste ayuda a que la tierra se mueva.

La construcción, el uso y el mantenimiento de caminos pueden causar problemas de erosión de los suelos y sedimentación en cuerpos de agua. Cuando las condiciones naturales son alteradas por la construcción de un camino rural, se da el "banderazo de salida" de una carrera entre los procesos de la erosión y el restablecimiento de la vegetación en los taludes desnudos y en el paisaje alterado. La acción erosiva se manifiesta en el mismo camino, en los bancos de préstamo o en los cauces de ríos y riachuelos. Las pérdidas en términos económicos y ambientales pueden ser significativas para los encargados del camino y terceros.

Estas pérdidas pueden incluir: daño parcial o total del camino, pérdidas de cultivos o tierra cultivable para los agricultores, un descenso en la población piscícola causado por sedimentación en su habitat, y la pérdida de mercados para los productores de la zona por la incapacidad de entregar sus productos debido al colapso de la red vial.

En la mayoría de los casos los efectos de la erosión se manifiestan en áreas ajenas del mismo camino, afectando cuestas, riachuelos, ríos y presas lejos del sitio real de impacto. El uso de diseños adecuados y prácticas apropiadas para la construcción y el mantenimiento de caminos rurales reducirán no sólo el costo total, sino también las consecuencias a largo plazo de la erosión y sedimentación. El costo de corregir los problemas causados por la erosión a lo largo de un camino muchas veces resulta ser mayor que adoptar unas medidas sencillas de prevención en la construcción.

Sin embargo, aún en el caso de un camino bien diseñado, ubicado, construido y mantenido, será necesario implementar unas medidas de control de

erosión para reducir al mínimo el movimiento y la pérdida de suelo y la producción de sedimento, causado por la acción del agua y el viento.

LA EROSIÓN CAUSADA POR EL VIENTO

La erosión eólica en regiones áridas y semiáridas es extremadamente seria y también puede tener un efecto igual en las húmedas. La acción del viento puede remover la capa superior del suelo convirtiendo la tierra en un medio improductivo y dificultando la introducción de medidas de control de erosión a lo largo del camino o en los campos agrícolas. La erosión eólica severa, conjuntamente con los cambios climáticos y la acción humana, puede contribuir a la formación de desiertos. Por ejemplo, la gente contribuye a incrementar la erosión eólica y acelerar el proceso de desertificación al sobre-explotar los bosques para conseguir leña, así como sobre-cultivar la tierra, y otras prácticas, tales como el manejo ganadero equivocado de sobre-explotar los pastos.

LA EROSIÓN CAUSADA POR EL AGUA

Hay tres clases de erosión causadas por el agua (Figura 11.1.1):

- Erosión Laminar.
- Erosión en Canales.
- Erosión en Cárcavas.

Erosión Laminar (también llamada Erosión Superficial) - La lluvia intensa o las grandes gotas de agua desplazan partículas de suelo. La capa superior es disgregada por este impacto. A medida que el agua se acumula empieza a remover el suelo, más o menos uniformemente, sobre una superficie desnuda y en declive. Moviéndose hacia abajo del declive, el agua sigue el camino de menor resistencia, tal como los canales formados por marcas de labranza, senderos del ganado o depresiones en la superficie de la tierra. La erosión laminar es la primera fase del daño, y como tal, es difícil de identificar.

Erosión en Canales y Desagües - El escurrimiento intenso puede remover suficiente tierra para formar pequeños canales, hondonadas, o arroyuelos en el campo. Los arroyuelos son las primeras indicaciones visibles de este tipo de erosión. Los declives más pronunciados o prolongados aumentan la profundidad de los canales. El potencial de erosión del agua que fluye se incrementa a medida que la profundidad, la velocidad y turbulencia también se incrementan. La erosión laminar y en canales son responsables en conjunto de la mayor parte del movimiento de tierras de caminos rurales.

Erosión en Cárcavas - A medida que el agua se acumula en canales estrechos, continúa removiendo el suelo. Este es el caso más severo de erosión y puede remover la tierra hasta una profundidad de 1 a 2 pies, e incluso hasta varios cientos de pies en algunos casos extremos.

EROSIÓN DE LA SUPERFICIE DE CAMINOS

La erosión de la superficie de los caminos es ocasionada por el flujo de agua sobre el mismo, que carece de algún revestimiento o forma de protección. Es más severa en los caminos con una superficie de suelo nativo o en los que tengan una inclinación moderada o alta (en exceso de 5 a 10 por ciento). La erosión de superficie se controla con materiales de revestimiento, tales como, grava o pavimento, o disminuyendo la inclinación del camino y usando cuestas onduladas y peraltes hacia afuera.

PÉRDIDA DE SUELO

Los principales factores que posibilitan la erosión de un suelo son la estructura física, la composición química, el declive del terreno y el manejo de la tierra. La pérdida del suelo está directamente relacionada con lo siguiente:

- Intensidad y cantidad de precipitación.
- Calidad del suelo y la medida en que está sujeto a erosión.
- Longitud del declive.

- Grado de inclinación o pendiente.
- Cantidad de cubierta vegetal.
- Tipo de sistema de cultivos (monocultivo o asociaciones y/o secuencias de cultivos).
- Prácticas de control de la erosión (discutidas posteriormente en este capítulo).

Estos factores determinan cuánta agua ingresa al suelo, cuánta se pierde y el impacto potencial de erosión. La Tabla 11.1.1 presenta información sobre los efectos de precipitación sobre la erosión. Es esencial evaluar la erosión y el potencial de erosión al planificar un proyecto.

LA COBERTURA DEL SUELO Y PORQUÉ ES IMPORTANTE PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN

Una buena cobertura del suelo es el control más importante para la erosión producida tanto por el viento como por el agua. Es más efectiva cuando está directamente sobre el suelo o cerca de él. La cubierta cumple las siguientes funciones:

- Interrumpe la precipitación, de manera que la velocidad disminuye antes de golpear las partículas del suelo, reduciendo el chapoteo y los efectos disgregadores de la lluvia.
- Disminuye la velocidad de deslizamiento restringiendo físicamente el movimiento del agua y el suelo.
- Aumenta la capacidad del suelo, para almacenar agua, proporciona sombra, humus y desechos vegetales.
- Mejora la porosidad superficial del suelo, por medio de los sistemas radiculares que ayudan a romper el suelo y facilitan la infiltración de agua.

Las hojas y ramas de la vegetación a lo largo de los caminos proporcionan una capa o cubierta sobre el suelo y lo protegen de la precipitación y el viento fuerte. Los pastos o leguminosas proporcionan una cubierta más cercana a la

superficie de la tierra que los arbustos y árboles y deben ser utilizados cuando sea posible.

Sería ideal en el diseño de proyectos, que la menor cantidad de suelo sea desnudado y que sea protegido con una capa vegetativa; como se sabe que esto no es posible, el plan de trabajo debe tomar en cuenta la resiembra del área de impacto lo antes posible al terminar las actividades de construcción o mantenimiento. Si no es posible resembrar un área artificialmente, entonces se debe apoyar el proceso natural de recuperación con el restablecimiento de especies nativas de yerbas, pastos, arbustos, etc., para lograr una cubierta vegetativa, y reducir la posibilidad de erosión.

CÓMO SE PUEDE CONTROLAR LA EROSIÓN

La erosión puede controlarse reduciendo las fuerzas mecánicas del agua o el viento, aumentando la resistencia del suelo a la erosión o una combinación de lo anterior. La erosión por agua puede controlarse impidiendo el chapoteo, proporcionando una cubierta vegetal o una capa de cubierta muerta (residuos vegetales u otras materias orgánicas), a través de la cual el agua se cuele (filtre), en el suelo.

Otro medio de control de erosión por agua sería, impedir cualquier escurrimiento que siga excediendo la tasa de infiltración. Esto puede hacerse con barreras físicas, tales como, curvas de nivel, curvas de retención por medio de terrazas reforzadas con rocas, camellones o barreras vivientes hechas de pastos o arbustos naturales o plantados. La cubierta vegetal detiene algunas veces, tanto la erosión eólica como la de agua. También la erosión eólica puede reducirse plantando árboles y/o arbustos como cortina de rompeviento (Figura 11.1.2), la cual puede proporcionar otros beneficios, si se plantan árboles de uso múltiple, como leña, forraje, alimento, postes, etc.. También, en ciertas áreas se usan cubiertas de rastrojos para controlar la erosión eólica.

Existen varios métodos de controlar la erosión de caminos causada por el agua, entre los más comunes están:

- Reducir la cantidad de perturbación de terreno y el ancho de limpieza al mínimo posible para construir o mantener el camino a las normas deseadas.

- Aumentar, por métodos artificiales o naturales, la cubierta vegetal (gramíneas, arbustos, bejucos, árboles, etc.) en los taludes y áreas

con suelo desnudo a la mayor brevedad después de la intervención.

- Usar residuos vegetales para proteger el suelo.
- Plantar árboles con raíces profundas para estabilizar terrenos en declive.
- Usar canales de diversión.
- Construir terrazas en los taludes de relleno.
- Evitar alineaciones sensibles de camino.
- Controlar el volumen y la velocidad de agua sobre la superficie del camino.
- Otros métodos físicos y biotécnicos.

CÓMO LOS RESIDUOS VEGETALES COMBATEN LA EROSIÓN

Los residuos vegetales son, por ejemplo, las mazorcas, la paja de trigo, las malezas y restos similares dejados en el campo después de cosechar los cultivos. Estos pueden proporcionar un efectivo control de la erosión, reduciendo el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y disminuyendo el escurrimiento.

La práctica de dejar residuos vegetales en el campo se denomina cubierta retenedora de humedad (mulch en inglés) que es particularmente útil para proteger plantas jóvenes de las altas temperaturas del suelo, retener humedad del suelo, y contribuir a su fertilidad a medida que los residuos se descomponen.

La cubierta retenedora de humedad se puede dejar en la superficie, o integrarse a la capa superior mediante arado o rastra, cuando los restos se incorporan, la cantidad de materia orgánica en el suelo aumenta, y la estructura o composición de éste, su capacidad de infiltración así como su capacidad de retención de agua mejoran. Por otro lado, enterrar la cubierta reduce el porcentaje de cubierta superficial y suelta y el terreno queda más susceptible al efecto de la erosión por viento y agua (Figura 11.1.3).

EL CONTROL DE EROSIÓN DE CAMINOS CON DRENAJE

El sistema de drenaje de caminos involucra muchos aspectos de diseño para reducir al mínimo problemas de erosión. El uso de medidas de protección, tales como, desagües transversales naturales, protección y selección de alcantarillas con una capacidad adecuada, estructuras de control de agua en la entrada y salida de cunetas y tubos, revestimiento de las estructuras de tubos de bajada, la siembra de vegetación y aplicación de cubierta retenedora de humedad, los controles de agua en la superficie del camino con el uso de camellones y badenes, con peraltes hacia afuera, etc., reducen al mínimo el efecto asociado con erosión cuando existen problemas de drenaje.

Los puntos básicos para superar problemas de erosión en drenajes de caminos son:

- Transportar toda el agua que atraviesa el camino por medio de estructuras revestidas y descargarla en un sitio que ha sido protegido.
- Sacar el agua fuera de la superficie del camino evitando daño al camino y su estructura.
- Reducir al mínimo los cambios a desagües naturales.
- Disminuir la velocidad y reducir al mínimo la distancia que corre el agua.

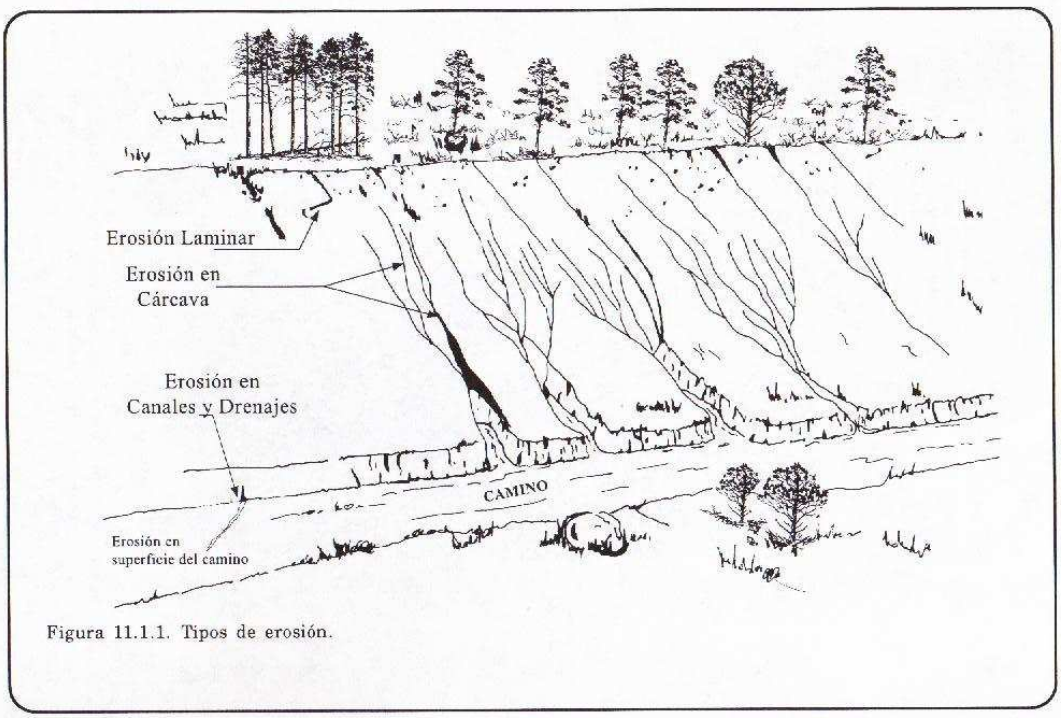


Figura 11.1.1. Tipos de erosión.

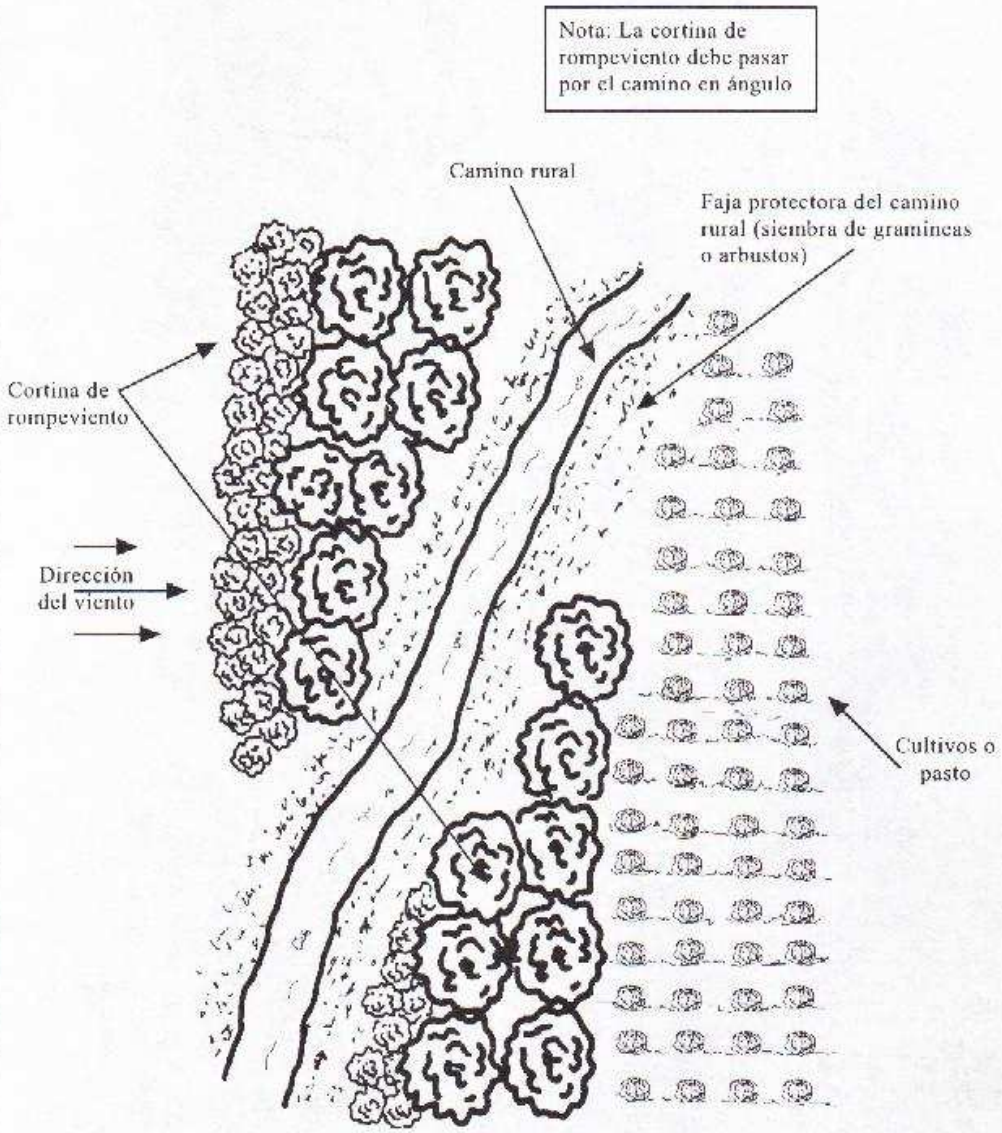
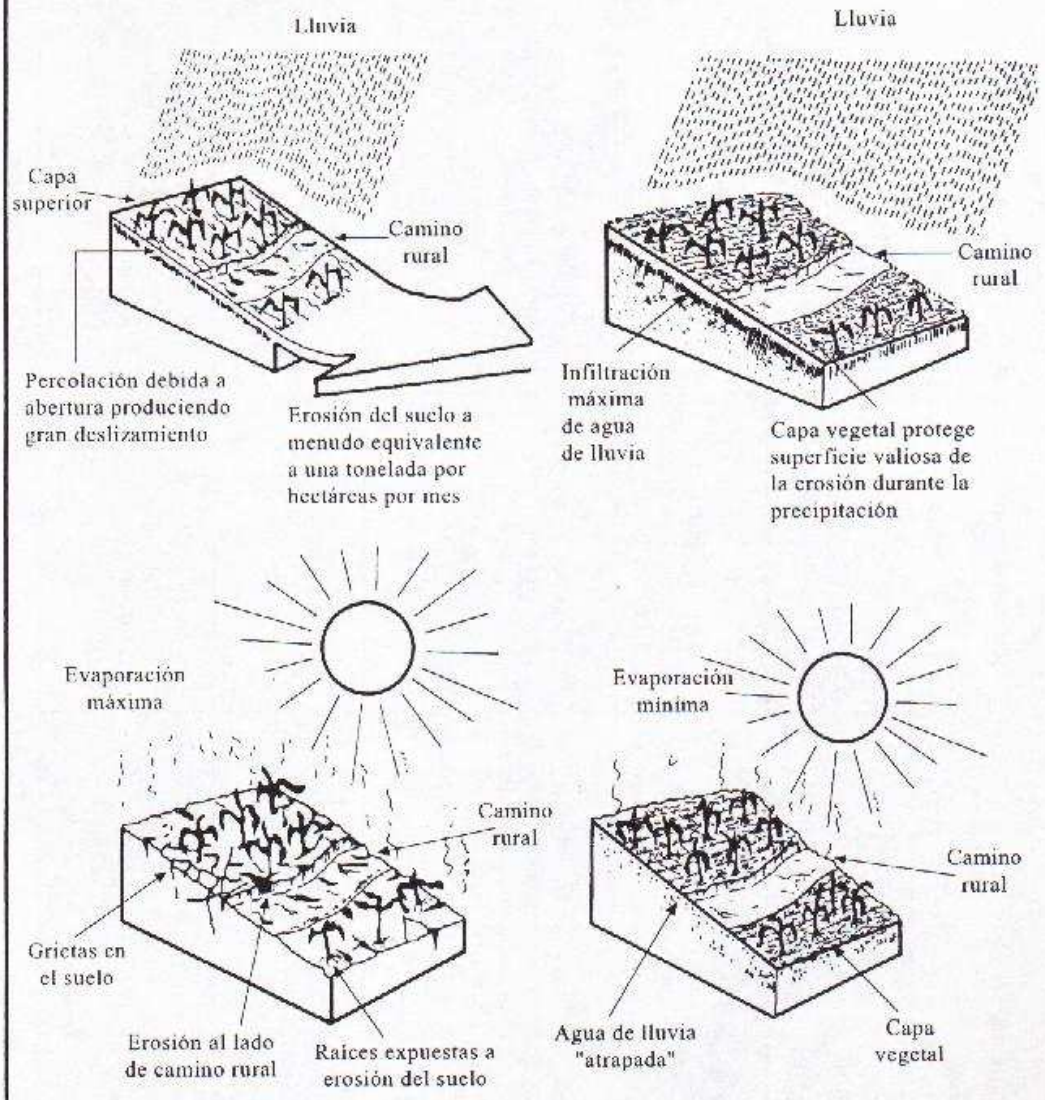


Figura 11.1.2. Ejemplo de una cortina de rompeviento para protección de la erosión en la ladera de un camino rural y un área de cultivos.

Fuente: Adaptado de Altieri, M.A. 1990.



Gráfica A - Suelo Arado

Gráfica B - Suelo Cubierto

Figura 11.1.3. Efectos del clima y la protección de erosión con residuos vegetales, ejemplo de un área al lado de un camino rural y bajo cultivación.

Fuente: Adaptado de Altieri, M.A. 1990.

Tabla 11.1.1. Efectos de la lluvia en la erosión de terreno y principales parámetros que afectan el fenómeno de erosión por lluvia.

Acciones directas o indirectamente erosivas de la lluvia	Mecanismo de acción	Efectos erosivos, directos o indirectos	Parámetros inherentes a la lluvia o al clima	Parámetros inherentes al terreno o a la geometría del talud
Impacto de las gotas	Disgregación	Erosión por escurrimiento laminar. Erosión por escurrimiento.	Intensidad de la lluvia (hasta un límite). Velocidad del viento durante la lluvia.	Orientación del talud respeto a los vientos.
Escurrimiento superficial	Disgregación Transporte	Erosión diferencial por diferentes resistencias al fenómeno en las distintas capas del terreno.	Intensidad de la lluvia y su duración.	Inclinación del talud. Áreas en la superficie expuesta del talud. Número de surcos y torrentes que se forman. Coeficiente de escurrimiento. Velocidad del agua. Concentración de arrastre sólido.
Infiltraciones	Nivel freático suspendido. Elevación del nivel freático.	Deslizamientos de tierras. Erosión interna, tubificación, etc.	Duración de la lluvia.	Inclinación del talud. Porosidad. Permeabilidad.
Humedecimiento y secado	Expansión y contracción	Fisuramiento. Pérdida de cohesión. Flujos estacionales.	Alternancia de estaciones secas y lluvias. Intensidad de acción solar pluviosidad.	Condiciones para la infiltración (protección, permeabilidad, inclinación) y para la evaporación (orientación al sol, protecciones, etc.).

Fuente: de Ricci y Del Castillo, Vol II, 1977.

SECCIÓN 11.2.
MÉTODOS FíSICOS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN

El control de erosión ha sido tradicionalmente realizado por una combinación de medidas físicas y vegetativas. Las medidas físicas se usan generalmente para el control de erosión en proyectos de construcción de camino y muchas actividades que perturban la tierra. La mayoría de los métodos o medidas físicas caen dentro de tres categorías generales:

- Los métodos que controlan o dirigen el agua - Estos incluyen las estructuras de control de drenaje tales como diques, canales de desagüe, desagües revestidos, diques de contención, fardos de heno, protector de sedimento, barreras vegetativas (usando material vivo y muerto), etc.

- Los que proveen protección de superficie contra la erosión - Las medidas de protección de superficie incluyen coberturas de suelo, tales como paja, grava, piezas de madera, cobertura retenedora de humedad, una amplia variedad de mallas o redes, cubierta de plástico, etc. Nótese nuevamente que muchos tipos de cobertura son más efectivas cuando se utilizan conjuntamente con métodos vegetativos.

- Los métodos que modifican el suelo o superficie - Estas medidas cambian la superficie del suelo, o el suelo mismo para hacer el material más resistente a la erosión. Esto incluye suelos tales como compactación, uso de estabilizadores y selladores de suelo.

Un resumen de las medidas de control de erosión usadas para controlar y dirigir el agua se presenta más adelante, y se resume en la Tabla 11.2.1. Una variedad de las estructuras de cortacorrientes se muestra en la Figura 11.2.1. Cualquier medida que dirige agua fuera de áreas erosivas, que dispersa agua antes de que se concentre, y que reduce la velocidad del agua puede disminuir la cantidad de erosión. Algunos ejemplos son:

- Diques y Desagües - Se usan para interceptar las correntadas y desviarlas a una salida estable o un área estabilizada. También se usan para prevenir que el escurrimiento entre en un área perturbada,

y para dirigir el escurrimiento cargado de sedimento fuera del área perturbada.

- Estructuras para Estabilización de Nivel de Desagües - Se usan para transportar el escurrimiento concentrado de alta velocidad hacia abajo de un talud sin ocasionar erosión.

- Cámaras de Sedimentación - Se usan para atrapar y retener el escurrimiento para permitir la sedimentación de las partículas en suspensión.

- Trampas de Sedimentos - Se usan para interceptar cantidades pequeñas de escurrimiento cargados de sedimento para permitir la sedimentación.

- Entradas Estabilizadas - Se usan para reducir el flujo o transporte de sedimento en la propiedad pública.

- Diques de Fardos de Heno - Se usan para interceptar y detener temporalmente la entrada de cantidades pequeñas de sedimento en áreas no protegidas.

- Cercas de Protección de Limo - Se usan para interceptar y detener el sedimento transportado en el escurrimiento proveniente de áreas perturbadas pequeñas y de taludes mientras disminuyen la velocidad de corriente.

- Diques de Contención - Se usan para reducir la velocidad de corrientes concentradas en bajíos, cárcavas o zanjas que desaguan áreas pequeñas.

- Desagües Revestidos - Se usan como estructuras permanentes para interceptar el escurrimiento y transportarlo a una salida estable sin socavación en el fondo del canal.

- Zampeados - Se usan para reforzar una vía fluvial de agua o proteger una salida contra las fuerzas erosivas, así como también proteger la superficie del suelo.

- Disipadores de Energía - Se usan para convertir el flujo de tubo a un flujo de canal y reducir la velocidad del agua donde las salidas de desagües o drenajes de aguas pluviales descargan en riachuelos y otros canales de drenaje.

- Desagües Transversales o Subdrenajes - Se usan para prevenir que el escurrimiento alcance el agua subterránea y el movimiento de

agua a un área húmeda, o regular el manto acuífero y el flujo de agua subterránea.

Los métodos planteados más adelante se usan para proveer la protección y cobertura de superficie contra la erosión y también, muchas de estas medidas mejoran la retención de humedad en el suelo. (ver Tabla 11.2.2.) La mayoría de las medidas son temporarias, durarán de unos meses hasta un par de años, mientras otras ofrecen una protección a largo plazo. Frecuentemente una o dos de las medidas siguientes se usan juntas, tales como, redes y paja:

- Cubierta de plástico y geotextiles - Puede ser una solución económica o cara (dependiendo del material usado) para proveer un revestimiento completo del terreno temporalmente. El flujo laminar del agua en el plástico frecuentemente tiene una velocidad aumentada y puede ocasionar problemas fuera del sitio.

- Cubierta retenedora de humedad de paja - Es una cubierta temporal de humedad que durará uno o dos años. La paja se deteriorará, sin efectos perniciosos sobre el crecimiento de plantas. Se aplica manualmente en los sitios pequeños, y en sitios grandes (mayor de una hectárea) con maquinaria. Si se usa sólo paja, estará sujeta al movimiento por la fuerza del viento. Para que sea efectivo, se debe aplicar en cantidades de por lo menos una a cinco toneladas por hectárea.

- Paja punzada o anclada con redes - Es una cubierta temporal de humedad, que es muy efectiva para establecer vegetación que no le afecte el viento, sin embargo, los animales pueden enredarse o atraparse en el mismo. Punzándola mejora su contacto con el suelo.

- Adherentes con paja - Es una cubierta temporal de humedad que se engoma en el lugar con un compuesto químico. Ofrece alta protección contra la erosión inmediata.

- Aserrín y viruta de madera - Es otra cubierta temporal retenedora de humedad, que se usa para el control de erosión y polvo o como una cubierta de humedad para revegetación. Estos ofrecen una protección de erosión regular. La viruta gruesa se aplica en una capa de por lo menos 5 cm.

- Cubiertas retenedoras de humedad de grava o piedra - Es un material temporal o relativamente permanente para el control de erosión, particularmente en áreas de construcción y en los caminos. Es muy efectivo para la protección de erosión cuando se aplican en un grosor de por lo menos 4 cm.

- Cubierta retenedora de humedad - Tipo Colchón - Es un producto elaborado de diversos materiales como, fibra de madera, viruta y hebras de madera, yute, etc., usado sólo o con paja o "hydromulch" para estabilizar superficies de taludes y control de erosión. Los fabricantes ofrecen colchones de diferentes espesores y niveles de calidad. Nótese que los colchones y redes tienen que ser bien fijados al suelo para evitar la formación de cárcavas en el caso de que el agua se filtre debajo del mismo.

- "Hydromulching" - Es un método mecanizado rápido para aplicar una cubierta retenedora de humedad a un área grande o con pendiente fuerte como los taludes. Sin embargo, se requiere facilidades de acceso para el equipo. Aunque rápido y económico, este tipo de material es generalmente menos efectivo que la paja o viruta de madera pesada.

- Fibra de Vidrio - El uso de fibra de vidrio contínua con adhesivo como una cubierta retenedora de humedad. La función del adhesivo consiste en fijar la fibra de vidrio a sí mismo y al suelo. Por sus propiedades este material no se deteriora tan rápidamente como los demás.

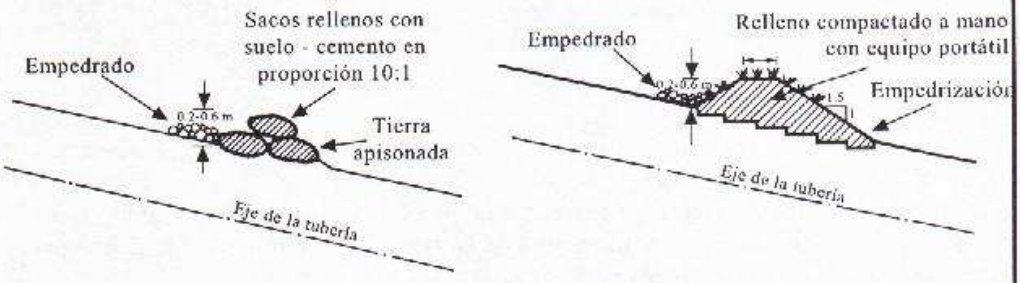
- Césped o abono orgánico - Es una cubierta natural temporal pero también promociona el desarrollo de la vegetación. El uso de éstos puede ser económicamente muy eficaz en función de los costos para controlar la erosión, dependiendo de la cantidad y tipo aplicado.

- Block de hormigón o concreto - Se puede utilizar esta opción en pendientes fuertes, y en conjunto con métodos de estabilización vegetativa, dejando espacios entre los bloques para la siembra. Sin embargo, no es generalmente deseable para el uso a largo plazo, y aunque esta opción es muy efectiva también es cara.

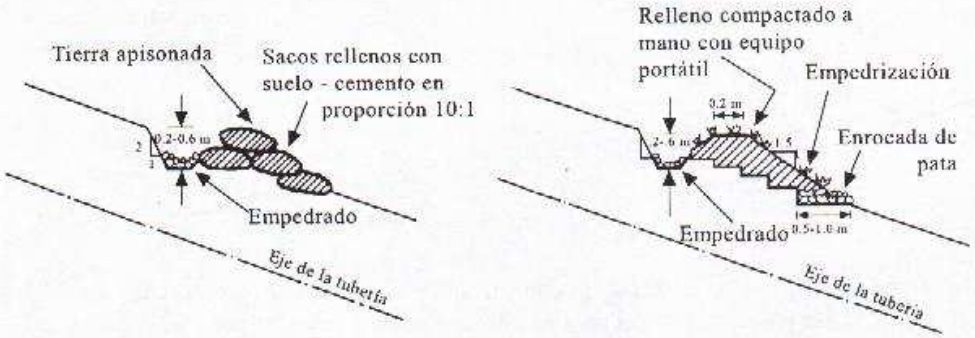
La modificación del suelo y el uso de selladores se usa ocasionalmente para reducir erosión. La medida comúnmente más utilizada que modifica el suelo y ofrece alguna protección de erosión es la compactación. La compactación del suelo y subsiguiente densificación del material mejora su resistencia a la erosión y al movimiento de partícula.

Desafortunadamente para los propósitos de estabilización por métodos vegetativos, la compactación desalienta el crecimiento de las plantas. Con compactación se pueden mejorar áreas grandes con un costo relativamente bajo. El nivel de protección proporcionado contra la erosión es considerado de bajo a medianamente bueno.

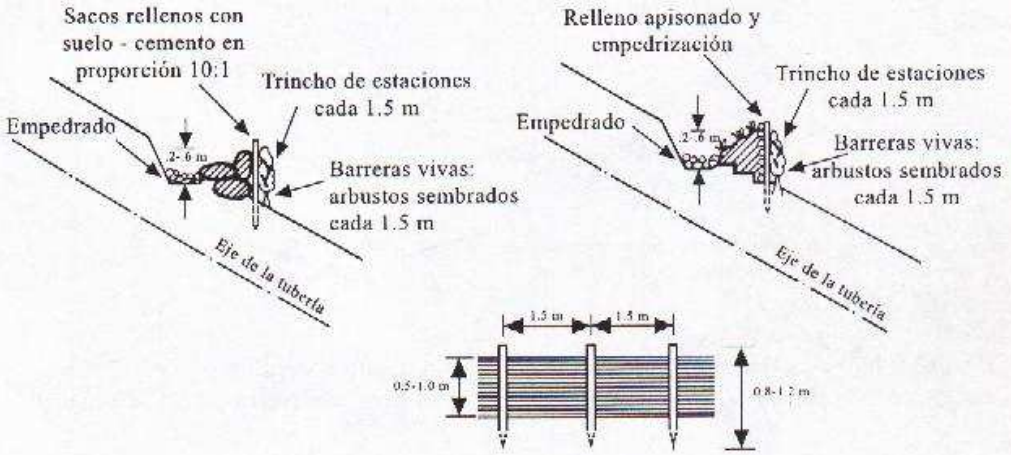
Existen en el mercado una amplia variedad de productos químicos para estabilizar y sellar el suelo. La mayoría de los productos de cemento promocionan la densificación para lograr una superficie dura, duradera, no-porosa y no-erosiva. Los productos requieren que se revuelvan con el suelo y después se compacten la mezcla, como se describe en la sección de Estabilización de Suelo, Capítulo 13. Los diversos productos incluyen asfalto, petróleo, cemento, enzimas, resinas, y otros químicos. Algunos pueden ser muy efectivos para controlar la erosión, aunque caros, pero otros problemas pueden existir, tales como la formación de grietas y baches, y puede restringir el crecimiento vegetativo.



Gráfica A - Tipo I.



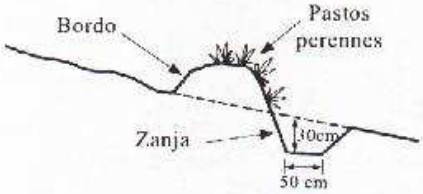
Gráfica B - Tipo II.

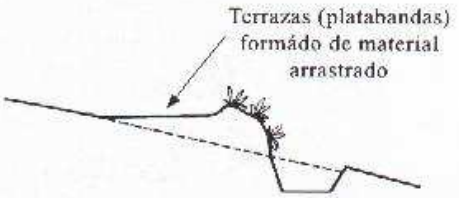


Gráfica C - Tipo III.

Figura 11.2.1. Diseño de cortacorrientes.

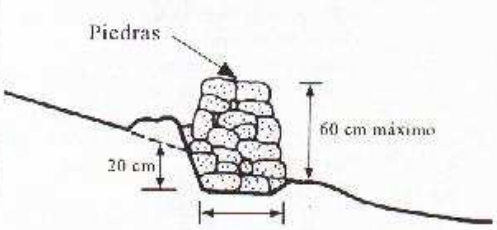
Fuente: Adaptado de Garcia L., 1991.

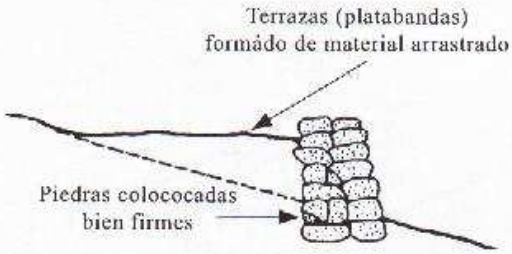




Formadas por la excavación de una zanja en línea de contorno, y la compactación de la tierra excavada en un bordo arriba de la zanja. El talud del bordo debe ser sembrado con pastos perennes para protección.

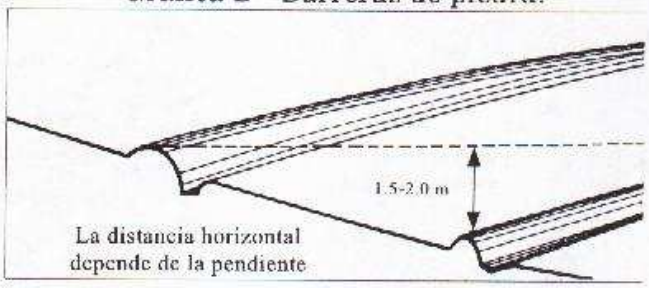
Gráfica A - Barreras de tierra.





En terrenos con mucha piedra se puede formar barreras o muros de piedra de contorno. Esta práctica es más apta donde se puede retirar las piedras del área de trabajo

Gráfica B - Barreras de piedra.

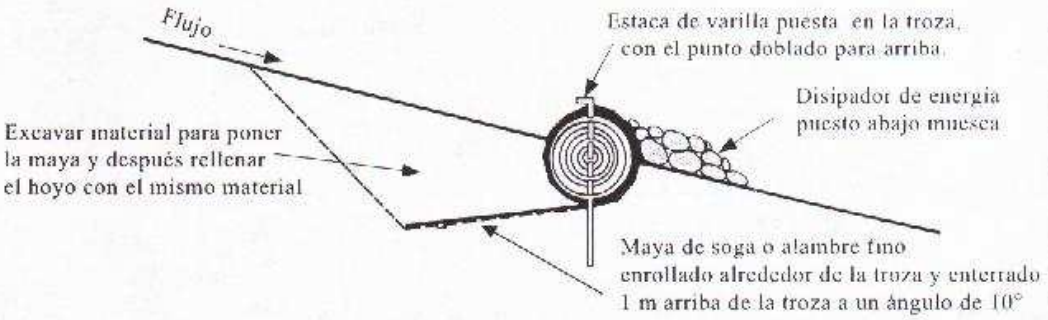


Bordos y barreras funcionan bien en terrenos con pendientes entre 5% y 25% en suelos erosionables. La distancia vertical entre bordos o barreras es 1.5-2.0 metros.

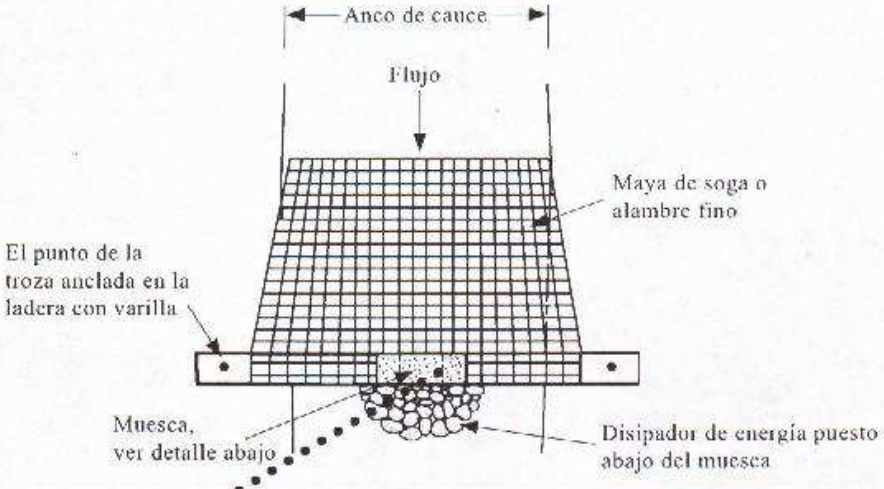
Gráfica C - Ubicación de los barreras.

Figura 11.2.2. Bordos y barreras en contorno.

Fuente: Adaptado de McDowell, W., 1993.



Gráfica A - Sección Transversal.



Gráfica B - Vista en Planta.

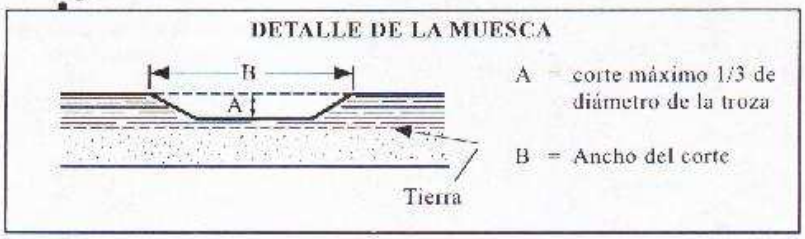
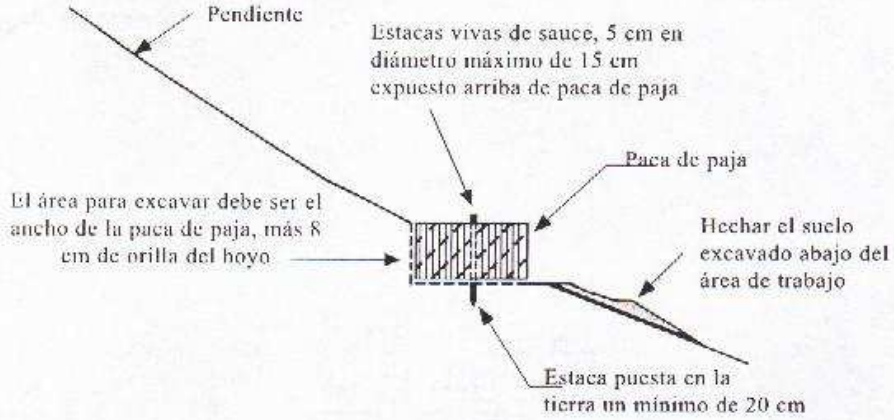


Figura 11.2.3. Diques de contención de trozas de madera.

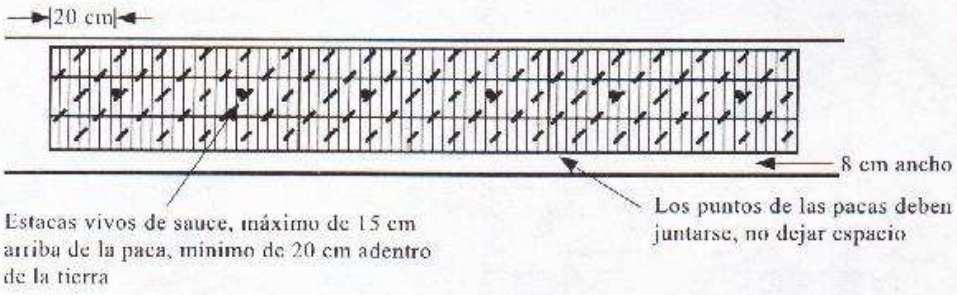
Fuente: Adaptado de Gray y Leiser, 1989.

Notas:

1. Las pacas de paja deben ser amarradas con pita.
2. Los puntos de las pacas deben tocarse.
3. Use estacas vivas de sauce.
4. Las pacas de paja deben ser puestos a 0% pendiente.



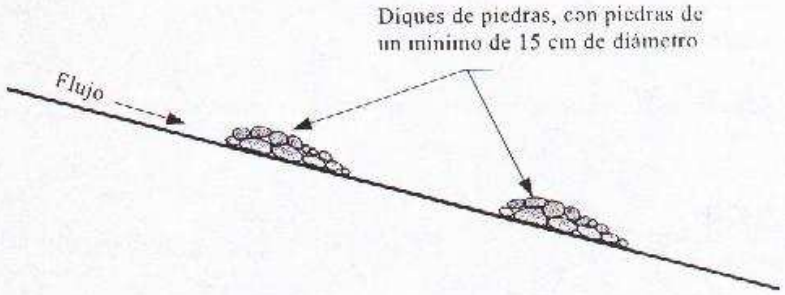
Gráfica A - Sección Transversal.



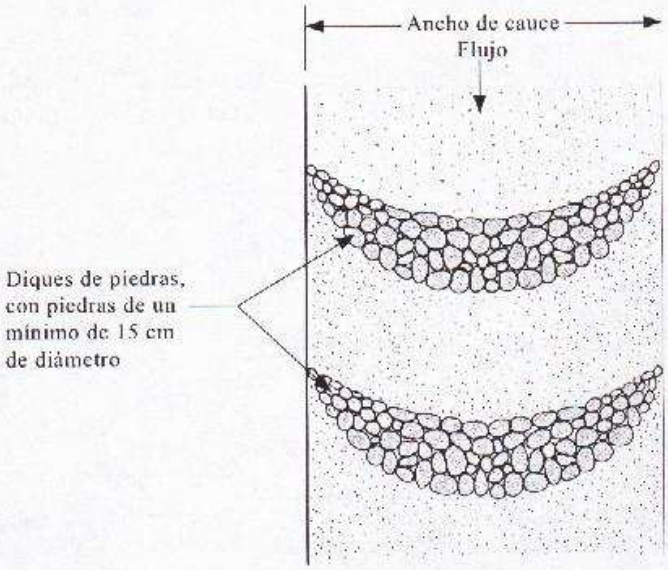
Gráfica B - Vista de Arriba.

Figura 11.2.4. Dique de contención o "cerca" de paca de paja.

Fuente: Adaptado de Gray y Leiser, 1989.



Gráfica A - Sección Típica.



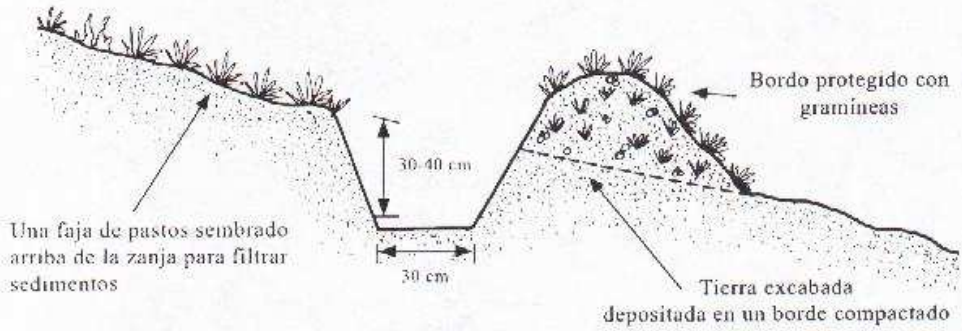
Gráfica A - Vista de arriba.

Figura 11.2.5. Dique de contención de piedra.

Fuente: Adaptado de Gray y Leiser, 1989.

DEFINCIÓN: Las zanjas de infiltración son estructuras conservacionistas que tienen la finalidad de captar, controlar e infiltrar en el suelo las aguas del escurrimiento. En lugares donde las lluvias fuertes causan un exceso de escurrimiento, las zanjas pueden ser diseñadas con un desagüe. Támbien se llaman zanjas de ladera.

FORMA: La zanja de infiltración normalmente se coloca en contorno:



Si es necesario un desagüe, existen dos formas: 1) zanja en contorno (pendiente 0%) con la parte lateral abierta, y 2) zanja con pendiente ligera (0.5%) pero con pequeños diques de tierra en la zanja.

Gráfica A.

Las zanjas de infiltración se colocan en praderas para controlar el escurrimiento y ayudar al establecimiento de árboles. Tambión, encima de parcelas cultivadas y en parcelas de cultivo con un 25% a 50% de pendiente.

Gráfica B - Ubicación de la zanja.

Figura 11.2.6. Zanjas de infiltración.

Fuente: Adaptado de McDowell, W., 1993.

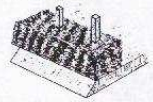
Tabla 11.2.1. Sumario de medidas físicas para el control de erosión.

Medida de Control (física)	Propósito	Condición con Necesidad de Control					
		Corte	Relleno	Área sin vegetación, con poca pendiente o plana	Ribera de Quebrada Erosio-nando	Bajío Erosio-nando	Protección de Propeidad Contigua
1. Diques y Desagües	Interceptar correntadas y desviar-las a una estructura estable o prevenir que el escurrimiento entre en un área perturbada y dirigir escurrimiento cargado de sedimen-to fuera de una área perturbada.	○	●	●			●
2. Estructura para Estabilización de Flujo de Desagüe	Llevar escurrimiento concentrado de alta velocidad para abajo sin causar erosión.	●	●				
3. Cámara de Sedimentación	Colectar y detener escurrimiento para promover el asentamiento del sedimento.	●	●	●			●

Llave: ● Medio de control de preferencia ○ Alternativo de medio de control, menos efectiva

Fuente: Association of Bay Area Governments, 1981

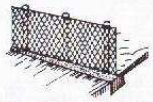
Tabla 11.2.1. Sumario de medidas físicas para el control de erosión (continuación).

Medida de Control (física)	Propósito	Condición con Necesidad de Control					
		Corte	Relleno	Área sin vegetación, con poca pendiente o plana	Ribera de Quebrada Erosio-nando	Bajío Erosio-nando	Protección de Propeidad Contigua
4. Trampa de Sedimentos	Interceptar bajos volúmenes de escurrimiento que lleva sedimento y atrapar el sedimento.	○	○	●			●
5. Entradas y Áreas Estabilizadas	Reducir el flujo de sedimento en las servidumbres públicos.						●
6. Dique de Paca de Paja 	Interceptar y detener bajos volúmenes de sedimento para evitar su entrada a las pequeñas áreas sin protección.			○			○

Llave: ● Medio de control de preferencia ○ Alternativo de medio de control, menos efectiva

Fuente: Association of Bay Area Governments, 1981.

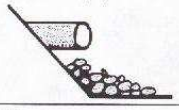
Tabla 11.2.1. Sumario de medidas físicas para el control de erosión (continuación).

Medida de Control (física)	Propósito	Condición con Necesidad de Control					
		Corte	Relleno	Área sin vegetación, con poca pendiente o plana	Ribera de Quebrada Erosio-nando	Bajío Erosio-nando	Protección de Propeidad Contigua
7. Cerca de Protección de Limo 	Interceptar y detener el sedimento de escurrimiento en zonas erosionales y para reducir la velocidad del mismo.			○			○
8. Dique de Contención	Reducir la velocidad del flujo de las correntadas en bajíos o cunetas para desaguar áreas pequeñas.					●	●
9. Vía Fluvial de Agua Permanente	Interceptar escurrimientos para llevarlos a una salida estabilizada.	○	○		●	●	

Llave: ● Medio de control de preferencia ○ Alternativo de medio de control, menos efectiva

Fuente: Association of Bay Area Governments, 1981

Tabla 11.2.1. Sumario de medidas físicas para el control de erosión (continuación).

Medida de Control (física)	Propósito	Condición con Necesidad de Control					
		Corte	Relleno	Área sin vegetación, con poca pendiente o plana	Ribera de Quebrada Erosio-nando	Bajío Erosio-nando	Protección de Propeidad Contigua
10. Desagüe Revestido y Zampeado Permanente	Proteger la superficie del suelo, desagües o salidas de la fuerza del agua.	○			●	●	
11. Disipador de Energía y Protección de Salida 	Convertir el flujo de tubería a flujo de canal para reducir la velocidad del agua donde las salidas y los desagües de agua pluvial se descarga en riachuelos o canales de drenaje.				●	●	○
12. Subdrenaje	Desaguar o prevenir que el escurrimiento penetre un área húmeda, para regular el nivel y flujo del agua freática y mejorar el desarrollo del material vegetativo y para desaguar la depresión sedimentaria natural.	○	○	○			○

Llave: ● Medio de control de preferencia ○ Alternativo de medio de control, menos efectiva

Fuente: Association of Bay Area Governments, 1981.

Tabla 11.2.2. Listado de las cubiertas protegidas y las cubiertas de retención de humedad.

Tipo de cubierta	Efectividad en control de erosión inmediata	Efectividad en la estabilidad de la vegetación	Comentarios
Cubierta de plástico y geotextiles	Alto	------	Uso temporario; cubierto de retención de humedad para arbustos
Cubierta de retención de la humedad (CRH)	Mediano	Mediano	Para pendientes planas y áreas con poco viento
Paja punzada	Mediano	Alto	Bueno para usar junto con vegetación
Paja anclada con redes o maya	Alto	Alto	Retenga la paja sobre la pendiente
Adherentes con paja	Alto	Mediano-Alto	Pegando la paja a los adherentes previene que sea llevado por el viento
Aserrín y viruta de madera	Mediano	Mediano	Para áreas con pendientes planas o en gradas
Grava, piedras	Alto	Mediano	Ayuda estailización de vegetación.
CRH tipo colchón	Mediano	Mediano	----------
Fibra de madera	Mediano	Mediano	Puesta sobre superficie picada
Estiércol de vaca lavada	Mediano	Mediano	Igual a fibra de madera

Tabla 11.2.2. Listado de las cubiertas protegidas y las cubiertas de retención de humedad (continuación).

Tipo de cubierta	Efectividad en control de erosión inmediata	Efectividad en la estabilidad de la vegetación	Comentarios
Viruta de madera mezclada con asfalto	Mediano-Alto	Mediano	Buen uso de desperdicios de madera
CRH química	Mediano-Alto	Ninguno-Bajo	La química aumenta cohesión pero reduce la porosidad
Fibra de madera mezclada con CRH química	Alto	Alto	Mejora retención de la fibra sobre pendientes y mejora la germinación.
Colchón de viruta de madera	Alto	Alto	Cubierta de maya y grapada en áreas con viento
Fibra de vidrio	Mediano	Mediano	Disponible suelta o en maya
Fibra de vidrio mezclada con asfalto	Alto	Alto	Puede ser difícil de mantener
Yute	Mediano-Alto	Mediano-Alto	Debe usarse sobre pendientes livianas
Yute con paja	Alto	Alto	Puede usarse sobre pendientes difíciles
Tepes	Alto	Alto	Requiere mantenimiento
Bloc de hormigón o concreto	Alto	Alto	Para estabilizar áreas con mucha pendiente y proveer vegetación

SECCIÓN 11.3.
MÉTODOS VEGETATIVOS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN

Los métodos vegetativos para el control de erosión y estabilización de suelos pueden realizarse en una variedad de maneras, y tener algunas ventajas muy significativas, particularmente si se utilizan conjuntamente con otras medidas físicas o de drenaje. El control vegetativo de erosión usa materiales naturales y cuenta con las propiedades naturales de la vegetación para: amortiguar el impacto de la lluvia, disminuir la velocidad de agua, extraer la humedad del suelo, y fortalecer el suelo con los sistemas radiculares, todo en conjunto ayudando para restringir el movimiento del suelo. Además, el costo de los materiales que se necesitan son relativamente económicos, se puede cubrir un área grande, y el resultado final será estético y "natural".

Los métodos del control de erosión vegetativos involucrarán el uso de especies herbáceas (pastos, hierbajos y leguminosos, y leñosos (árboles, arbustos y malezas) usados independientemente o en combinación para obtener los resultados deseados (Tabla 11.3.1).

La vegetación herbácea, especialmente hierbajos y pastos, se usa para proveer protección a largo plazo contra la erosión superficial (de agua y eólica) en las laderas y otras áreas expuestas, y provee protección menor solamente contra el movimiento de masa somera. Este tipo de vegetación ayuda en la prevención de erosión superficial en la siguiente manera:

- Fijar y amarrar las partículas de suelo en el lugar mediante sistemas de raíces bien desarrollados (Figura 11.3.1).
- Reducir el transporte de sedimento.
- Interceptar las gotas de lluvia.
- Disminuir la velocidad de agua superficial.
- Mejorar y mantener la capacidad de infiltración del suelo.
- Formar una capa densa de vegetación que cubra la superficie del suelo.

La vegetación leñosa más profunda-arraigada que la herbácea, provee protección mayor contra el movimiento somero de masa, y sirve para:

- Reforzar y estabilizar mecánicamente el suelo con sus raíces profundas.
- Reducir la cantidad de agua en el suelo mediante transpiración e intercepción.
- Reforzar y fijar el suelo a través de las raíces.
- Reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo.

Las barreras vivas o setos vivos de vegetación leñosa ofrecen otra aplicación útil para el control de erosión. Se debe sembrar las barreras en contorno para dispersar adecuadamente el agua. Esta práctica se usa mayormente como barrera en tierra agrícola, para separar los cultivos o los campos, y para controlar erosión en las laderas. Sin embargo, se pude aplicar el uso fácilmente a cualquiera de las áreas perturbadas, tales como los bancos de préstamo o ponerlas atravesando el pie de una pendiente de relleno para atrapar sedimento.

Un número limitado de especies leñosas pueden ser podadas y rebrotará y propogarán sembrados como estacas alrededor de estructuras y entre las fisuras de roca, etc. Este aspecto es una consideración muy importante en las medidas biotécnicas incluidas en la siguiente sección. La ventaja del uso de estas especies es la facilidad con que se puede realizar el objetivo de revegetación, con un costo muy razonable.

Una de las especies leñosas más utilizada para estos propósitos por su característica de echar raíces fácilmente es el Sauce de la Familia Salix. Muchas variedades de esta planta se encuentran alrededor del mundo, sin embargo, como existen muchas otras especies de plantas que también tienen estas características y están generalmente disponibles en la mayoría de las áreas, vale la pena investigar. Se puede producir un "catálogo" de especies de plantas nativas o locales que se propogan por "estaca" para un proyecto de control de erosión por medio de un intercambio con los pobladores locales, agricultores, agrónomos, agentes de extensión, o los cuadrilleros de mantenimiento de caminos.

La Tabla 11.3.2 enumera especies de plantas leñosas y herbáceas que pueden usarse para el control de erosión a lo largo de caminos rurales en

Guatemala. Muchas de estas mismas especies, o especies similares de las mismas familias, pueden usarse en otros países de Centroamérica.

Idealmente el cuidado o la técnica empleada en la siembra de material para el control de erosión debe ser similar a las prácticas utilizadas en la jardinización con la siembra de flores, árboles o un césped. Los materiales y los pasos del proceso de vegetación o revegetación deben ser bien planificados e implementados lógicamente como parte de un plan global de revegetación.

LAS CONSIDERACIONES Y LOS COMPONENTES DE UN PLAN DE REVEGETACIÓN

El uso de vegetación para el control de erosión a lo largo de caminos rurales requerirá una inversión de muchos recursos por parte de la agencia de camino, tales como tiempo de personal, material y equipo. A fin de utilizar estos recursos limitados en una manera eficiente, efectiva y con un costo mínimo será beneficioso planificar adecuadamente las actividades necesarias antes del inicio del proyecto y plasmarlo en un Plan de Revegetación. Este plan no debe involucrar mucho tiempo para la elaboración ni ser muy complicado, y basta con una ó dos páginas no más. En realidad, la complejidad del plan depende de la intensidad del proyecto y el nivel de problemas de erosión o problemas potenciales en el área de proyecto. Una ayuda para orientar al usuario en el desarrollo de su plan, se presenta en el resumen generalizado de "un" plan en la Tabla 11.3.3.

Algunos aspectos importantes para considerar en la planificación del control de erosión y el desarrollo de un plan de revegetación son los siguientes:

- Tipo de Vegetación - Escoger cuidadosamente el tipo y la fuente de la vegetación para el mejor alcance de las metas específicas. La planificación de proyecto debe considerar la ubicación, la vista, el clima y microclima, el tipo de suelo y su fertilidad, y la época de siembra. La Figura 11.3.1 muestra algunos de los diferentes sistemas radiculares y cubiertas de suelos vegetativas que se deben considerar para alcanzar los objetivos del proyecto.

- Especies Nativas - Considerar el uso de especies nativas o disponibles localmente, cómo se adaptan y logran mejor en el sitio. Para sitios difíciles, tales como, ambientes áridos, las parcelas de ensayo deberían establecerse temprano en cualquier proyecto para determinar

qué especies y métodos logran mejores resultados. Se debe considerar la necesidad de establecer un vivero para aclimatar y adaptar plantas a las condiciones prevalentes en el área de proyecto.

- Tipo de Material - Considerar si el uso de semillas, recortes, o trasplante de un semillero, etc. será más ventajoso.

- Selección de Semilla - Seleccionar la semilla en base a su calidad, resistencia, y propiedades de germinación. Se debe determinar la cantidad requerida por área.

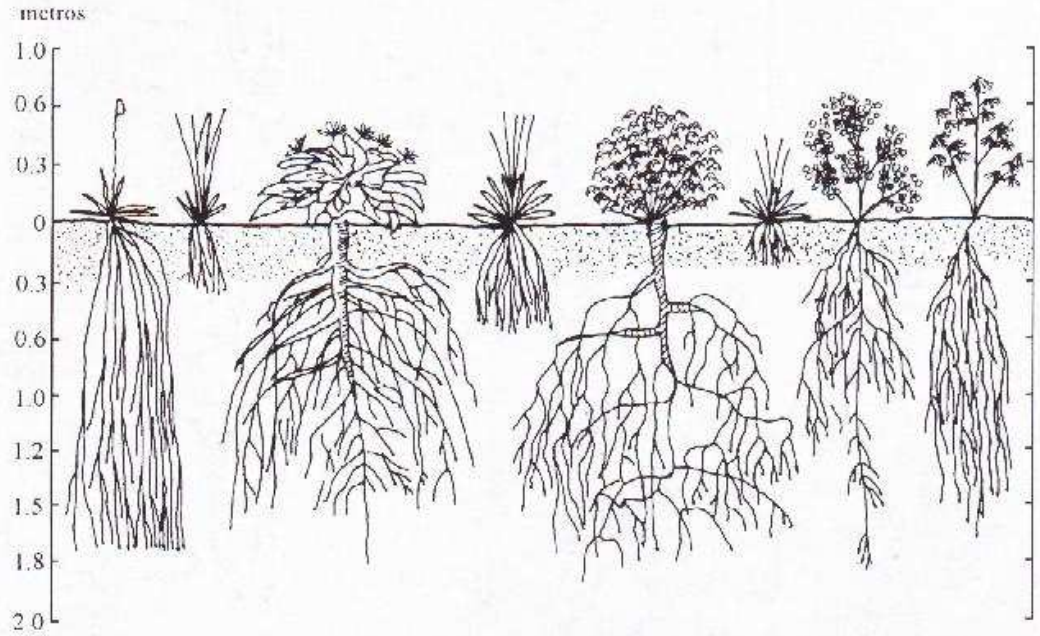
- Preparación de Sitio - Preparar los semilleros, el sitio para la siembra, o los hoyos individuales; enmendando material necesario para promover el crecimiento. Como un dicho común de los norteamericanos: "Haz un hoyo que cueste $10 para sembrar un árbol que vale $1!". La justificación del gasto adicional inicial, cualquier esfuerzo y costo para preparar el sitio apropiadamente, a lo largo representará un ahorro cien veces más y resultará en un proyecto exitoso. La Figura 11.3.2 muestra la secuencia típica para la siembra de plantitas en un proyecto de control de erosión.

- Cuidado de las Plantas - Manejar las plantas con cuidado y no permitirles que se sequen durante el almacenaje, el transporte y la siembra.

- Mantenimiento - Regar las plantas después de la siembra y cuando lo necesitan; protegerlas de animales, plagas y enfermedades; fertilizándolas ocasionalmente para lograr el crecimiento deseado. Nótese que no es recomendado regar ni fertilizar las plantas en la mayoría de las aplicaciones a menos que tal cuidado es absolutamente necesario para el crecimiento inicial y a menos que pueda continuarse durante la etapa inicial. Se deben planificar el mantenimiento del sitio por unos 6 meses hasta un año después de terminar la fase inicial.

La mayoría de los proyectos de revegetación no serán 100 por ciento exitosos. Se tendrá que reemplazar algunos de los árboles o arbustos que se mueren de enfermedades o por ataques de animales o plagas o por condiciones climatológicas. Asimismo, algunas áreas sembradas con pasto sufrirán lo mismo y tendrán que ser replantados. Como con la mayoría de los proyectos, el mantenimiento será necesario y la planificación debe tomarse en cuenta. Sin embargo, una ventaja importante de estabilización vegetativa es que con el tiempo, la vegetación adecuadamente seleccionada puede llegar a ser auto-suficiente. Un excelente texto de referencia sobre muchos de los aspectos de los

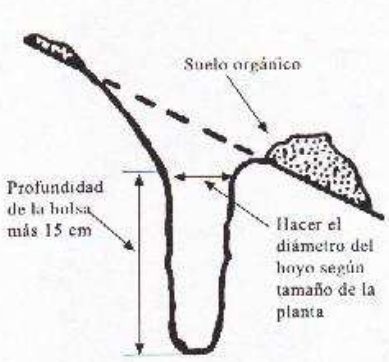
requerimientos y métodos de control vegetativos de erosión se encuentra en la obra "Biotechnical Slope Stabilization and Erosion Control", de Donald Gray y Andrew Leiser (vea la Bibliografía).



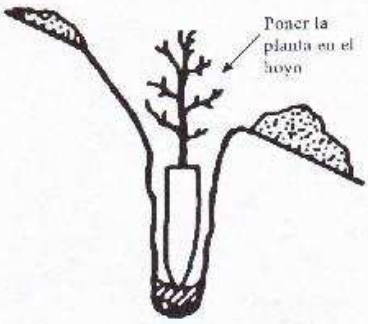
Nota:
Es importante ver la gran diferencia en la profundidad y la anchura de los sistemas de raíces de diferentes plantas creciendo bajo las mismas condiciones. La profundidad y extension de las raíces son factores muy importantes en la selección de las plantas que se usarán para la estabilización de suelo y control de erosión. La estabilización de suelo y protección de derrumbes es mejor cuando se usan especies de plantas con raíces profundas.

Figura 11.3.1. Ejemplo de la diferencia en el desarrollo de las raíces de varias especies de plantas creciendo en los mismos tipos de suelo.

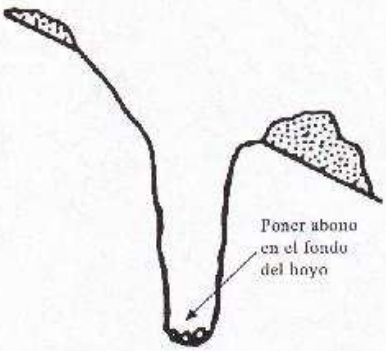
Fuente: Adaptado de Gray y Leiser, 1982



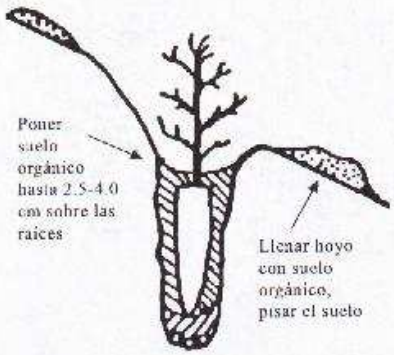
Gráfica A.



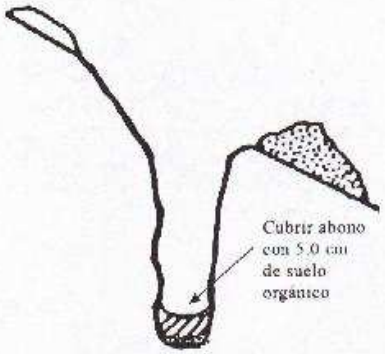
Gráfica D.



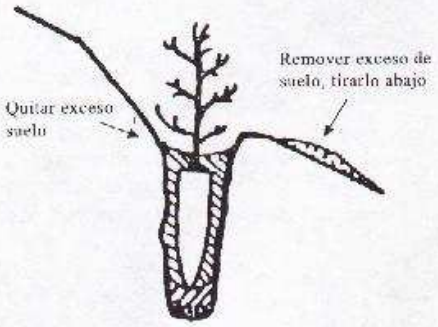
Gráfica B.



Gráfica E.



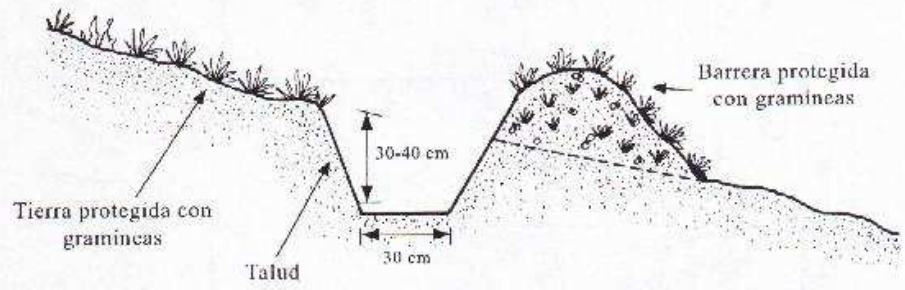
Gráfica C.



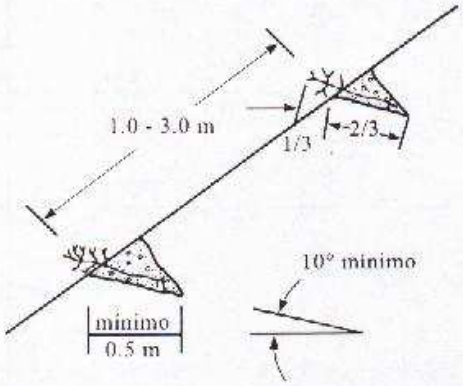
Gráfica F.

Figura 11.3.2. Los pasos para sembrar árboles en una pendiente para control de erosión.

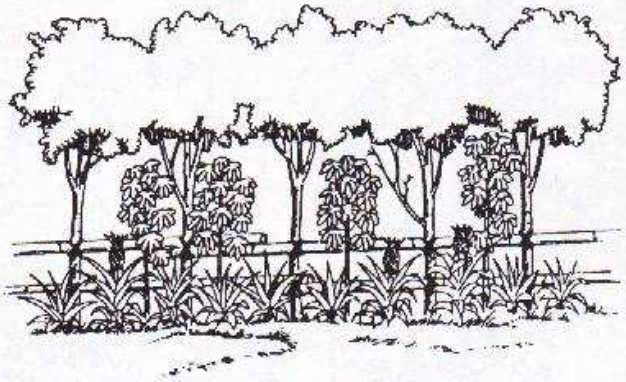
Fuente: A. Leiser.



Gráfica A - Corte transversal de una acequia de ladera.



Gráfica B.



Gráfica C.

Figura 11.3.3. Uso típico de vegetación para disipar escorrentía superficial y reducir el impacto de las gotas de lluvia.

Tabla 11.3.1. Sumario de medidas vegetativas y biotécnicas para el control de la erosión.

Medida de Control (vegetativa y biotécnica)	Propósito	Condición con Necesidad de Control					
		Corte	Relleno	Área sin vegetación, con poco pendiente o plana	Ribera de quebrada erosionando	Bajío erosionando	Protección de propiedad contigua
1. Sembrando en Suelos Desnudos	Estabilizar el suelo, absorbiendo el impacto de la lluvia, reduciendo la velocidad de la escorrentía, y promoviendo la filtración de la precipitación en el suelo.	●	●	●			●
2. Protección de Diques, Vías de Agua, etc. con Gramíneas	Proteger los drenajes, reduciendo la velocidad del flujo de agua sobre la superficie del suelo y amarrando las partículas de suelo con las raíces.				●	●	●
3. Tratamiento Biotécnico (Muro de Roca con Árboles)	Combinar la estabilidad física con los beneficios del uso de vegetación, tales como, esfuerza de las raíces, control de erosión, y capacidad de desaguar el suelo.	●	●	○	●	○	

Llave: ● Medio de control de preferencia ○ Alternativo de medio de control, menos efectiva

Fuente: Association of Bay Area Governments, 1981

Tabla 11.3.2 Lista de especies de árboles, arbustos y gramíneas que se pueden usar para control de erosión.

LISTA DE ÁRBOLES

Nombre	Altura Promedio (metros)	Suelos	Cómo se Propaga	Consideraciones Especiales	Zonas Ecológicas
Acacia amarilla; (*Cassia siamea*)	18	ácidos o alcalinos; arcillosos o arenosos	semilla; planta	soporta 4-8 meses de estación seca	0-1,500 m; trópico cálido
Aliso (*Alnus acuminata*) (*Alnus jorulensis*)	10-30	frescos; cerca de ríos; sitios húmedos	planta	soporta helados breves y inundaciones	1,300-3,200 m; altas y frías
Aripín; (*Caesalpina velutina*)	5-12	rango amplio	semilla; planta	la especie rebrota	0-900 m; bajas y cálidas
Casuarina (*Casuarina equistifolin*)	15-30	rango amplio	planta	se lo comen los animales, tolera 6-8 meses de sequía	0-1,800 m; todas las zonas
Cuje (*Inga* spp.)	10-20	ácidos y cálidos bien drenados	semilla; planta	la especie rebrota	0-1,000 m; altas y lluviosas templadas costeñas
Guachipilín (*Diphysa robinoides*)	5-9	rango amplio	semilla; planta	alcanza 23 m en buen sitio, rebota bien	0-1,500 m; altas y lluviosas, templadas, costeñas
Madre cacao (*Gliricidia sepium*)	10-12	rango amplio	semilla; planta; estaca	tolera 6-8 meses de sequía	0-1,600 m; varias zonas
Nim (*Azadirachta indica*)	18	rango amplio; pobre	semilla; planta;	no nativo; tolera suelos salinos encharcados	50-1,500 m; bajas y cálidas

Tabla 11.3.2 Lista de especies de árboles, arbustos y gramíneas que se pueden usar para control de erosión (continuación).

LISTA DE ARBUSTOS

Nombre	Altura Promedio (metros)	Suelos	Cómo se Propaga	Consideraciones Especiales	Zonas Ecológicas
Chauté (*Tecoma stans*)	3	pobre pero bien drenado	semilla; planta	es una especie pionera	0-1,800 m; bajas y cálidas
Flor barbona o Barbón (*Caesalpinia pulcherrima*)	2-5	llanuras y pendientes secas	semilla; planta	crece bien con el Palo de rayo	0-900 m; valles
Gandúl (*Canajus cajan*)	3	rango amplio	semilla; planta	no tolera inundaciones	0-1,000 m; bajas y cálidas, áreas húmedas
Guayaba (*Psidium guajava*)	10	rango amplio	semilla; planta	--	0-1,000; varias zonas
Palo de rayo (*Parkinsonia aculeata*)	6	rango amplio	semilla	rocosos y arenosos, calizoa y salinos	0-1,300 m; áridos y semiáridos áridos
Plumajillo (*Alavaradao amorphoides*)	15	rango amplio	semilla; planta	es una especie pionera	0-1,400 m; bajas y cálidas
Sauce (*Salix* spp.)	12	rango amplio	estacas; estaquillas	generalmente en sitios húmedos	montañas al nivel del mar
Yaje (*Leucaena leucocephala*)	10	rango amplio	semillas; planta; estaca	no crece bien en suelo barroso o ácido,	0-800 m; bajas cálidas y zonas costeñas

Tabla 11.3.2 Lista de especies de árboles, arbustos y gramíneas que se pueden usar para control de erosión (continuación).

LISTA DE GRAMÍNEAS

Nombre	Habitat	Cómo se Propaga	Consideraciones Especiales	Zonas Ecológicas
Bermuda, Grama de gallina (*Cynodon dactylon*)	campos abiertos	guias	----------	0-1,200 m
Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*)	orillas de caminos; potreros	guias y tepes	muy común; es un	1,000-3,000 m; templado yfrio invasor
Zacatón o Zacate de Guinea (*Panicum maximum*)	campos y lugares incultos	división de matas	----------	0-1,500 m; cálido y templado
Napier enano (*Pennisetum purpureum*)	orillas de caminos; cultivado	caña	muy común; usado	0-1,800 m; cálido templado para hacer barrias y frio vivas
Dactilo (*Lolium multiflorum*)	áreas de cultivos	división de matas	bueno para forrje para animales	1,200-3,000 m; templado y frio
Jaragua (*Hyparrenia rufa*)	lugares abiertos; laderas de matorales	semilla	----------	0-1,400 m; cálido y templado
Estrella africana (*Cynodon plestostachyus*)	----------	guias	----------	0-1,300 m; cálido y templado
Bambú (*Bambusa* sp.)	áreas humedas	caña	muy bueno para	0-,2500 m; cálido y templado hacer diques de contención

Tabla 11.3.3. Ejemplo de un plan de control de erosión y revegetación de proyectos de caminos rurales.

Plan General de Control de Erosión y Revegetación

A. Descripción del Proyecto
   1. Propósitos y Objetivos
   2. Localización
   3. Trabajo Planificado
   4. Descripción del Ambiente Físico

B. Descripción de los Problemas
   1. Clases de los Problemas
      a. Identificación de los tipos de erosión
   2. Causas de los Problemas
      a. Identificación de las causas de los problemas

C. Soluciones para los Problemas
   1. Diseño para resolver los problemas (debo incluir fotografías, dibujos, mapas, etc.)
      a. Incluir descripción detallada de cómo resolverá los problemas. Debo definir lo siguiente:
         1. El técnico de control que usará
            •Técnica vegetativa vs. Biotécnica vs. Física o combinación
         2. La época en que va a hacerlo
            •Mes del año
         3. Los tipos y especies de plantas que va a usar
            •Gramíneas vs. Arbustos vs. Árboles o combinación
         4. El tipo de material vegetativo
            •Semillas vs. Transplantes vs. Estacas vs. Recortes vs. Espigas, etc.
         5. Los costos estimados para implementar el control de erosión
         6. Mantenimiento y cuidado
            •Definir cómo va a mantener el trabajo después que está cumplido

D. Necesidades de Equipo y Personal
   1. Personal
      a. Técnico y mano de obra
   2. Material Vegetativo
   3. Herramientas
      a. Incluir picos, palas, clavos, alambre, y otros tipos de materiales físicos

Tabla 11.3.3. Ejemplo de un plan de control de erosión y revegetación de proyectos de caminos rurales (continuación).

Control de Erosión: Métodos Vegetativos y Biotécnicos

E. Monitoreo
   1. Durante el proyecto
   2. Después del proyecto

F. Fotografías
   1. Fotografías que muestran las condiciones actuales del área
   2. Establezca y describa puntos fijos, haga en ellos fotografías para hacer comparaciones de antes y después del proyecto

G. Mapas
   1. Mapa de localización (a pequeña escala)
   2. Mapa del área del proyecto (a gran escala) que muestre la localización de controles específicos y otras actividades.

SECCIÓN 11.4.
MEDIDAS BIOTECNOLÓGICAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

La biotecnología, o la aplicación de medidas biotecnológicas para estabilizar pendientes y para controlar erosión en proyectos, ha sido utilizada por siglos y ha sido practicada en diversos países durante los últimos cincuenta años. Sin embargo, su aplicación difundida ha comenzado solamente durante este decenio pasado. La bioingeniería de suelos combina los conceptos ecológicos, biológicos y mecánicos para contrarrestar y prevenir erosión y fallo somero en los taludes. Estas prácticas involucran el uso de la materia viva por sí sola para formar estructuras, o usada conjuntamente con estructuras muertas, tales como cribado, zampeado y paredes de roca para crear una estructura compuesta. El uso de estructuras muertas no tradicionales se presenta en el Capítulo 10.

Las soluciones biotécnicas son apropiadas para afrontar una gama amplia de problemas de erosión, así como también aplicaciones de construcción, particularmente para caminos rurales. Tales aplicaciones incluyen protección contra la erosión de superficie, deslizamientos menores, estabilización de taludes de corte y relleno, protección de terraplén, estructuras para estabilización del nivel de desagüe, estabilización de canales y orillas de riberas, y reparación y control de cárcavas. Los materiales usualmente utilizados son: suelo nativo, rocas, madera o troncos, y vegetación. Cuando se necesita usar materiales más rígidos, se usa concreto, gaviones, muro cribado o alcantarillas.

En cuanto al uso del material vegetativo, esto incluye especies herbáceas así como especies leñosas, las especies herbáceas, tales como hierbajos y pastos, principalmente ofrecen estabilidad o protección contra la erosión superficial a largo o corto plazo. Las especies leñosas, tales como los sauces, ofrecen mayor protección a largo plazo y mayor profundidad contra el movimiento de masa somero. Estas especies cuentan con un sistema radicular extenso y de material leñoso que no solo ayuda a fijar el suelo, sino también sirve para sacar la humedad del suelo y por el efecto de fijación del suelo.

La apariencia de proyectos de bioingeniería de suelo es generalmente natural, muy compatible con respecto al medio ambiente, y también estética. La fuente de los materiales son frecuentemente locales, y la mayoría del trabajo requiere mucha mano de obra, entonces son ideales para muchas áreas en vías

de desarrollo, y sobre todo puede ser muy eficiente y de costo mínimo. Una de las mayores ventajas es el hecho de que se involucran materiales o plantas vivas, y la mayoría de los trabajos se pueden efectuar durante la fase latente, aunque se haya logrado éxito durante todo el año. Este trabajo es ideal para los sitios difíciles donde el acceso es problemático, porque no se necesita equipo pesado y la mayoría de los materiales que no se consigue pueden ser acarreados a lomo o con bestias al sitio.

Otra ventaja de esta práctica es que las estructuras de bioingeniería y las reparaciones son muy adaptables. Por lo tanto los proyectos pueden fácilmente adaptarse al sitio sin requerir el movimiento de cantidades grandes de tierra. Las estructuras son inicialmente relativamente fuertes, y con el tiempo, son aún más resistentes con el desarrollo de la vegetación y los sistemas radiculares en particular. Una vez que la vegetación se establezca, hay casi poco o nada de trabajos de reparación o mantenimiento en las estructuras. Sin embargo, durante la construcción es necesario cuidar la vegetación y darle algún mantenimiento durante el primer año o hasta que la vegetación llegue a restablecerse. Es importante mantener la gente y los animales afuera del sitio del proyecto, particularmente ganado, durante los primeros dos o tres años.

El proceso de diseño involucra muchas de las consideraciones y principios de diseño que se encuentran en las otras "estructuras de ingeniería". Los cálculos hidrológicos e hidráulicos deben hacerse con las estructuras fluviales para estimar las corrientes esperadas. Se debe también hacer el análisis de la estabilidad del talud como parte del diseño de las estructuras de contención. En el caso de proyectos biotecnológicos requiere más atención el manejo de materiales por ser materia viva, y por lo tanto la programación de trabajo es más importante que en la construcción de estructuras convencionales. Finalmente, muchas de las técnicas son nuevas para muchos ingenieros, entonces se requiere tiempo para ganarse la experiencia en la aplicación y uso de técnicas de bioingeniería.

DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS COMUNES DE BIOINGENIERÍA

Lo que se presenta más adelante es un listado y una descripción breve de algunas técnicas de bioingeniería de suelos más usadas. Se presenta en las Figuras 11.4.1 a la 11.4.9 un diagrama representativo de cada una de las técnicas, sus aplicabilidad y eficacia, y directivas de construcción:

- Estacas vivas.
- Bultos de ramas.
- Capas de ramas.
- Recortes de ramas.
- Reparación de cárcavas con vegetación.
- Muro cribado vivo.
- Gaviones con vegetación.
- Muro de roca con vegetación.
- Vegetación sembrada entre piedras.

Estacas vivas (Figura 11.4.1) - involucra la siembra y el apisonamiento de trozos de tallos leñosos o semi-leñosos para hacerlos arraigar y formar una planta nueva. Un sistema o patrón de estacas puede crear una masa de raíces vivas que estabiliza el suelo reforzándolo y fijando las partículas de suelo.

Esta técnica se puede utilizar en una variedad amplia de sitios no problemáticos, rápidamente, y con un costo bajo. Puede usarse en cualquier área donde se desea tener o fortalecer una masa de raíces. También se utiliza para aumentar la población de plantas nativas, para sujetar otro material de control de erosión o para llenar en áreas entre otras estructuras o medidas de control de erosión.

Bultos de ramas (Figura 11.4.2.) - son fajos largos de ramas cortas amarradas en forma de salchicha que se entierran en zanjas someras a lo largo de un talud, sobre el contorno, para arraigar y estabilizar el mismo. Esta técnica brinda una protección contra el fallo de corte de 0.5 a 1 metro de profundidad, así como también, reduciendo erosión superficial y de los canales.

Capas de ramas (Figura 11.4.3) - es una técnica algo parecida a Bultos de ramas (anterior) para la estabilización de taludes, pero en este caso se deben orientar las ramas perpendicular al talud para lograr mejores resultados. Las capas de ramas ofrecen un refuerzo somero a lo largo del talud, reduciendo la superficie sin protección expuesta a la erosión. Esta técnica puede ser utilizada

conjuntamente con georejilla para brindar estabilización somera y profunda en los taludes. La ramas, aunque no estén arraigadas, ofrecen un refuerzo y control de erosión óptimo casi inmediato después de la construcción.

Recortes de ramas (Figura 11.4.4) - consiste en alternar capas de recortes vivos con relleno compactos para reparar pequeños asentamientos localizados y áreas desgastadas. Es parecido a las técnicas usadas en Capa de Ramas, pero hecho en áreas más localizadas y de una manera menos sistemática.

Reparación de cárcava con vegetación (Figura 11.4.5) - consiste en alternar capas de los recortes vivos de ramas y suelo compactado para reparar pequeñas cárcavas o canales. Las cárcavas deben ser menos de un metro de ancho y relativamente cortas. Este es parecido al recorte de ramas, pero se usa para la reparación de formaciones lineales.

Muro cribado vivo (Figura 11.4.6) - consiste de una cavidad, en forma de caja, hecha de trozos de madera sin tratamiento, entrelazados. La estructura se llena con material de relleno apropiado y capas de recortes vivos de ramas que se arraigarán adentro y detrás del muro cribado. Una vez los recortes vivos se arraigan y se establecen, la vegetación con su sistema radicular gradualmente asume la función estructural de los trozos de madera.

Gaviones con vegetación (Figura 11.4.7) - son los recipientes rectangulares hechos de alambre de acero galvanizado. Se colocan los gaviones, se amarran uno al otro, se llenan de piedras y aseguran la tapadera con alambre de amarre. Se colocan recortes vivos de ramas sobre cada una de las hileras de gaviones o canastas rellenas de piedra. Estas estacas o tallos comenzarán a arraigarse adentro de los gaviones o canastas y en el suelo detrás de las estructuras. Con el tiempo, mientras las ramas desarrollan y crecen, sus raíces anclarán la estructura al talud.

Muro de roca con vegetación (Figura 11.4.8) - es el uso de recortes vivos de ramas para aumentar la capacidad de estabilización de estructuras de roca, como paredes hasta una altura de 2 m. Esta técnica en sí no es diseñada para resistir cargas laterales grandes, sin embargo, puede ser utilizada con estructuras más grandes, o alrededor de ellas para proveer algún soporte adicional, siempre que el diseño básico de esas estructuras sea adecuado.

Vegetación sembrada entre piedras (Figura 11.4.9) - se inserta la siembra en los espacios libres del zampeado en un talud con trozos de tallos leñosos, semi-leñosos y herbáceos para hacerlos arraigar y formar nuevas plantas. Los recortes vivos pueden ser apisonados en el lugar al mismo tiempo que se aplique el zampeado.

Sección Transversal
Sin Escala

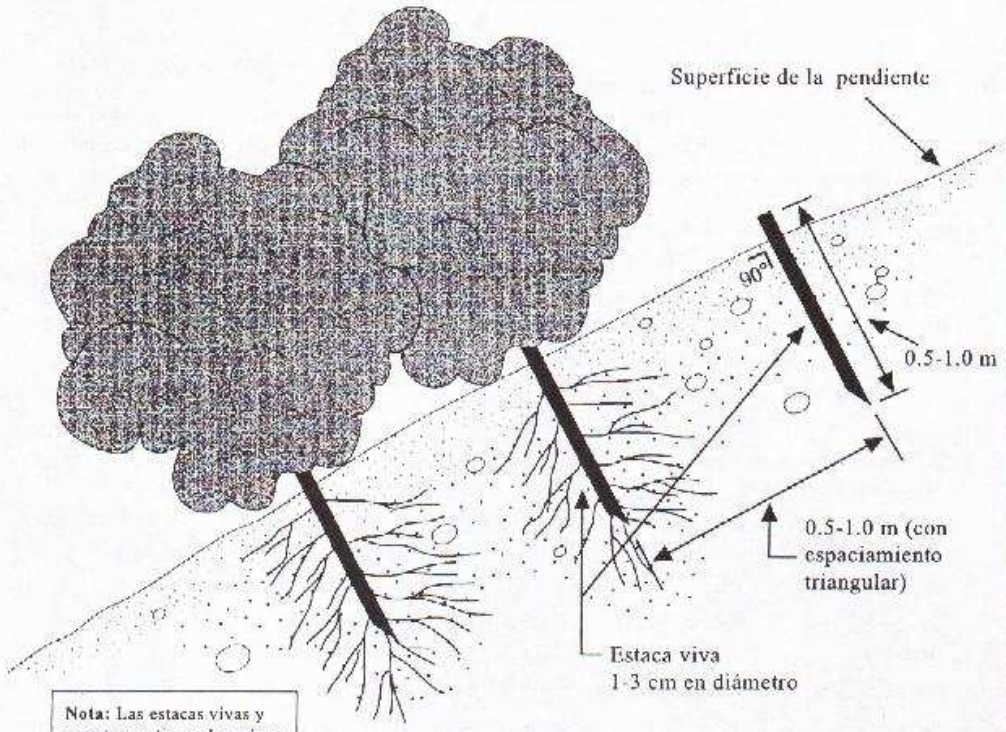


Figura 11.4.1. Técnica de estacas vivas.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Estacas Vivas

A. Eficacia y Aplicaciones

- Es una técnica para condiciones en el sitio relativamente no muy complicada donde el tiempo y los recursos económicos son limitados.
- Puede utilizarse para fijar material para control del erosión superficial.
- Es una técnica para promover "la invasión natural" o establecimiento de otras plantas provenientes del área adyacente.
- Puede utilizarse para estabilizar las zonas intermedias entre otras técnicas de bioingeniería de suelos.

B. Instrucciones para la Construcción

El material vivo - los recortes deben ser de un diámetro de 1 a 3 centimetros y de 0.5 a 1 metro de largo, sin embargo esto dependerá de la especie utilizada.

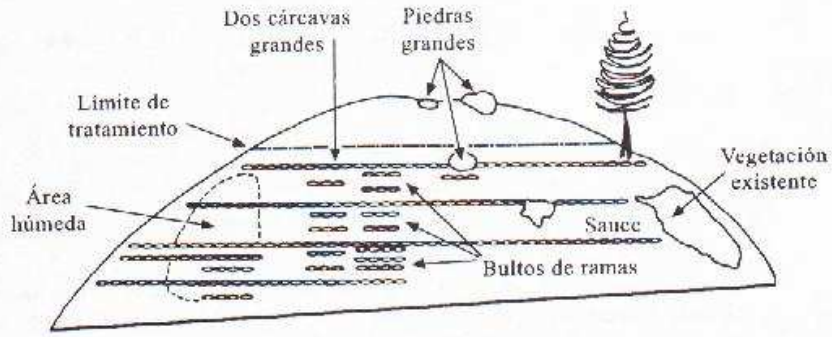
La preparación y tamaño del material vivo

- El material debe tener la corteza intacta con las ramas laterales cuidadosamente podadas.
- Se debe cortar el punto basal en ángulo para facilitar la inserción en el suelo con el punto superior cortado a escuadra.
- Se debe instalar el material el mismo día que lo prepare.

Instalación

- Apisonar las estacas vivas en el suelo perpendicular al talud. Se pude iniciar la instalación en cualquier punto en el talud.
- Se debe colocar las estacas en trebolillo con una distancia de 0.5 a 1 metro entre estacas. La densidad de la instalación puede ser entre 2 a 4 estacas por yarda cuadrada.
- Se debe orientar las yemas hacia arriba.
- Se debe enterrar un 80% de la estaca en el suelo, compactando el mismo alrededor de la estaca después.
- No se debe rajar las estacas en el proceso, y las estacas rajadas deben ser reemplazadas.
- Se puede utilizar un machete para hacer un agujero piloto en suelos macizos, y clavar la estaca con un garrote (o barrote).

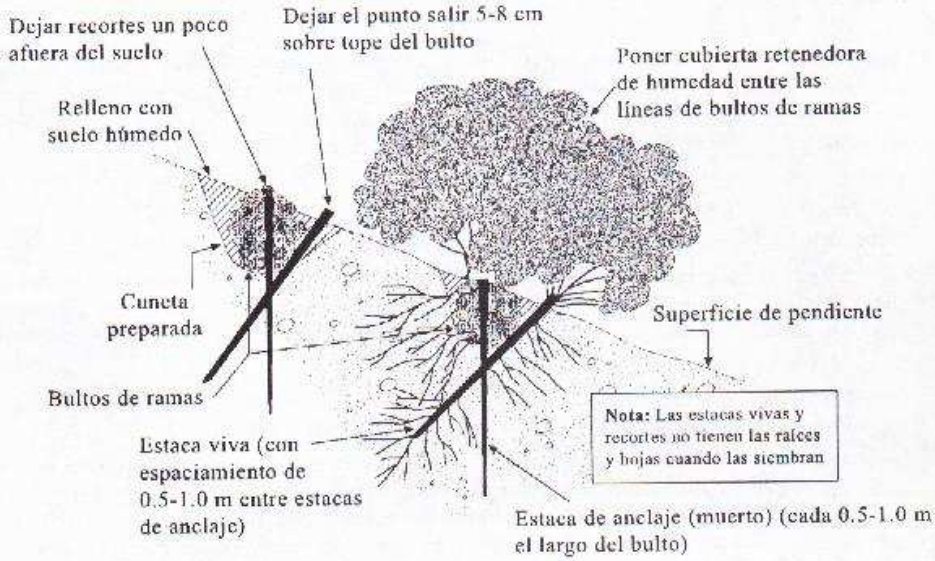
Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.



Gráfica A - Bultos de ramas puestos en contorno para estabilización de taludes con vegetación.

Sección Transversal
Sin Escala

Gráfica B - Los bultos de ramas.



Gráfica C - Cómo sembrar los bultos.

Figura 11.4.2. Técnica de bultos de ramas.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Bultos de Ramas

A. Eficacia y Aplicaciones

- Una técnica efectiva para estabilización de taludes.
- Protege taludes de deslizamientos someros (0.5 a 1.0 metros de profundidad).
- Reduce erosión de superficie o erosión en canal inmediatamente.
- Ideal para taludes empinados y rocosos, donde excavar es difícil.
- Capaz de atrapar y sostener el suelo en la superficie del talud, reduciendo así una inclinación larga en una serie de inclinaciones más cortas.
- Mejora el establecimiento de vegetación, creando un microclima conducente para el desarrollo.

B. Instrucciones para la Construcción

El material vivo - los recortes deben ser de especies, tales como sauces jóvenes o de arbusto de cornejo, que enraizan fácilmente y que tienen ramas rectas y largas.

La preparación y tamaño del material vivo

- Se forman los bultos de ramas amarrando los recortes. La longitud varía desde 1.5 a 9 metros o a veces más largas, dependiendo de las condiciones de sitio y limitaciones de manejo.
- El diámetro de los bultos terminados debe ser de 15 a 20 centímetros, con todas las ramas orientadas en la misma dirección. Escalonar los recortes de modo que las puntas se distribuyan igualmente a lo largo de los bultos.
- Las estacas vivas deberían ser de 0.75 metros en cortes de talud y de 1 metro en pendientes de relleno.

El Material Inerte - Se debe utilizar un hilo, que no está tratado, para amarrar los bultos.

- Las estacas muertas usadas para asegurar los bultos de ramas deberían ser de madera de 2x2, sin tratamiento, de 75 centímetros de largo. Se debe utilizar solamente buena madera que no ha sido utilizada, y desechar cualquier estaca que se deshace en la instalación.

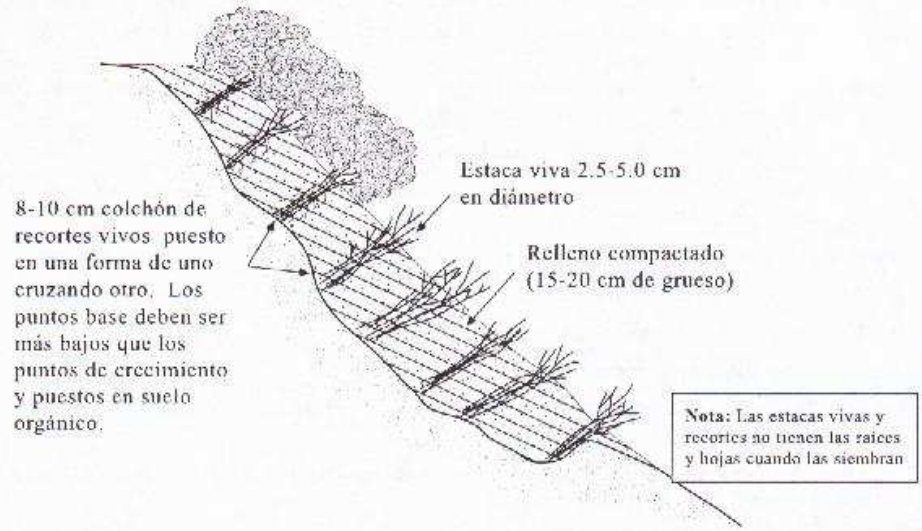
Instalación

- Preparar los bultos de ramas y las estacas vivas inmediatamente antes de la instalación.
- Comenzar en la base del talud, haciendo una zanja en contorno suficientemente grande para que quepa el bulto. El ancho de la zanja variará de 30 a 45 centímetros, dependiendo del ángulo del talud a tratarse. La profundidad será de 15 a 20 centímetros, dependiendo del tamaño del bulto.
- Colocar el bulto en la zanja.
- Clavar las estacas muertas atravesando los bultos cada 0.6 a 0.9 metros, usando más estacas en las uniones y los traslapes. Dejar la punta de las estacas al nivel del bulto.
- Las estacas vivas se instalan generalmente en el lado cuesta abajo del bulto. Clavar las estacas vivas contra el bulto directamente enfrente de la estaca muerta para prensarlo. Las estacas vivas deben sobresalir unas 5 a 8 centímetros del nivel del bulto. Echar suelo húmedo a lo largo de los lados de los bultos. La superficie de los bultos debe ser ligeramente visible cuando la instalación esté terminada.

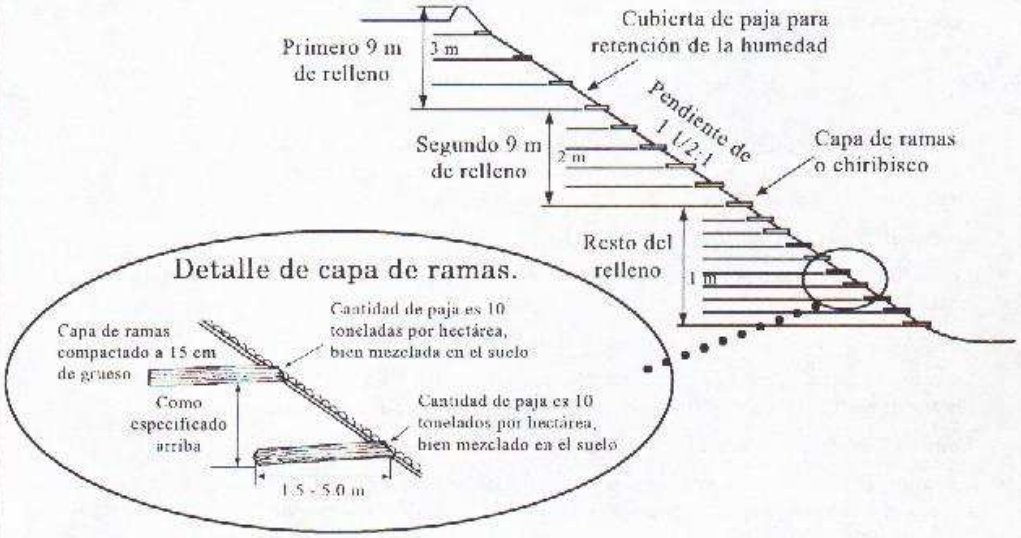
Siga los mismos pasos en intervalos en contorno o en un ángulo a lo largo de la pendiente. Cuando sea posible, coloque una o dos hiladas más sobre la cima del talud. En pendientes con una inclinación hasta 2.5:1 se debe colocar paja de tallo largo o una cubierta retenedora de humedad entre las hiladas, mientras en pendientes en exceso se debe agregar una malla de yute.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Sección Transversal
Sin Escala



Gráfica A. Ejemplo de técnica de capa de ramas.



Gráfica B. Ejemplo de técnica de capa de ramas.

Figura 11.4.3. Técnica de capas de ramas.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Capas de Ramas

A. Eficacia y Aplicaciones

Las capas de ramas desempeña varias funciones inmediatas en el control de erosión, refuerzo de tierra, y estabilidad de masa en las pendientes como son:

- Reducir la longitud de una pendiente en una serie de pendientes más cortas separadas por filas de capas de ramas.
- Reforzar el suelo con los tallos de ramas sin raíces.
- Reforzar el suelo con las raíces que se desarrollan agregando resistencia significativa a deslizamiento o fallo por esfuerzo.
- Proveer la estabilidad en el talud permitiendo el establecimiento de cobertura vegetal.
- Atrapar el detrito en el talud.
- Promover la infiltración de agua en sitios secos.
- Desaguar sitios excesivamente húmedos.
- Modificar el microclima del sitio, ayudando así en la germinación de semillas y la regeneración natural.
- Desviar y mitigar infiltración adversa en el talud, sirviendo como desagües horizontales.

B. Instrucciones para la Construcción

El tamaño de materiales vivos - El diámetro de los recortes de las ramas debería ser de 2.5 a 5 centímetros y suficientemente largos para alcanzar el fondo de la banca. Las ramas laterales deben permanecer intactas para la instalación.

Instalación

- Comenzar en el pie de la pendiente, las bancas deben ser excavadas horizontalmente, en contorno, o ligeramente hacia abajo, si es necesario mejorar el drenaje. La banca debe de construirse con una anchura de 15 a 20 centímetros.
- La superficie de la banca debe inclinarse hacia adentro.
- Los recortes vivos de ramas deben colocarse sobre la banca en una configuración entrelazada o traslapada.
- Los puntos de las ramas deben alinearse hacia la orilla de la banca.
- Se coloca relleno encima de las ramas y se compacta para eliminar los bolsillos de aire. Los puntos de las ramas deben salir ligeramente del relleno para filtrar el sedimento.
- Cada banca inferior se rellena con el suelo sacado desde la banca superior.
- En las pendientes con una inclinación menor de 3:1 se coloca paja de tallo largo o una cubierta retenedora de humedad, y luego sembrado. Donde la inclinación excede 3:1, se debe agregar una malla de yute.
- La distancia entre la hiladas de las capa de ramas deben variar desde 0.9 a 1.5 metros, dependiendo de la estabilidad y ángulo de inclinación.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

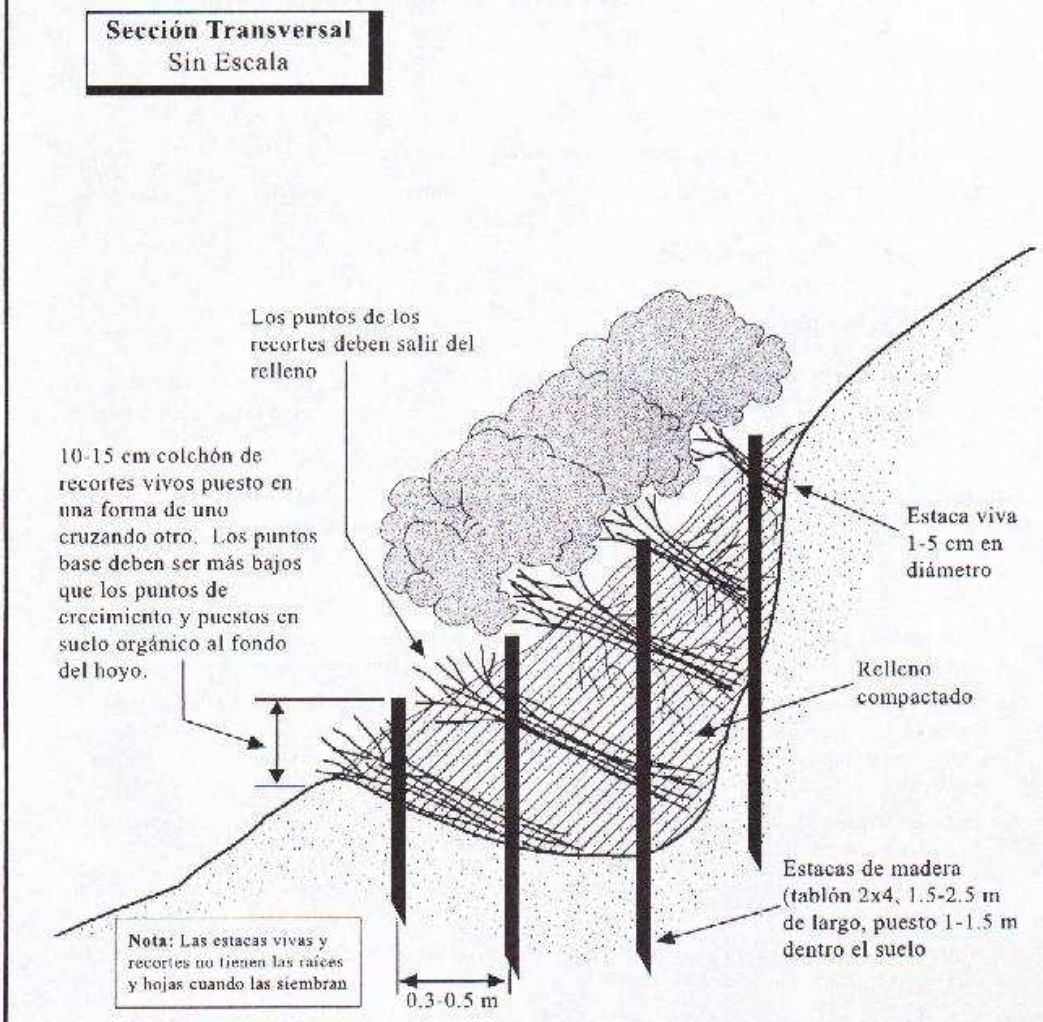


Figura 11.4.4. Técnica de recortes de ramas.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Recortes de Ramas

A. Eficacia y Aplicaciones

- Efectivo en el refuerzo de suelo y estabilidad de masa en sitios con rellenos menores.
- Produce una barrera de filtro, reduciendo problemas de socavación y erosión.
- Repara hoyos en terraplenes terrenales a excepción de diques donde la retención de agua es una función.
- Provee refuerzo inmediato al suelo.

B. Instrucciones para la Construcción

El material vivo - El diámetro de los recortes vivos de rama puede ser desde 1 a 5 centímetros. Los recortes deben ser suficientemente largos para alcanzar el suelo inalterado en el fondo de la zanja y salir ligeramente de la superficie.

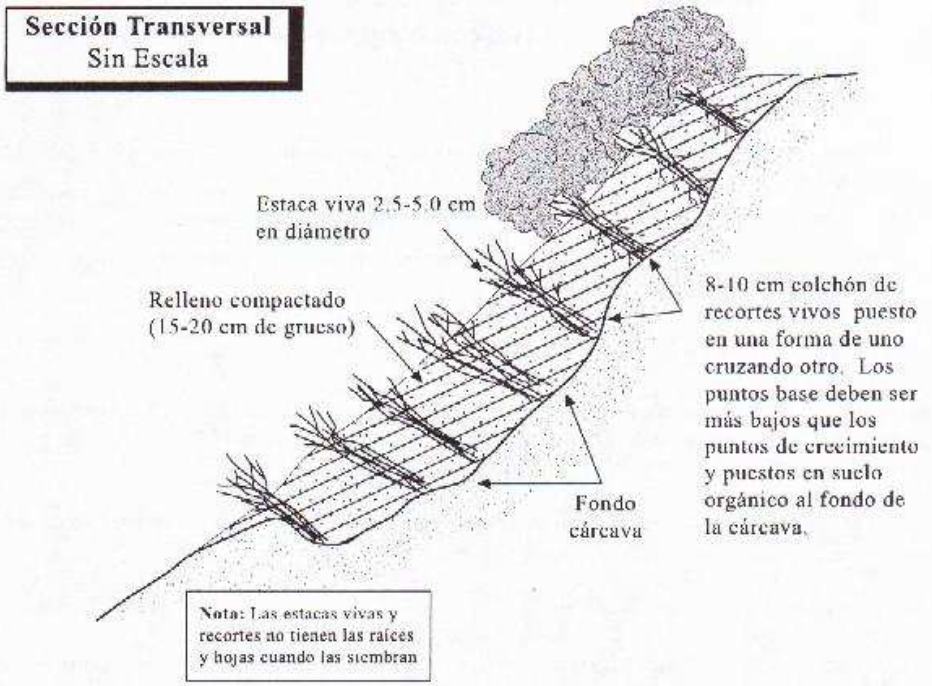
El material inerte - Las estacas deben ser varas con diámetro de 10 centímetros o parales de 2x4 y de 1.5 a 2.5 metros de largo, dependiendo de la profundidad del hoyo o asentamiento.

La Instalación

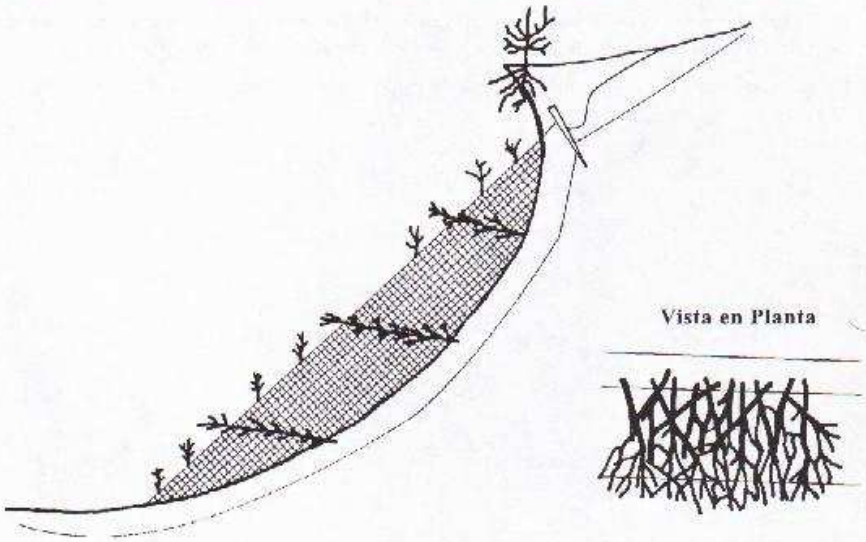
- Comenzar en el punto más bajo, clavando las estacas de madera verticalmente de 1 a 1.5 centímetros en el suelo con una distancia de 30 a 50 centímetros entre las estacas.
- Colocar una capa de ramas vivas con un grosor de 10 a 15 centímetros en el fondo del hoyo entre las estacas, y perpendicular a la cara de la pendiente. Las ramas vivas deben colocarse en una configuración entrelazada o traslapada, con los puntos de las ramas. Alinearlas hacia la cara de la pendiente. El punto base de las ramas debe tocar el fondo del hoyo o pendiente.
- En las capas de ramas subsiguientes los puntos de la base deben estar más bajos que los puntos de crecimiento.
- Se debe tapar cada capa de ramas con una capa de suelo compactado para asegurar contacto con el suelo.
- Al terminar la instalación el relleno debe llegar al nivel de la pendiente natural. Las ramas deben sobresalir ligeramente desde la cara llena.
- El suelo debe ser húmedo (o humedecido) para asegurar que las ramas vivas no se secan.

Una vez instalados, los recortes de ramas vivas sirven de refuerzo a la tensión del relleno. Con el crecimiento de las plantas, el sistema de recortes de ramas llega a ser cada vez más efectivo contra la escorrentía y reduce la erosión superficial. El sedimento atrapado llenará los hoyos o asentamientos, mientras las raíces se esparcen a lo largo del relleno y en el suelo natural para formar una masa unificada. La técnica de capa de ramas no es efectiva donde el asentamiento es mayor de 1.2 metros de profundidad o 1.5 metros de ancho.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.



Gráfica A - Estabilización de cárcava con vegetación cercana.



Gráfica B -Detalle de capa de ramas horizontal en cárcava.

Figura 11.4.5. Técnica de reparación de cárcava con vegetación.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Reparación de Cárcava con Vegetación

A. Eficacia y Aplicaciones

- Las ramas sembradas ofrecen refuerzo inmediato al suelo compactado y reducen la velocidad del flujo de agua concentrada.
- Provee una barrera de filtro que reduce erosión en canal y erosión de cárcava.
- Limitadas a canales o cárcavas que son no más de 60 centímetros, 30 centímetros de profundidad, y 4.5 metros de largo .

B. Instrucciones para la Construcción

El material vivo - El diámetro de los recortes de ramas vivas puede ser de 2.5 a 5 centímetros. Las ramas deben ser suficientemente largas para alcanzar el suelo inalterado en el fondo del canal o cárcava y extender ligeramente de la cara del talud reconstruido.

El material inerte - El suelo de relleno se compacta en capas alternas con los recortes de ramas vivas.

La Instalación

- Comenzar en el punto bajo del talud, colocando una capa de ramas de 8 a 10 centímetros en la parte inferior del canal o de la cárcava y perpendicular a la pendiente.
- Cubrirla con una capa de suelo de relleno de 15 a 20 centímetros.
- Colocar las ramas vivas en forma entrelazadas. Orientar los puntos de crecimiento hacia la cara del talud con los puntos de la base más bajos que los puntos de crecimiento.
- Cubrir cada capa de ramas con una capa de suelo compactado para asegurar un buen contacto con el suelo.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Sección Transversal
Sin Escala

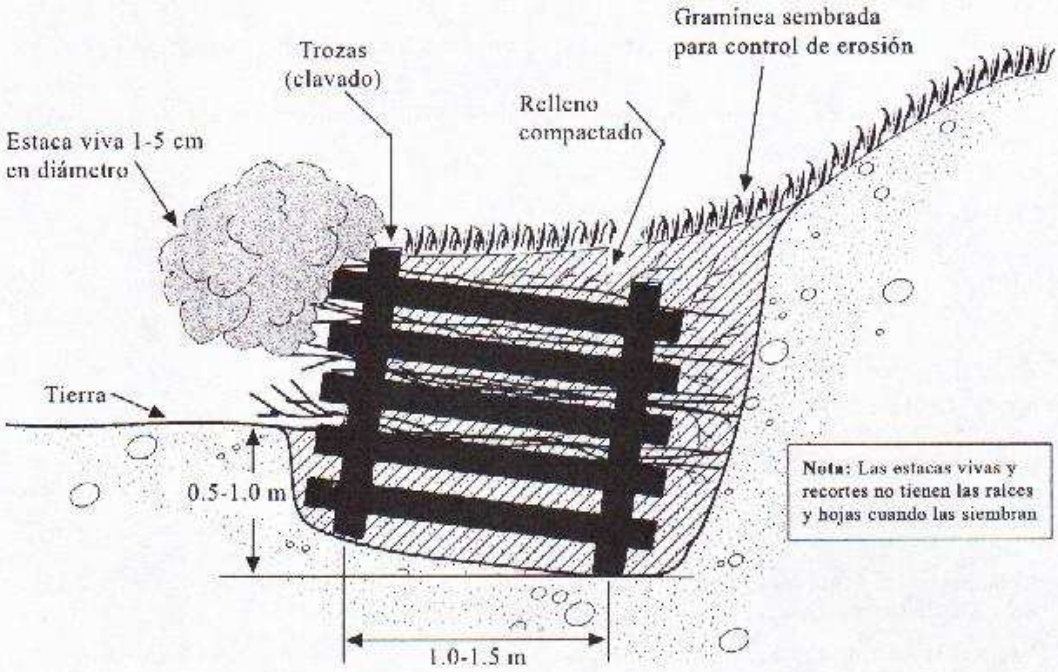


Figura 11.4.6. Técnica de muro cribado vivo.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Muro Cribado Vivo

A. Eficacia y Aplicaciones

- Esta técnica es apropiada en la base de un talud donde se requiere un muro bajo para estabilizar el pie del mismo y reducir la inclinación.
- Esta técnica no es recomendada donde existen tensiones laterales. La altura máxima para estas estructuras es de 1.8 metros en total, incluyendo la excavación requerida para un cimiento estable.
- Son útiles donde el espacio es limitado y se requiere una estructura vertical.
- Provee protección inmediata contra la erosión, mientras la vegetación se establezca para proveer estabilidad a largo plazo.
- Se deber inclinar la estructura hacia atrás si el sistema se construye sobre un superficie lisa y/o plana.
- Se puede también construir en forma de escalera, con cada hilada consecutiva colocada 15 a 23 centímetros hacia atrás.

B. Instrucciones para la Construcción

El Material vivo - El diámetro de los recortes de ramas vivas deben ser de 1 a 5 centímetros y suficientemente largos para alcanzar el fondo de la estructura de madera.

El Material Inerte - Los troncos o la madera deben tener un diámetro o dimensión de 10 a 15 centímetros. Las longitudes variarán con el tamaño de la estructura de criba.

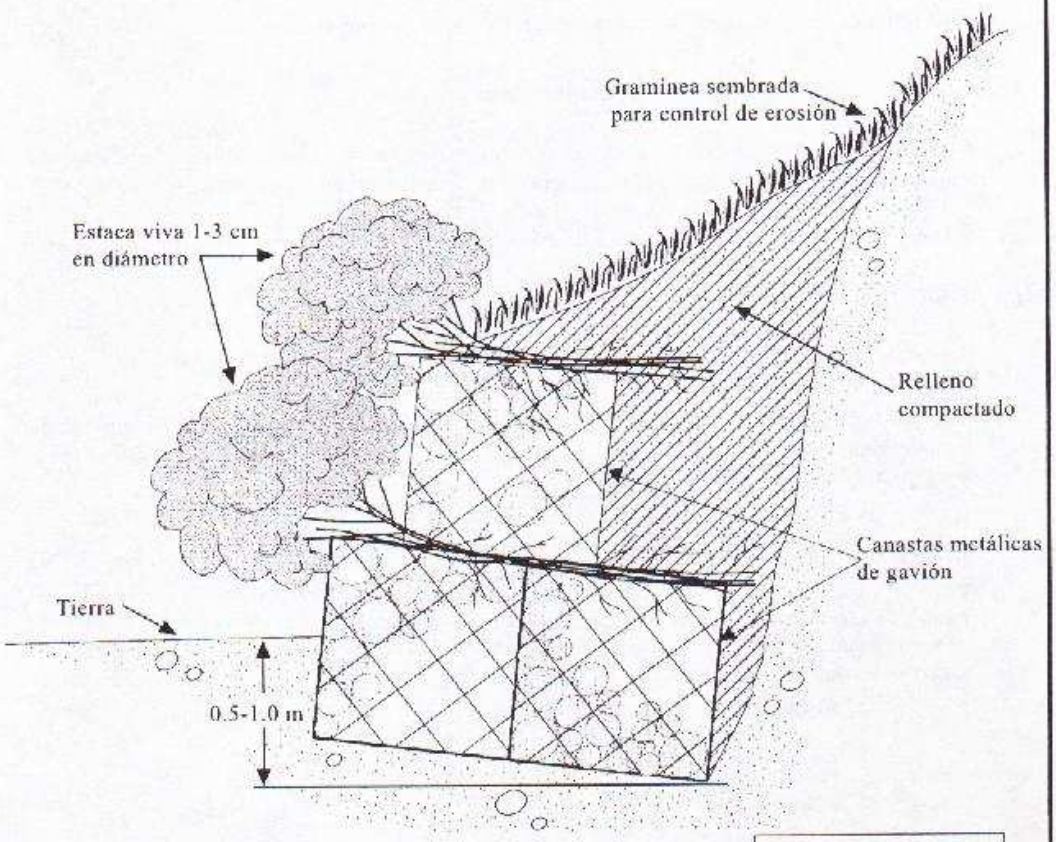
Se requieren clavos grandes o varilla de hierro para asegurar los troncos o la madera.

Instalación

- Comenzar en el punto más bajo del talud, excavando el material floja 0.5 a 1 centímetros debajo del nivel de la superficie o hasta alcanzar una base estable.
- Excavar la parte de atrás (más cercana al talud) ligeramente más profunda que el frente para proporcionar estabilidad a la estructura.
- Colocar la primera hilada de troncos o madera enfrente y al fondo de la zanja de cimentación, aproximadamente 1 a 1.5 metros aparte y paralelo al contorno del talud.
- Colocar la próxima hilada de troncos o madera atravesando la primera en 90 grados (perpendicular al talud) con un traslape de 8 a 15 centímetros en el frente y fondo.
- Cada hilada del muro cribado vivo se coloca en la misma manera y enclavado a la hilada anterior con varilla de refuerzo o clavos.
- Cuando el nivel de la estructura del muro cribado llega a la superficie natural del terreno, se colocan los recortes de ramas vivas sobre el relleno perpendicular al talud, luego se cubren los recortes con relleno y se compactan.
- Se deben colocar los recortes de ramas vivas en cada hilada hasta la corona de la estructura del muro cribado, con los puntos de crecimiento orientados hacia la cara del talud. Seguir cada capa de ramas con una capa de suelo compactado para asegurar contacto con el suelo. Algunos de los puntos de la base de los recortes de ramas vivas deben alcanzar el suelo inalterado en el fondo de los muros cribados con los puntos de crecimiento, ligeramente sobresaliendo de la cara del muro cribado.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992

Sección Transversal
Sin Escala



Nota: Las estacas vivas y recortes no tienen los raíces y hojas cuando las siembran

Figura 11.4.7. Técnica de gaviones con vegetación.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Gaviones con Vegetación

A. Eficacia y Aplicaciones

- Esta técnica es apropiada en la base de un talud donde se requiere un muro bajo para estabilizar el pie del mismo y reducir la inclinación.
- Esta técnica no es recomendada donde existen tensiones laterales. La altura máxima para estas estructuras es de 1.5 metros en total, incluyendo la excavación requerida para un cimiento estable.
- Son útiles donde el espacio es limitado y se requiere una estructura vertical.

B. Instrucciones para la Construcción

El Material Vivo - El diámetro de las ramas vivas deben ser de 1 a 3 centímetros y deben ser suficientemente largas para atravezar la estructura de la canasta de roca y alcanzar el relleno.

El Material Inerte - Este incluye gavión de canastas de alambre y las rocas para llenar las canastas.

La Instalación

- Comenzar en el punto bajo del talud, excavando el material floja 0.5 a 1 metro de bajo del nivel de la superficie o hasta alcanzar una base estable.
- Excavar la parte de atrás (más cercana al talud) ligeramente más profunda que la de enfrente para proporcionar estabilidad a la estructura. Esto proveerá la estabilidad adicional a la estructura y asegura que las ramas vivas se arraigven bien.
- Colocar las canastas fabricadas de alambre en el fondo de la excavación y llenarlas de roca.
- Echar relleno entre y detrás las canastas de alambre.
- Colocar los recortes de ramas vivas sobre las canastas de alambre perpendicular al talud con los puntos de crecimiento orientados hacia el frente de la canasta. Los dos extremos de las ramas deben ligeramente sobresalir del gavión, con el punto basal penetrando el relleno. Tapar las ramas con suelo y compactarlas.
- Repetir la secuencia de construcción hasta que la estructura alcance la altura requerida.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Sección Transversal
Sin Escala

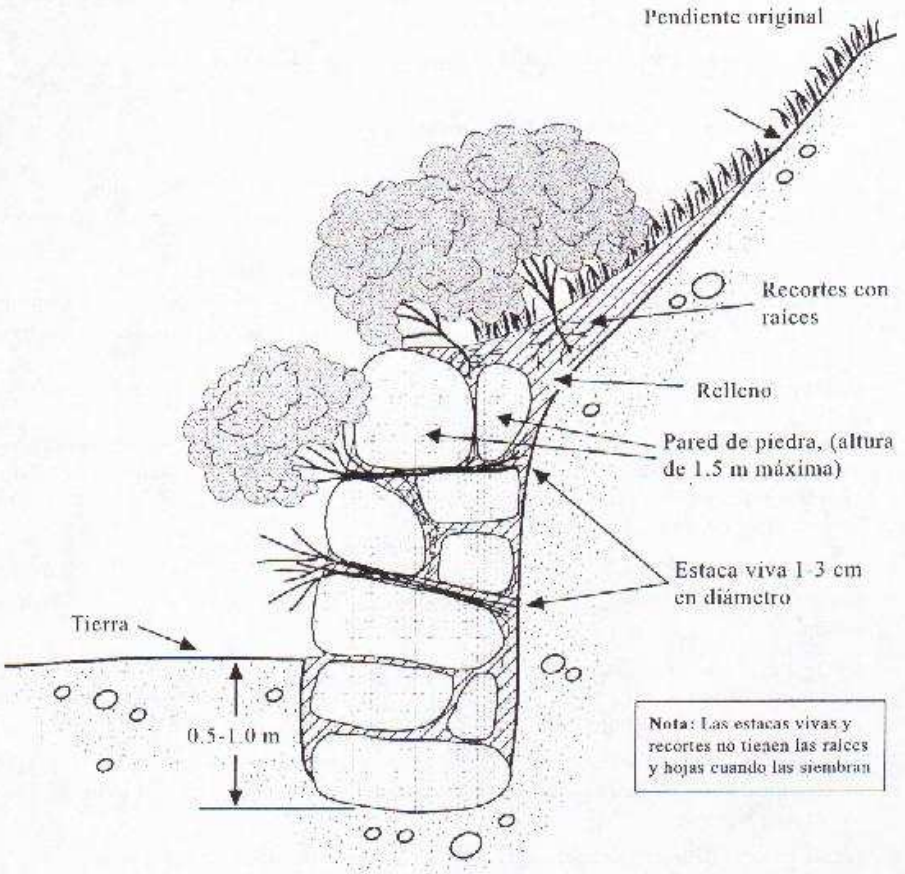


Figura 11.4.8. Técnica de muro de roca con vegetación.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service. Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Muro de Roca con Vegetación

A. Eficacia y Aplicaciones

- Esta técnica es apropriada en la base de un talud donde se requiere un muro bajo para estabilizar el pie del mismo y reducir la inclinación.
- Son útiles donde el espacios es limitado y la roca natural es disponible.

B. Instrucciones para la Construcción

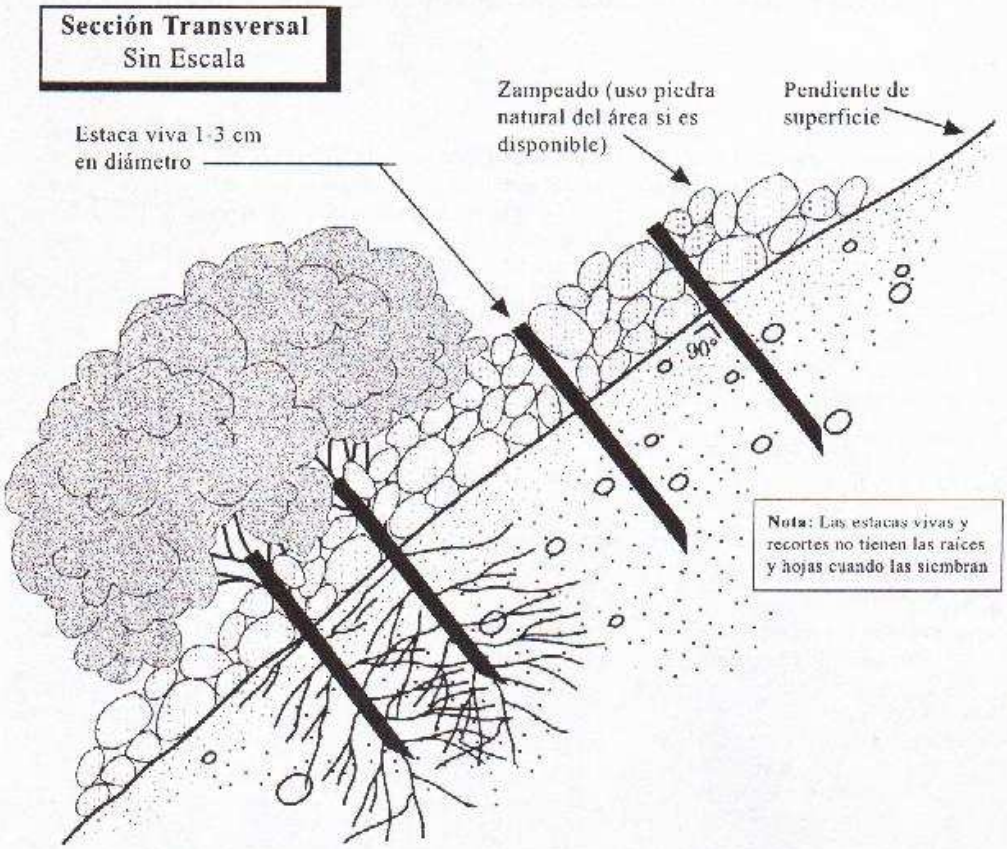
El Material Vivo - El diámetro de los recortes vivos deben ser de 1 a 3 centímetros y suficientemente largos para alcanzar más allá de la estructura de roca para penetrar detrás.del relleno o suelo inalterado.

El Material Inerte - Consiste de material de relleno y rocas para la construcción del muro. El diámetro de la roca debe ser de 20 a 60 centímetros, usando las rocas más grandes para la base.

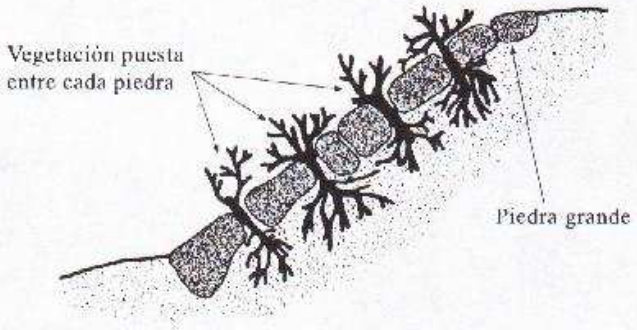
La Instalación

- Comenzar en el punto bajo del talud, excavando el suelo flojo hasta que se alcanza una base estable, usualmente 0.5 a 1 metro de bajo de la superficie del terreno. Excavar el fondo del cimiento (la parte más cercana al talud) ligeramente más profunda que la parte de enfrente para proporcionar estabilidad a la estructura.
- Excavar la cantidad mínima del talud existente para proveer un nicho conveniente para el muro.
- Proveer la base con un buen drenaje en las zonas que son sujetas a la penetración profunda de heladas.
- Colocar las rocas por lo menos en tres punto de apoyo sobre la material del cimiento o el subyacente hilada de roca. Se deben también colocar de modo que su centro de gravedad es lo más bajo posible, con el eje largo que sesga para adentro hacia el talud si es posible.
- Cuando una pared de roca se construye adyacente a una superficie impermeable, se debe instalar un sistema de drenaje en la parte atrás de la fundación y afuera del pie del muro para proveer una salida apropiada.
- La altura total del muro de roca, incluyendo los cimientos, no debería exceder 1.5 metros.
- Se puede construir el muro con una banca inclinada para atrás para proveer una base en que se colocan recortes de ramas vivas durante la construcción. Los recortes de ramas vivas deberían también ser apisonadas o metidas en los espacios entre las rocas durante o después de la construcción. El punto basal de las ramas debe penetrar el relleno o suelo inalterado detrás del muro.
- Los recortes de ramas vivas deben orientarse perpendicular al contorno del talud con los puntos de crecimiento sobresaliendo ligeramente de la cara terminada del muro de roca.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.



Gráfica A - Estacas vivas sembradas entre zampeado.



Gráfica B - Detalle de vegetación sembrada entre piedras en una pendiente.

Figura 11.4.9. Técnica de vegetación sembrada entre piedras.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

Especificaciones de Técnica de Vegetación Sembrada entre Piedras

A. Eficacia y Aplicaciones

- Se utiliza donde se requiere roca zampeada.
- Las raíces mejoran el drenaje del suelo extractando humedad. A través del tiempo, la vegetación crea una platea viva con las raíces en la base de suelo en el que la roca se ha puesto. El sistema de radicular de estas plateas ayudan a fijar o reforzar el suelo y prevenir arrastre de las partículas finas entre y debajo de las rocas.

B. Instrucciones para la Construcción

El Material vivo - Se debe quitar las ramas laterales, dejando la corteza intacta. El diámetro debe ser de 1 a 3 centímetros y suficientemente largas para penetrar el suelo de abajo de la superficie de roca.

La Instalación

- Apisionar los recortes de ramas vivas en los espacios entre las rocas durante o después de la construcción. El punto basal de las ramas debe penetrar el relleno o suelo inalterado detrás del zampeado.
- Orientar los recortes de las ramas vivas perpendicular al talud con los puntos de crecimiento sobresaliendo ligeramente de la cara terminada de la roca.

Fuente: USDA-Soil Conservation Service, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Part 650 Engineering Field Handbook, 1992.

SECCIÓN 11.5.
APLICACIONES ESPECIALES

Las aplicaciones especiales de control de erosión se usan en una variedad de proyectos insólitos o especiales, tales como restrauración de caminos abandonados, reconformación y estabilizando los cortes viejos, tapones de cárcavas, y restauración de minas y canteras abandonadas. Los mismos principios de control de erosión se aplican, tales como, en la mayoría de proyectos, particularmente con la necesidad de un buen drenaje, desaguar el sitio o dispersar y usar medidas de estabilización física y vegetativa.

RESTAURACIÓN DE CAMINOS ABANDONADOS

La restauración de caminos abandonados puede involucrar la reconformación y estabilización de la superficie, o simplemente estabilización, sin embargo, en ambos casos la superficie debe contar con un buen desagüe (Figura 11.5.1). Generalmente es recomendable hacer un reajuste menor en el material del corte y relleno, particularmente si el camino está ubicado en una ladera sensible. Es muy importante limpiar y restablecer todos los drenajes naturales. Donde el camino tiene un drenaje, se debe desaguar con un peralte hacia afuera o instalar desviadores de agua a lo largo de la pendiente. Se pueden usar los criterios presentados en la Figura 9.4.3, ó más estructuras según las circunstancias. En vez de hacer los camellones de tierra es más recomendable usar barreras de ramojo o diques para formar estructuras más permanentes para desviar el agua. La figura 11.5.2 muestra algunos diseños para las barreras de agua "permanentes" para restaurar caminos, usando filas de bultos de ramas (Gráfica A), capa de ramas (Gráfica B), o diques de roca con cunetas (Gráfica C).

La plataforma o la superficie final deben dejarse con el suelo suelto o escarificado y sembrado y/ o con una cubierta retenedora de humedad. La escarificación debe hacerse en contorno para prevenir la concentración de agua que puede ocasionar la formación de cárcavas. Finalmente, se debe considerar la necesidad de sembrar arbustos o árboles en la plataforma de la superficie final y brindar un control adicional contra la erosión.

A veces un corte de un camino viejo o el área de un banco de préstamo necesitará una restauración total para reconformar el área al terreno natural adyacente. Se debe esclarificar la superficie del camino y el corte debería ser rellenado con material colocado en capas, y preferentemente compactada (Figura 11.5.3). El agua debe desviarse fuera de la superficie con la construcción de cunetas cuesta arriba. Se debe dejar la superficie nueva sembrada y áspera para promover la revegetación natural. En los casos donde la pendiente es muy pronunciada, el uso de capas de ramas es recomendada para proveer protección adicional contra la erosión.

RESTAURACIÓN DE MINAS Y CANTERAS

En las minas y canteras, la potencialidad de crecimiento vegetativo es frecuentemente mala, por causas de contaminación química o el hecho de que el área puede ser muy rocosa. Dado que las opciones vegetativas pueden ser limitadas o tienen que ser descartadas, surge la necesidad de buenas estructuras de drenaje de superficie, tales como bordillos de roca y cunetas estabilizadas. Se debe utilizar materiales duraderos porque el cierre de una cantera o mina puede durar muchos años.

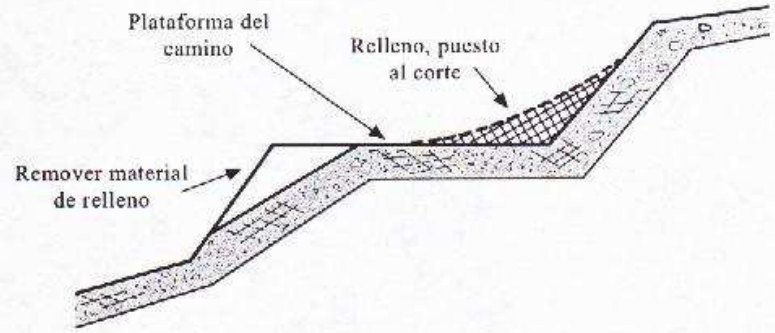
Frecuentemente en el desarrollo de una mina o cantera se despoja la capa superficial del suelo y se apila la misma. Entonces, en el proceso de restauración se devuelve este material al sitio, regándolo para después resembrar el área como se demuestra en la Figura 13.4.1. El sistema de drenaje dependerá de la forma final del área y el talud exterior. Generalmente se forma el pozo de tal manera que no retendrá el agua.

OTRAS APLICACIONES

La manera más efectiva para prevenir la ampliación de cárcavas existentes es desviar el agua fuera del área, eliminando la causa. Una vez que se elimine el agua del área de una cárcava vieja, se puede estabilizar con vegetación. Los diseños y los criterios de espaciamiento presentados en el Capítulo 12 son para cárcavas todavía sujetas a una corriente. El uso de filas de estacas vivas para obturar cárcavas, es una práctica económica y efectiva con el tiempo (Figura

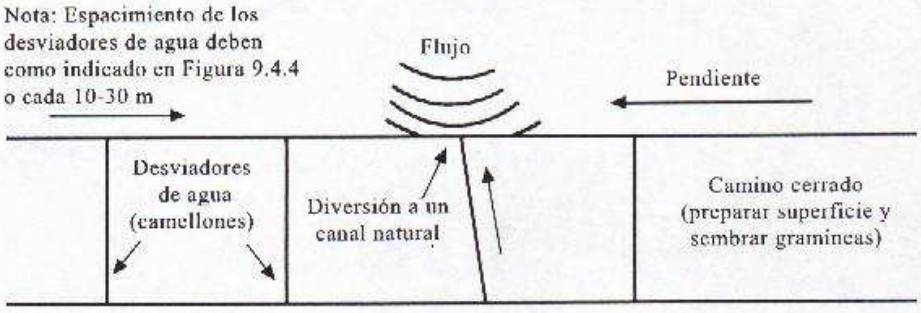
11.5.4).

La revegetación de áreas en suelos someros que se han formado sobre una capa dura y que han sido erosionados es un caso difícil. Para reducir la erosión en tales áreas el agua concentrada que fluye sobre la misma, debe desviarse o eliminarse. Una técnica muy efectiva para prevenir erosión adicional es colocar bordillos de roca o ramas en contorno a través del área. Si se desea introducir vegetación, se deben formar bordillos con el suelo existente, estabilizarlo y sembrarlo, o a su vez se debe importar suelo para crear "islas" de vegetación. Como alternativa, se puede construir algunas islas o barreras vivas rompiendo la capa dura para formar zanjas, mezclándolas con suelo importado, y luego sembrando. En este tipo de sitios se necesita el uso de especies de grama o arbustos que son resistentes y echan raíces profundas.



Gráfica A - Camino con peralte hacia afuera en una sección de corte y relleno.

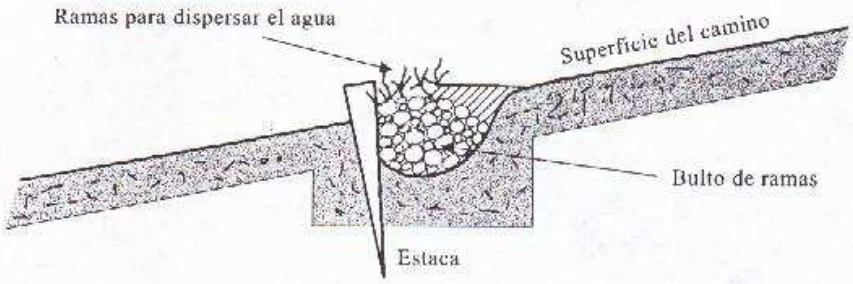
Gráfica B - Restauración de drenajes cruzando los caminos.



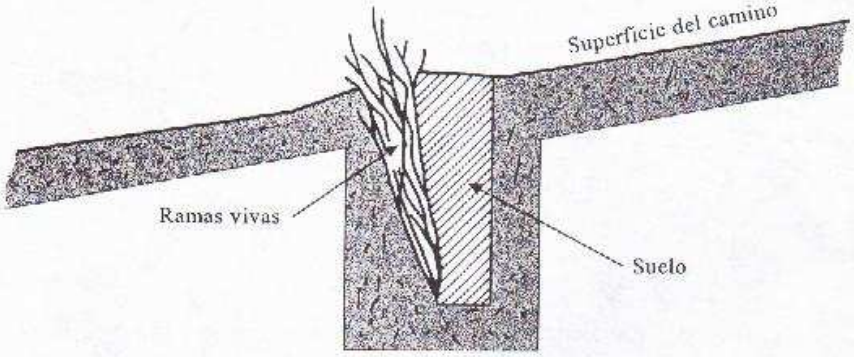
Gráfica C - Instalación de desviadores de agua (camellones).

Figura 11.5.1. Recuperación de caminos cerrados o abandonados.

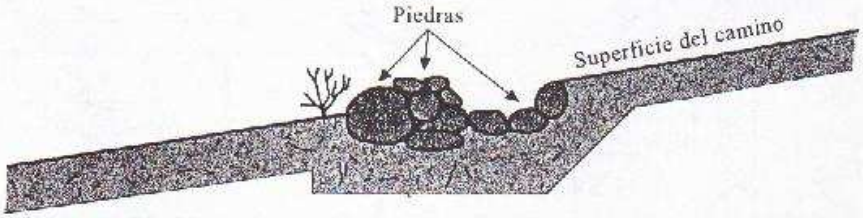
Fuente: A. Leiser



Gráfica A- Bulto de ramas.



Gráfica B- Ramas en trinchera.



Gráfica C - Dique de roca con cuneta.

Figura 11.5.2. Ejemplos de desviadores de agua permanente para caminos recuperados.

Fuente: A. Leiser.

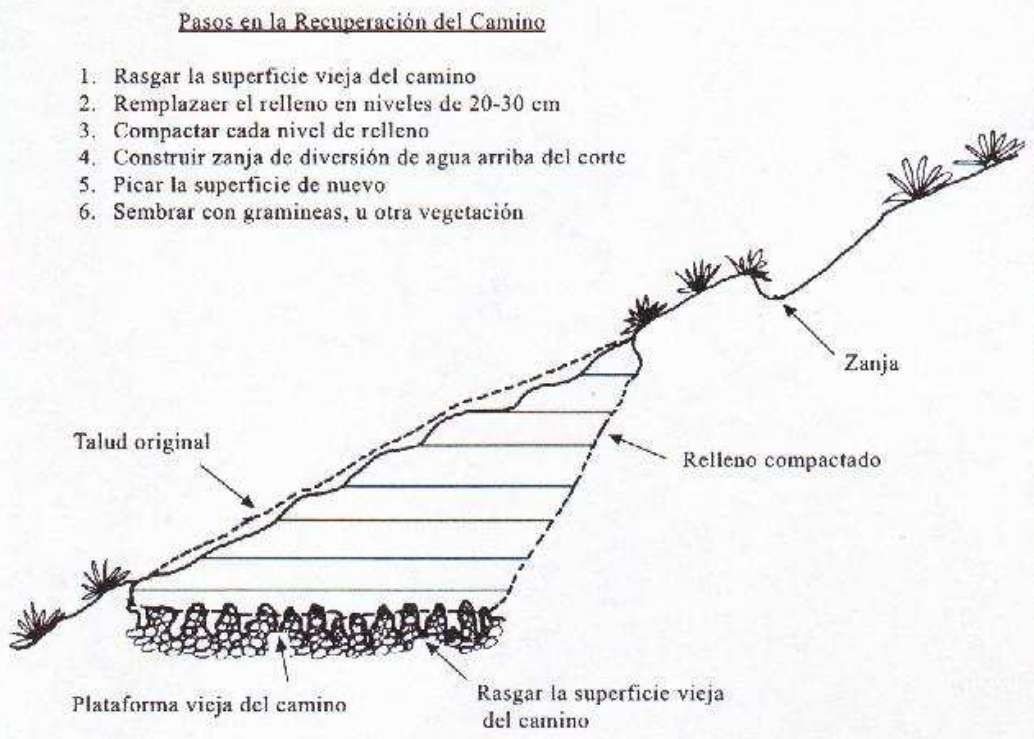


Figura 11.5.3. Recuperación y relleno de un corte de camino.

Foto 11-1. Un ejemplo de erosión severa como resultado de prácticas agrícolas inadecuadas. Un camino mal diseñado, construido y mantenido puede tener el mismo efecto. Totonicapán, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 11-2. Erosión laminar y en canales en una ladera natural y un corte de talud sin protección. Se puede corregir esta situación con técnicas vegetativas, sembrando gramíneas y arbusto. Cochabamba, Bolivia (Foto GB)

Foto 11-3. Si no se toma acción para controlar la erosión, el resultado será daño severo al camino y la degradación de la calidad del agua. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 11-4. El revestimiento de los taludes con piedra sirve para controlar o prevenir la erosión. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 11-5. El uso de cubiertas retenedoras de humedad de paja y la siembra de otras plantas protegen los taludes, absorbiendo el impacto de la lluvia y disminyiendo la velocidad de la escorrentía. Bosque Nacional Plumas.

Foto 11-6. Las prácticas de uso de suelo apropiadas, tales como la siembra de barreras vivas a lo largo de los caminos ayudan para evitar problemas de erosión. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 11-7. Una técnica para controlar la erosión es el uso de estacas vivas. Nótese el rebrote en la estaca y el plantón de ciprés. Las estacas fueron sembradas hace un mes. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

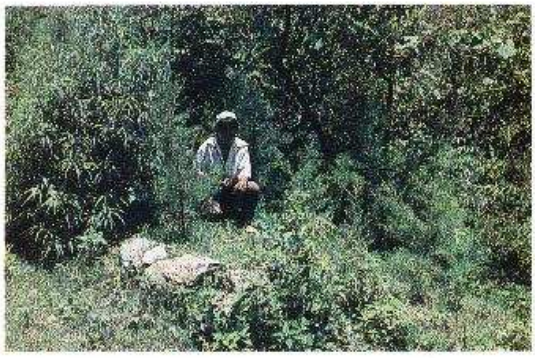


Foto 11-8. Esta fotografía fue tomada un año después de la anterior. El sitio ya tiene una cubierta vegetativa de gramíneas, arbustos y árboles de ciprés. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 11-9. Ejemplo de la técnica de siembra de vegetación entre piedras para proteger la orilla de un riachuelo y un camino. En este caso sembraron sauce entre el zampeado. Bosque Nacional Plumas, Calif. EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 11-10. Un ejemplo del uso de estacas vivas de sauce con diques de contención de piedras. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 11-11. Un ejemplo del sistema radicular del sauce. Las especies con raíces largas son muy efectivas para el control de erosión. Georgia, EE.UU. (Foto R.B. Sotir & Associates)

Foto 11-12. Un ejemplo del sistema radicular del pino deteniendo la ladera. A la izquierda, el talud desnudo sin una cubierta vegetativa ha deslizado. Bosque Nacional Mendocino, California, EE.UU. (Foto D. Gray)

Foto 11-13. Un ejemplo de la técnica revegetativa de la aplicación de capas de ramas en un corte de talud. Georgia, EE.UU. (Foto de R.B. Sotir & Associates)

Foto 11-14. La misma área de la foto anterior 2 años después. Georgia, EE.UU. (Foto de R. B. Sotir & Associates)

Foto 11-15. Un ejemplo de la técnica revegetativa de la aplicación de colchones de ramas. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 11-16. La orilla de un riachuelo donde ha sido utilizada la técnica de colchones de ramas hace 6 meses. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 11-17. La construcción de un muro cribado vivo para estabilizar una área sujeto a la erosión. Oakland hills, California, EE.UU. (Foto A. Leiser)

Foto 11-18. Una foto del mismo muro cribado vivo 4 meses después. Nótese el brote vigoroso de las ramas de sauce. Oakland Hills, California, EE.UU. (Foto A. Leiser)

Foto 11-13. Un ejemplo de la técnica revegetativa de la aplicación de capas de ramas en un corte de talud. Georgia, EE.UU. (Foto de R.B. Sotir & Associates)

Foto 11-14. La misma área de la foto anterior 2 años después. Georgia, EE.UU. (Foto de R. B. Sotir & Associates)

Foto 11-15. Un ejemplo de la técnica revegetativa de la aplicación de colchones de ramas. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 11-16. La orilla de un riachuelo donde ha sido utilizada la técnica de colchones de ramas hace 6 meses. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 11-17. La construcción de un muro cribado vivo para estabilizar una área sujeto a la erosión. Oakland hills, California, EE.UU. (Foto A. Leiser)

Foto 11-18. Una foto del mismo muro cribado vivo 4 meses después. Nótese el brote vigoroso de las ramas de sauce. Oakland Hills, California, EE.UU. (Foto A. Leiser)

Foto 11-19. Un ejemplo de erosión en cárcava en un relleno donde la alcantarilla ha sido socavada. Nótese el corte casi vertical a la izquierda. Parque Nacional Redwood, California, EE.UU. (Foto D. Gray)

Foto 11-20. La misma área 2 años después de haber restaurado el relleno. Los cortes verticales han sido nivelados y revegetados con bultos de ramas. Parque Nacional Redwood, Calif., EE.UU. (Foto D. Gray)

Foto 11-21. Una área inestable que ha sido erosionado después de haber eliminado la cubierta vegetal. Parque Nacional Redwood, California, EE.UU. (Foto D. Gray)

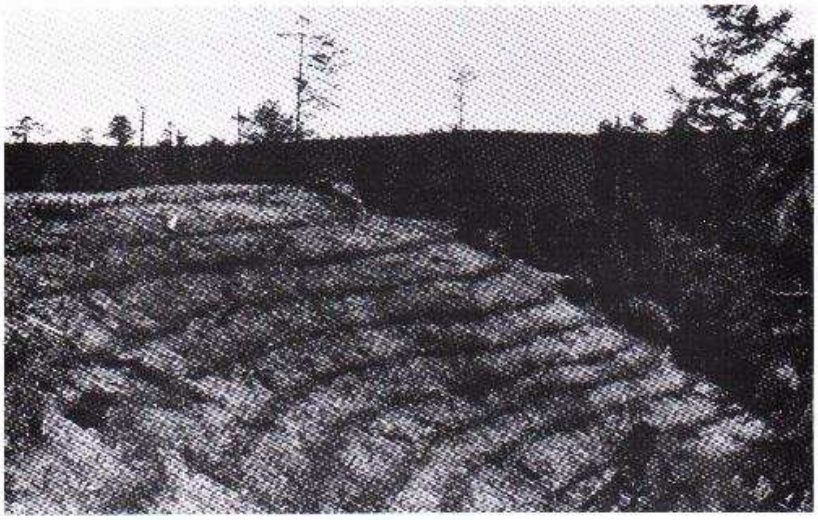


Foto 11-22. La misma área 2 años después de haber iniciado la restauración. Las pendientes han sido estabilizadas y revegetadas con bultos de ramas. Parque Nacional Redwood, Calif., EE.UU. (Foto A. D. Gray)

Capítulo 12

Control de Cárcavas

SECCIÓN 12.1.
INTRODUCCIÓN

Una cárcava es una zanja causada por la erosión del suelo que sigue generalmente la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo producto de la erosión.

El control de cárcavas debe seguir una priorización y planificación racional. Como primera medida se deben controlar las cárcavas que se están formando y amenazando terrenos productivos. Generalmente la recuperación de cárcavas ya grandes vale la pena siempre y cuando se pueda utilizar el terreno ganado en forma productiva.

Normalmente, cuando el agricultor va a utilizar nuevos terrenos para cultivo, corta toda la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea que existe, limpiando el terreno, dejando consecuentemente el terreno expuesto a la acción directa de las lluvias y de la escorrentía superficial, ocasionando inicialmente la remoción y el arrastre de las partículas del suelo por capas delgadas (erosión laminar). También, el agua concentrada en los desagües de caminos frecuentemente ocasiona cárcavas. El agua a medida que va descendiendo por la ladera y debido a las irregularidades en el relieve del terreno se va concentrando, formando pequeños canales, los que a su vez se juntan y forman un canal mayor. Con una masa de agua mayor y una velocidad que va en aumento, la erosión se va acentuando, formando inicialmente pequeños surcos, los que se van agrandando horizontal y verticalmente hasta que finalmente se forman las cárcavas, llamadas también zanjas, barrancos o torrenteras (Figura 12.1.1).

EL CONTROL DE CÁRCAVAS

La primera acción que se debe llevar a cabo para controlar una cárcava es eliminar la causa que la originó, para lo cual se tienen que efectuar trabajos a dos niveles. Si no se corrige la causa de las cárcavas, es muy probable que se formen nuevas en el área. También es muy importante mejorar las prácticas locales del uso de la tierra para reducir al mínimo la ampliación de cárcavas existentes, así como también serán necesarias algunas medidas específicas de

control de cárcavas.

En muchos casos, a nivel de ladera o área de drenaje resulta ser suficiente que las prácticas de conservación ejecutadas controlen o anulen el escurrimiento superficial. En caso contrario, si después de haber tratado la ladera todavía sigue corriendo agua por la cárcava, entonces se efectúan trabajos a nivel de la misma.

Hay bastantes prácticas de conservación que deben ser aplicadas a nivel de la ladera, como se ha explicado en el Capítulo 11. Cualquier práctica a ser aplicada a nivel de ladera debe encaminarse para evitar o controlar totalmente el escurrimiento superficial y permitir su infiltración uniforme. Unas prácticas apropiadas son:

- Repoblación con gramíneas y árboles, preferiblemente con especies nativas.
- Buen manejo de pastos (pastoreo de corta duración y frecuente) y bosques.
- Uso de zanjas de infiltración en bosques y pastizales.
- Uso de terrazas de absorción.
- Uso de surcos y barreras en contorno para disipar el agua a través de la ladera y reducir su velocidad.
- Uso de zanjas de desviación para quitar agua desde la ladera.

Las prácticas a nivel de cárcavas se discuten específicamente en este Capítulo. Después de haber tratado la ladera y si todavía hay escurrimiento en la cárcava misma, se efectuan trabajos a nivel de ésta, consistentes en la construcción o colocación de diques o pequeñas barreras u obstáculos transversales a la cárcava, a fin de disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas que lleva el agua en suspensión.

Los diques o trinchos son construidos a lo largo de la cárcava y pueden ser hechos de sacos llenos de arena y reforzados con champa de piedra, de mampostería, de ramas y pajas o matorral, de palos, de malla de alambre, de barreras vivas y otros.

Un aspecto importante es el espaciamiento entre los diques. El principio fundamental que se debe tener más presente para la determinación del espaciamiento entre los diques es que este experimento permite que el centro

del borde superior de un dique esté al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba.

Un medio sumamente eficaz en el control de la cárcava es permitir el crecimiento de la cubierta vegetal, evitando el pastoreo de animales a lo largo de la cárcava y en la zona circundante a ella, por lo menos un radio igual a cinco veces la profundidad de la cárcava. Las paredes mismas de las cárcavas deben estar cubiertas por vegetación natural sembrada o especialmente con pastos.

El propósito principal de los diques de contención en las cárcavas consiste en disminuir la velocidad del agua que se mueve hacia abajo, y como resultado el limo y el arrastre se depositan en el fondo en vez de socavar materia adicional del lecho de la cárcava. La velocidad del agua es disminuida para reducir el gradiente efectivo del canal. La construcción de una serie de diques de contención a lo largo de una cárcava convierte al canal de una quebrada con una cuesta relativamente inclinada, o alta gradiente, en un canal en forma de escalera. De tal manera que el agua fluye sobre una pendiente suave entre estructuras, y entonces se vierte sobre una estructura estabilizada.

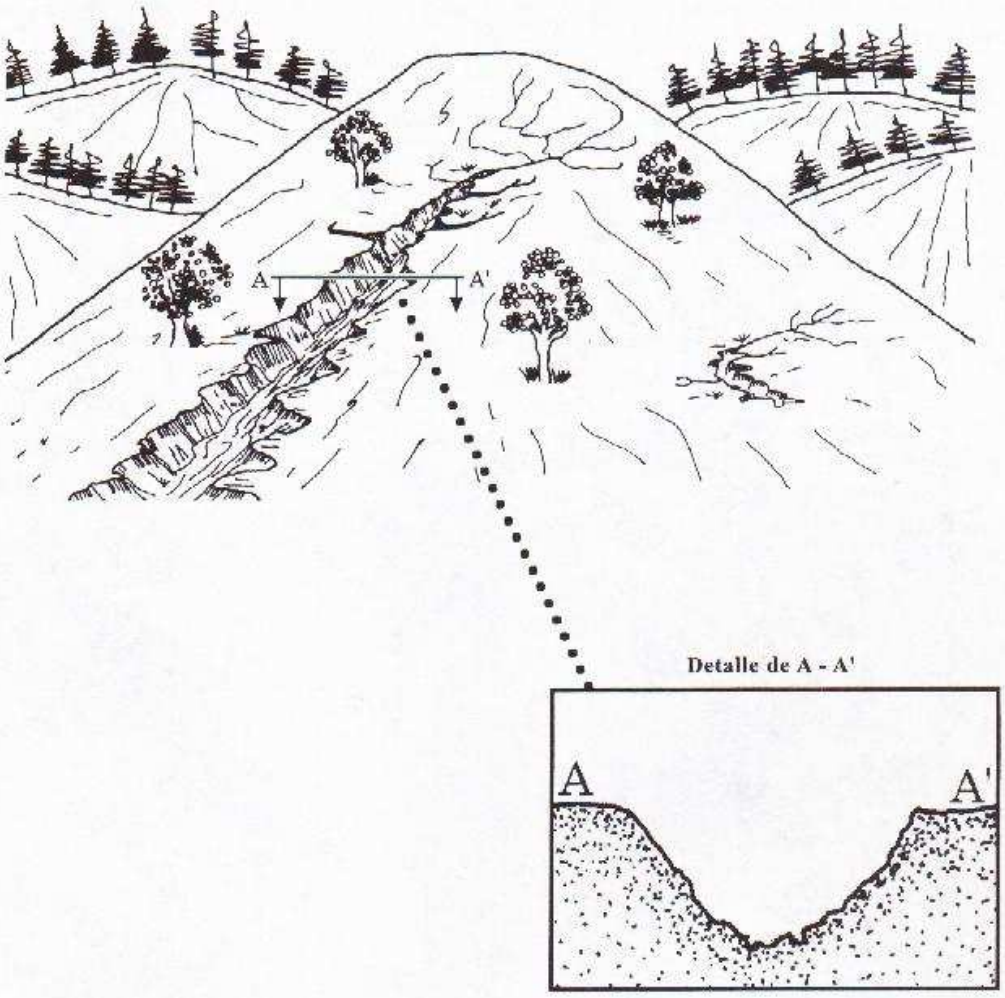


Figura 12.1.1. Formación y forma de cárcavas.

Fuente: Adapatado de Arledge, Jerome, L. Chang-Navarro L., y A. Vasquez Villanueva, 1985.

SECCIÓN 12.2.
DISEÑO DE DIQUES Y ESTRUCTURAS PARA EL CONTROL DE CÁRCAVAS

Existen numerosos tipos y diseños de diques de contención, como se describe en la próxima sección. El diseño básico de los diques de contención involucra la determinación del espaciamiento y altura de las estructuras, ya que ambos son una función de la gradiente del canal. Otros factores que se deben considerar están relacionados con la estructura: porosa o sólida; capacidad de la estructura adecuada para la corriente; protección y armadura de las orillas y gabachas; tamaño y graduación de roca y otros detalles de construcción, tales como dentellones, criterios de filtros, etc.

UBICACIÓN DE LOS DIQUES

El espaciamiento, la configuración del dique y la altura son consideraciones importantes de diseño para todo tipo de estructura a construir. Generalmente es preferible construir varios diques bajos, de menos de cuatro pies de altura (1.2 metros), en vez de unos pocos diques altos. Los diques bajos son más económicos y hay menos riesgo de que las correntadas se lleven las estructuras bajas, y si ocure, el daño es menor.

En cárcavas menores se construyen los diques en la parte alta o a su vez en la estructura del corte de cabeza superior, y se les coloca los demás para abajo de la cárcava. Como se demuestra en la Figura 12.2.1, el primer dique se ubica en el punto "B" del terreno, muy cerca del inicio de la cárcava (punto "A"). Los siguientes diques se ubican de la siguiente manera:

A partir del Punto "B" se extiende un cordel aguas abajo, el cual debe ser horizontal. La ubicación del siguiente dique debe ser determinado por el punto del terreno cuya distancia vertical al cordel será igual a la altura efectiva determinada que debe tener el dique (0.5 - 1.0 metros); luego, a partir de este punto, se repiten los pasos anteriores a fin de determinar la ubicación de los siguientes diques aguas abajo.

En quebradas o canales más grandes es deseable comenzar un conjunto de diques de contención en un punto de control del canal, tal como un afloramiento

de roca madre, una capa de guijarro o suelo resistente, donde el material no será afectado por la acción del agua que se vierte sobre la estructura (en la parte más baja). La ubicación ideal del próximo dique de contención sería río arriba del pie del depósito de sedimento ocasionado por el dique río abajo (Figura 12.2.2 Gráfica B). En la práctica, se puede fijar este punto trazando una línea horizontal desde la cima del dique río abajo, sin embargo se debe tomar en cuenta que el sedimento se depositará en una pendiente muy suave.

En ambos diseños, el espaciamiento entre las estructuras es casi igual, y generalmente es determinado por la gradiente de la cárcava. Si la distancia entre los diques excede los criterios presentados aquí, entonces, una parte de la cárcava se quedará sin protección y estará sujeta a más erosión descendente entre las estructuras.

Se puede determinar el espaciamiento de los diques usando los criterios presentados en la Figura 12.2.2 Gráfica A, que demuestra la relación entre la altura del dique, el espaciamiento, la gradiente de la cárcava y, también está indicado la gradiente de los depósitos de sedimento.

Con el diseño adecuado, el espaciamiento entre las estructuras es aproximadamente el mismo y determinado generalmente por la cárcava gradiente. Si el espaciamiento usado es mayor que los criterios presentados aquí, entonces una parte de la cárcava se ha dejado sin protección, y puede ocurrir erosión adicional descendente entre las estructuras.

La relación de espaciameniento entre estructuras se muestra sencillamente en la Figura 12.2.2 Gráfica B, donde se debe notar que para una gradiente determinada, el número de diques que se necesita disminuye con el incremento de la altura de los diques. En un canal con una gradiente baja, con diques con una altura menor de 1.5 metros, el espaciamiento es relativamente amplio. Tal y como las gradientes exceden el 10 a 15 por ciento, el espaciamiento entre los diques se disminuye.

VERTEDEROS Y GABACHAS

Los diques de contención pueden tener diferentes secciones transversales y pueden construirse de diferentes materiales, pero todos deberían tener algún tipo de vertedero y gabacha, como las ilustradas en la Figura 12.2.3. Un vertedero simplemente provee el paso de las correntadas sobre la estructura sin riego, por lo cual el diseño incorpora una ranura en el centro para canalizar el agua para evitar que se desgasten los extremos de la estructura. La gabacha

protege la parte río abajo de la cara del dique donde cae el agua, evitando la socavación del dique y la erosión descendente en la cárcava. Entonces el propósito de la gabacha es disipar la energía del agua descendente así como también proteger contra la socavación.

El diseño de un vertedero de un dique de contención debe ser similar a cualquier estructura hidráulica, tomando en cuenta el patrón climatológico de los últimos 25 años ó más. La corriente en una cárcava puede ser de menor escala, sin embargo, la estructura debe ser diseñada y construida para resistir las inclemencias a través de los años, aplicando los conceptos de hidrología e hidráulicos discutidos en los Capítulos 4 y 5. Se determinan las corrientes probables usando la "Fórmula Racional" y la capacidad del vertedero se puede determinar con el uso de la fórmula de Manning, o las ecuaciones weir. Los mismos cálculos se aplicarían a una serie de diques en cualquier cárcava, para que el material en un vertedero sea suficientemente grande para resistir la corriente de agua y para que no se lave.

El diseño de la gabacha dependerá de la forma y tipo de material que se usa en el dique. Idealmente la longitud de la gabacha debe ser aproximadamente 1.5 veces la altura del dique; en canales con gradientes que excedan el 15 por ciento la longitud de la gabacha debe ser 1.75 a 2 veces la altura. Se debe empotrar la gabacha por lo menos 0.2 metros en el fondo de la cárcava y preferiblemente construir unos dentellones río abajo para prevenir socavación de la misma.

OTROS FACTORES

Cuando se usan diques de cotensión es necesario emplear rocas de tamaño apropiado, particularmente cuando losciques son porosos, para resistir el reemplazo de roca y para prevenir el escurrimiento o socavación. El tamaño y la graduación de la roca depende del tamaño y tipo del dique, y la cantidad de la corriente. En la mayoría de los casos la roca debe graduarse bien, comúnmente en un tamaño que va de 10 a 50 centímetros. Para estructuras de más de 2 a 3 metros de alto, el diámetro deseable en la roca es de hasta 1 metro.

Los filtros o roca bien graduada deben ponerse entre la roca y el suelo nativo, como con cualquier estructura hidráulica. A causa de la velocidad del agua que gotea sobre el dique, el suelo fino detrás de la roca o el material en la estructura puede moverse, si los criterios de filtro no son usados. Una

estructura de roca debe estar muy bien graduada, o debe ser colocada sobre una capa de tamaño medio de grava y roca, o debe usarse una capa de geotextil debajo de la estructura. Deben ser aplicados los criterios generales de zampeado, y los criterios de filtro discutidos en el Capítulo 5.

La mayoría de las estructuras de control de cárcava se construyen sobre el terreno que es moderadamente plano, con una inclinación máxima de 15 a 20 por ciento. En terrenos como esstos, los criterios discutidos en este capítulo pueden ser aplicados. El control de cárcavas es muy difícil o impráctico con pendientes muy empinadas. El punto más importante está en desviar el agua o eliminar su fuente, así no continúa agrandándose la cárcava. En pendientes empinadas, de 30 a 70 por ciento, de terreno natural, la mayoría de los drenajes naturales que llevan agua ya se han socavado hasta la roca madre u otra superficie no erosionable; el agua deberá desviarse en un canal natural si esto fuera posible. Los diques de contención prácticamente no pueden construirse sobre un espacio suficientemente cercano para prevenir alguna erosión adicional descendente; en este caso, si el agua no puede desviarse desde el área, un canal armado o revestido con un dispositivo de disipador de energía.sería necesario. También, si fuera posible deberá usarse vegetacion nativa del área, para ayudar en la estabilización de la cárcava.

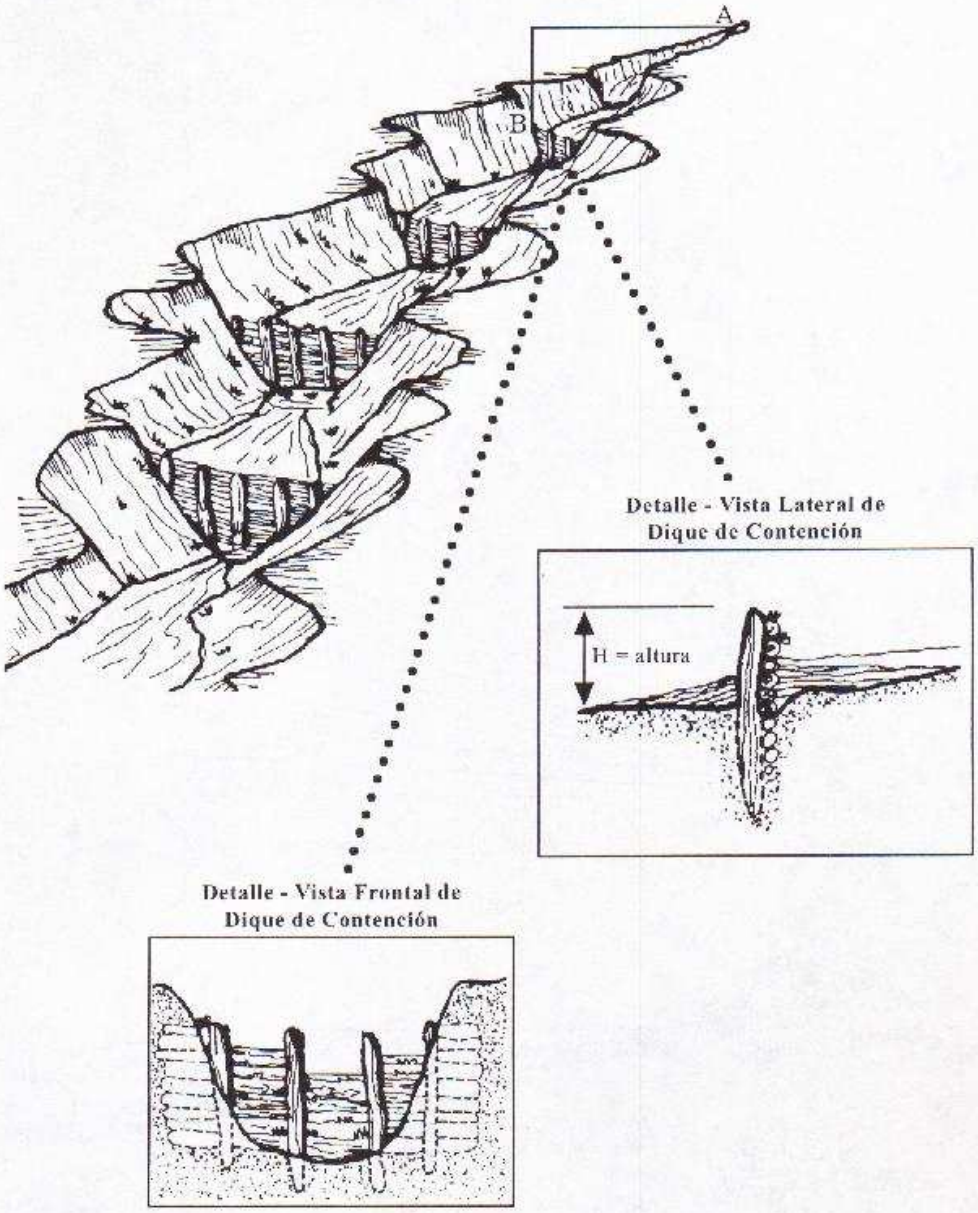
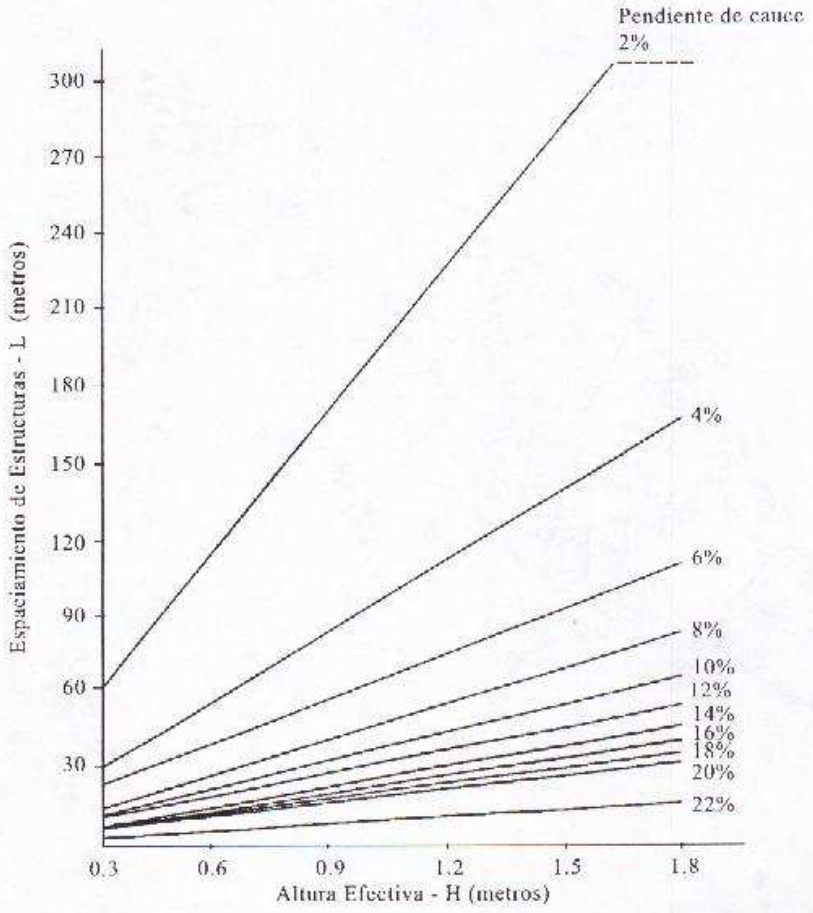
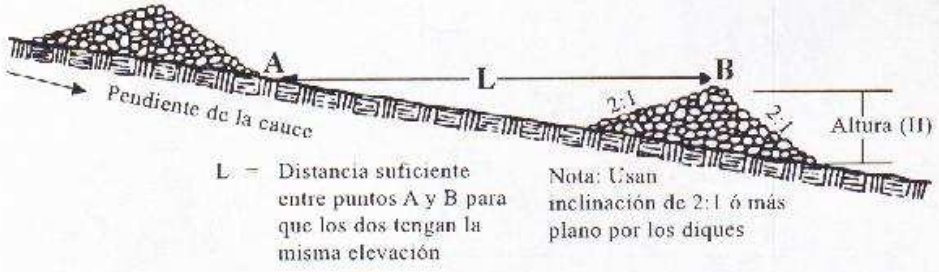


Figura 12.2.1. Construcción de diques de contención.

Fuente: Adapatado de Arledge, Jerome; L. Chang-Navarro L.; y A. Vasquez Villanueva, 1985.



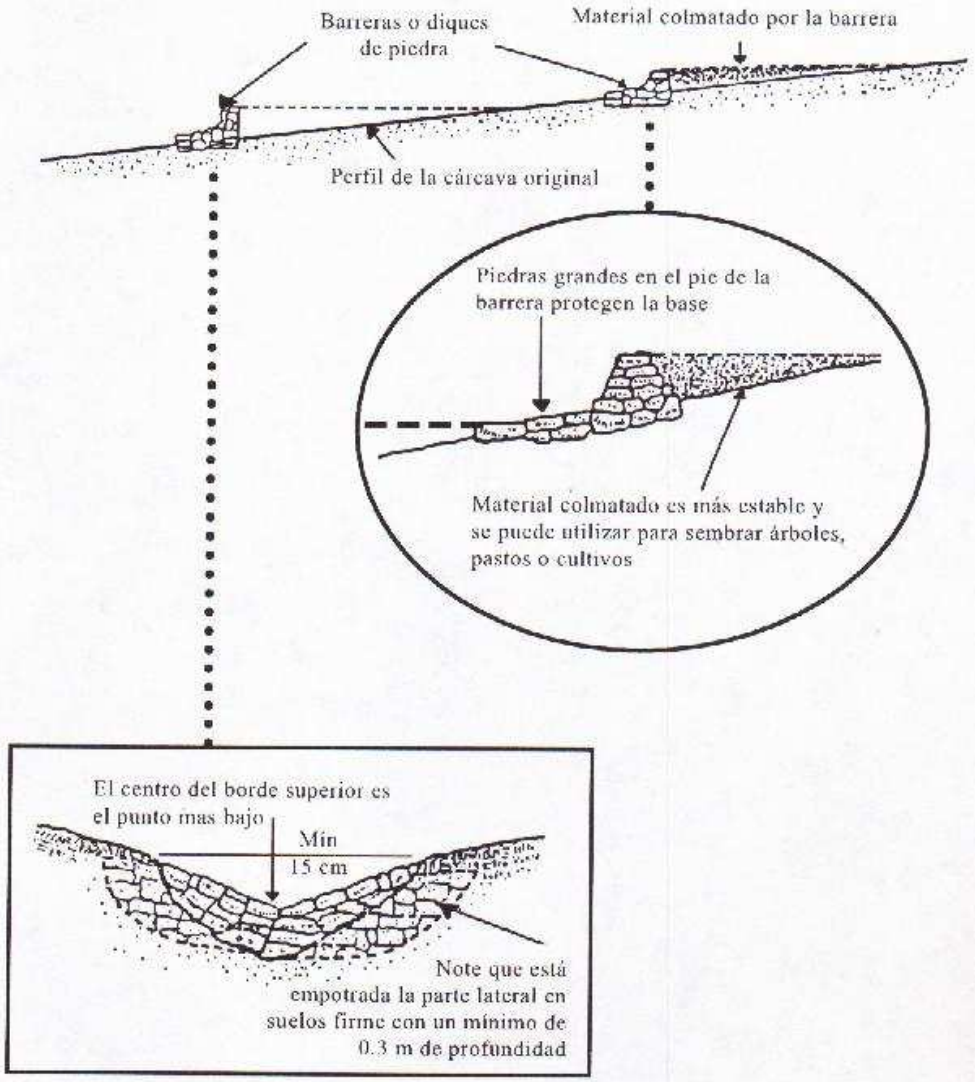
Gráfica A.



Gráfica B.

Figura 12.2.2. Espaciamiento de diques de contención.

Fuente: Adaptado de Gray y Leiser, 1982.



ES MUY IMPORTANTE QUE EL AGUA DE ESCURRIMIENTO CORRA POR EL CENTRO DE LA ESTRUCTURA

Figura 12.2.3. Detalle de diques de contención de piedras.

Fuente: Adapatado de McDowell, W., 1993.

SECCIÓN 12.3.
TIPOS DE DIQUES Y ESTRUCTURAS

Los diques de contención pueden construirse de roca, mampostería, matorral, tablestacas, malla de alambre, troncos, concreto, gaviones y postes, sólo o en combinaciones de materiales. De todos estos materiales, la roca suelta es uno de los más usualmente utilizado y uno de los diseños más efectivos, particularmente cuando se utilizan conjuntamente con vegetación. Los materiales nativos locales deben usarse cuando sea posible porque es más práctico y de menos costo.

Las estructuras de los diques pueden ser porosas o no-porosas dependiendo de las necesidades y los fondos disponibles. Las estructuras no-porosas, o sólidas tales como concreto, tablestacas, o mampostería, son relativamente costosas, no natural, reciben un impacto fuerte de las fuerzas dinámica e hidrostática de la corriente, y son "rígidas", resistiendo las fuerzas de deformación. Sin embargo, éstas han sido utilizadas exitosamente en cárcavas y canales pequeños, o como presas grandes.

Las estructuras porosas que dejan pasar una parte del volumen de agua, reducen las fuerzas sobre la misma, son generalmente más simples y menos costosas, son más fáciles para mantener, y pueden construirse con materiales naturales que armonizan con el ambiente. Las estructuras porosas son más recomendadas para el control de cárcavas.

CARACTERÍSTICAS DE LOS DIQUES DE PIEDRA

Se pueden construir los diques de contención de roca suelta para dejar pasar una parte del agua, o de material bien graduado que es relativamente impermeable. Las estructuras deben ser relativamente impermeables si su propósito consiste en levantar el manto acuífero local, sin embargo, para la mayoría de las aplicaciones de dique de contención, los factores de graduación y permeabilidad no son importantes. Con el tiempo la mayoría de las estructuras de roca suelta se obstruirán con tierra y arrastre, transformándose en una estructura relativamente impermeable. Las Figuras 12.3.1 y 12.3.2 muestran unas configuraciones típicas de un conjunto de diques de contención de roca construidos para el control de cárcavas. La Figura 12.3.1 es un diseño simple

apropiado para cárcavas pequeñas, mientras que la Figura 12.3.2 muestra una estructura más intrincada y detallada que puede construirse en una quebrada o drenaje más grande. Los siguientes son algunos detalles sugeridos para estructuras simples de roca:

- Espesor del borde superior del dique de piedra entre 20-30 cms. y del borde inferior de 30-50 cms.
- Altura efectiva del dique entre 0.5 y 1.2 metros.
- El dique debe ser empotrado de 30-50 cms. en el fondo y en las paredes laterales de la cárcava, para darle mayor estabilidad.
- Presentar un aliviadero de forma parabólica en el borde superior del dique a fin de darle mayor capacidad de desagüe y evitar que el agua caiga en forma de chorro y erosione los bordes laterales y la base del dique. La altura efectiva del dique es la distancia entre el centro del borde superior del dique y la superficie del suelo.
- El espaciamiento entre diques depende de la pendiente del cauce de la cárcava. Pero debe tenerse presente como condición básica que el centro del borde superior del dique debe estar al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba, determinándose así el espaciamiento entre diques. Cuanto mayor es la pendiente del cauce de la cárcava, menor resulta el espaciamiento entre diques.

En algunos casos, al pie del dique se construye un colchón hidráulico ya sea de piedras, ramas o paja, a fin de disipar la energía del agua y evitar que el golpe de agua socave la base del dique y cause el derrumbe o volteo de la estructura.

OTROS TIPOS DE DIQUES

Se presentan algunos dibujos de otros tipos de estructuras de diques de contención que pueden utilizarse para estabilización de canales o control de cárcavas. La Figura 12.3.3 muestra un dique o trincho de mampostería cuyo diseño es bastante parecido a una estructura de roca suelta; este tipo de estructura de mampostería es más rígido e involucra más atención a los detalles de diseño porque se considera una estructura relativamente permanente, y por

lo tanto más cara.

Los diques de matorral, como se muestra en la Figura 12.3.4, involucran el uso de postes y matorrales para la construcción de estructuras relativamente bajas, 0.5 - 1.0 metros de alto. Los materiales (árboles y matorrales) para estas estructuras provienen del sitio, el costo es relativamente bajo. Los diques (trencho) de malla de alambre, mostrado en la Figura 12.3.5, consisten de estructuras de alambre estacadas en el canal y tiene un costo relativamente bajo. Se colocan matorrales o roca a la par de la malla para atrapar el sedimento. Estas estructuras pueden construirse rápidamente pero no son duraderas en canales que llevan mucho arrastre porque se dañan fácilmente con arrastre grande.

ESTRUCTURA DE CORTE DE CABEZA (CABECERAS)

Las estructuras de corte de cabeza en el extremo superior de una cárcava se construyen para estabilizar esta área y prevenir el movimiento adicional aguas arriba porque la cabeza de una cárcava es particularmente vulnerable. Es aquí donde el agua cae en la cárcava y su velocidad se acelera, causando severos problemas de erosión. Es particularmente importante estabilizar esta área para limitar el daño y prevenir que se muevan grandes cantidades nuevas de material aguas abajo contra otras estructuras de dique de contención.

El diseño de cabeceras varia un poco de los de diques de contención de cárcavas, sin embargo, involucran los mismos conceptos básicos de diseño, con más atención a los detalles. Las Figuras 12.3.6 y 12.3.7 muestran estructuras de cabeceras hechas de colchones de matorral y roca suelta, respectivamente. Cuando sea posible, se debe utilizar una combinación de rocas, matorrales, y vegetación viva en esta área.

La Figura 12.3.8 presenta un dibujo más detallado de la sucesión de construcción para hacer una estructura de cabecera con roca suelta. Se recomienda este diseño para las cabeceras de riachuelos y aplicaciones severas; se excava el área original corte de cabecera, que es usualmente socavado, para lograr un fondo regular y liso; en medio del área de la estructura se excava una llave; se coloca una capa de filtro contra el suelo nativo y la roca suelta se pone encima del filtro y dentro de la zanja de la llave de modo que el núcleo del dique se construye. Finalmente en el lado aguas arriba del núcleo de dique se llena de roca hasta el corte de cabecera para proveer protección completa al nivel natural

del terreno. Este tipo de "estructura doble" ofrece protección óptima contra corte de cabecera adicional, siempre y cuando se forme la corriente del agua sobre la estructura. Si se levanta la estructura arriba del nivel natural del riachuelo o terreno, el agua correría afuera de la estructura y comenzarían nuevos cortes de cabeceras alrededor de la estructura.

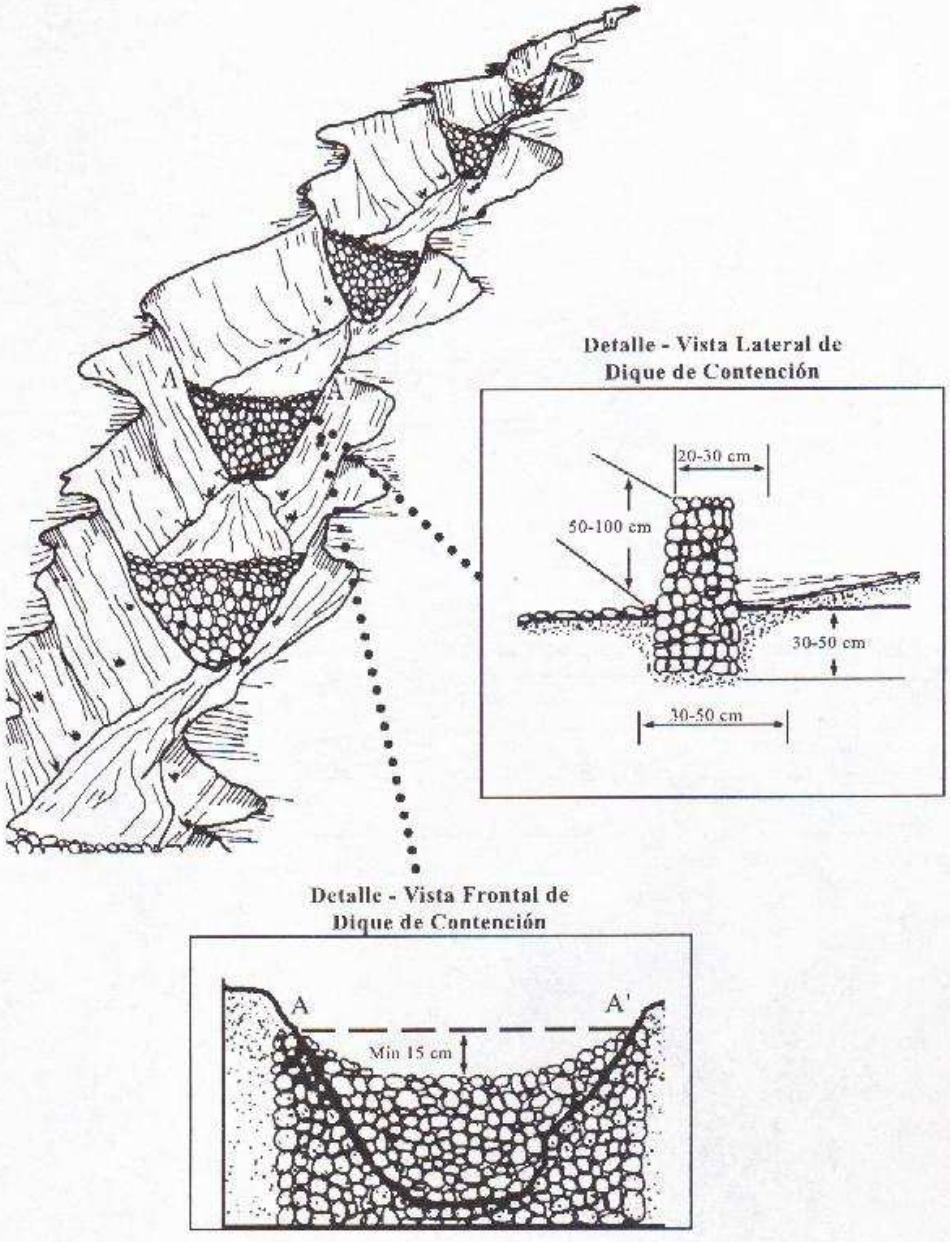


Figura 12.3.1. Características de los diques de contención hechos con piedras o mampostería.

Fuente: Adapatado de Arledge, Jerome; L. Chang-Navarro L.; y A. Vasquez Villanueva, 1985.

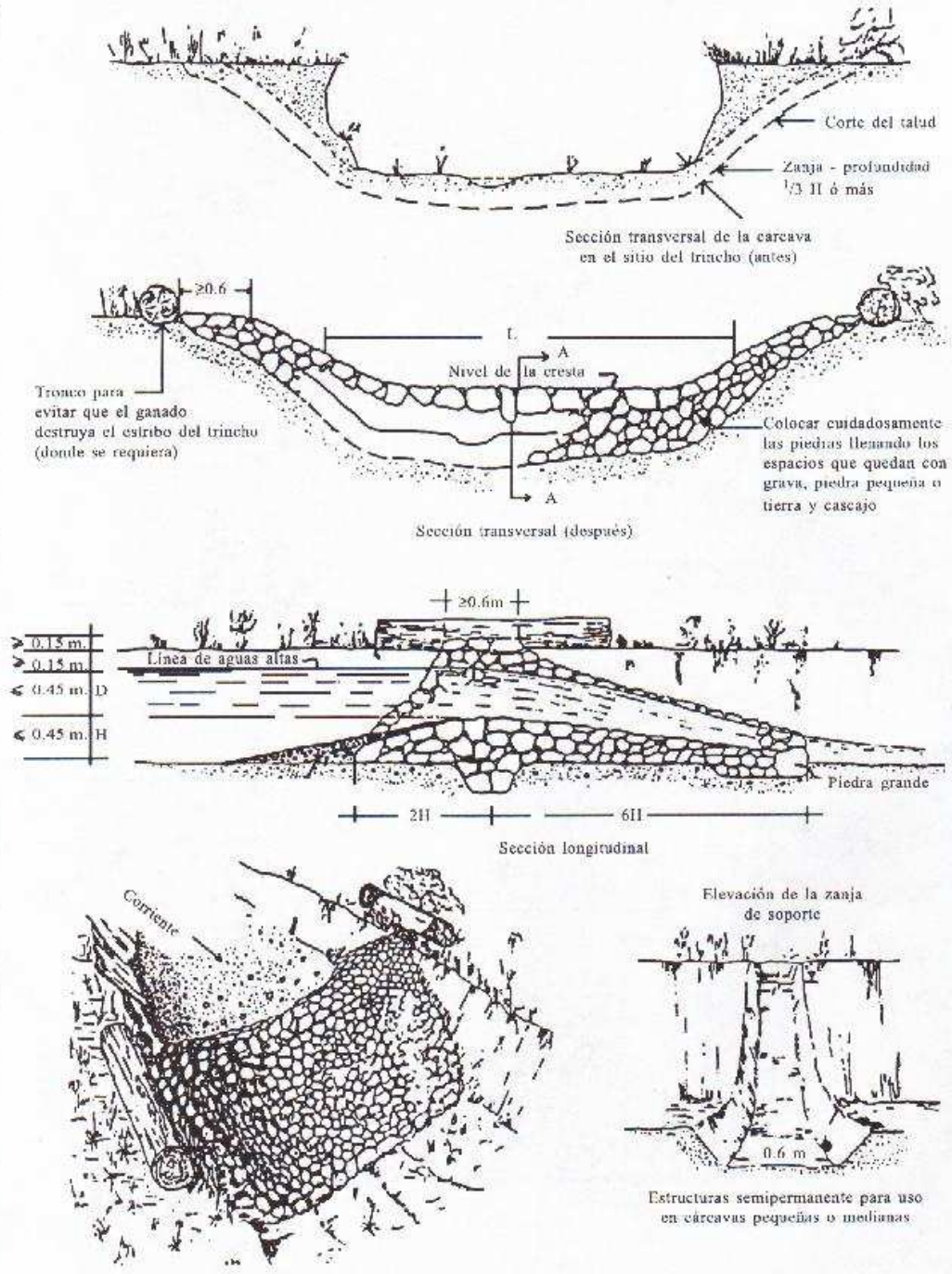


Figura 12.3.2. Barrera de piedra en zona de mina.

Fuente: Adaptado de Valderrama et. al., 1964.

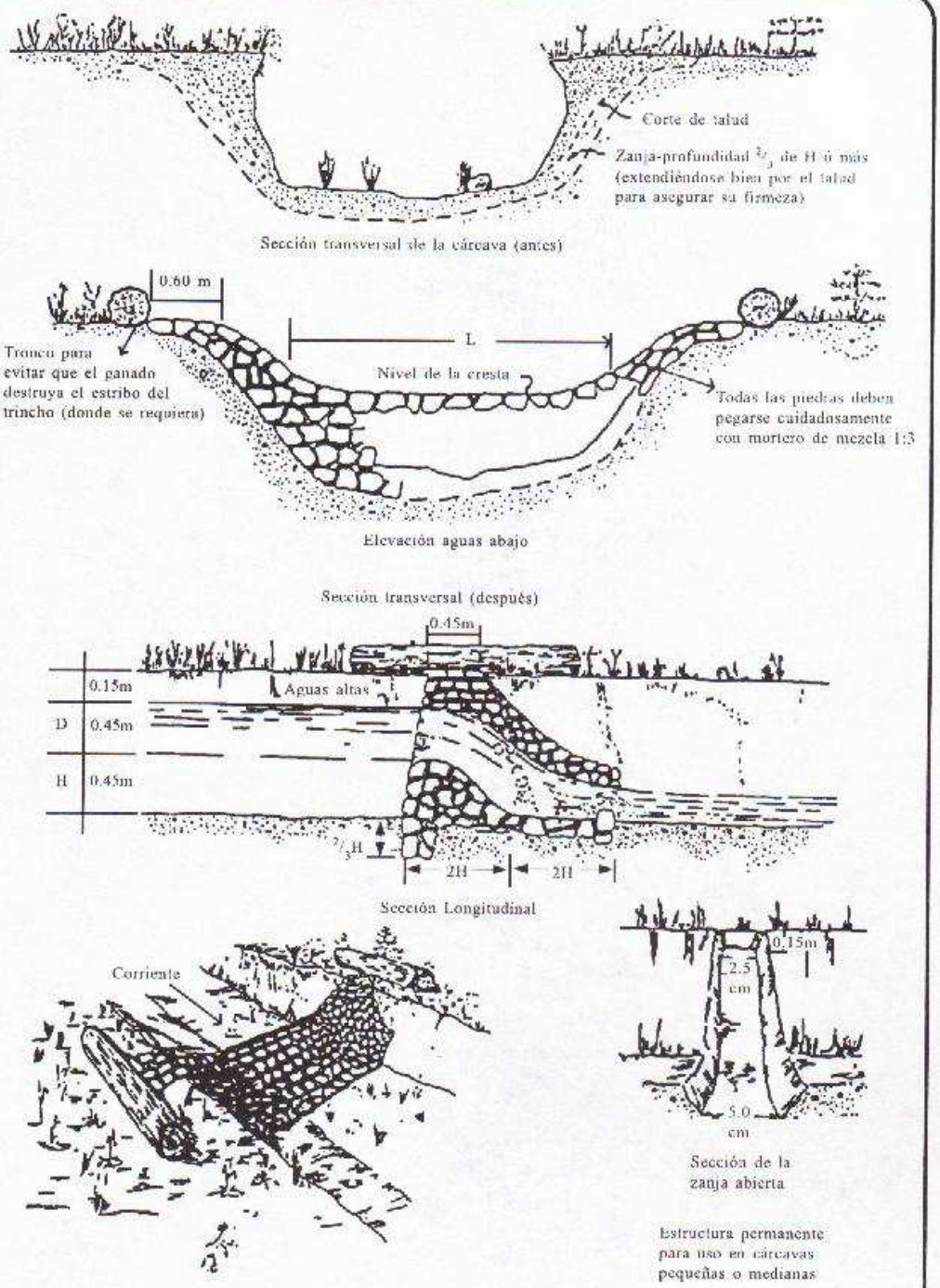


Figura 12.3.3. Barrera de mampostería.

Fuente: Adaptado de Valderrama et al., 1964

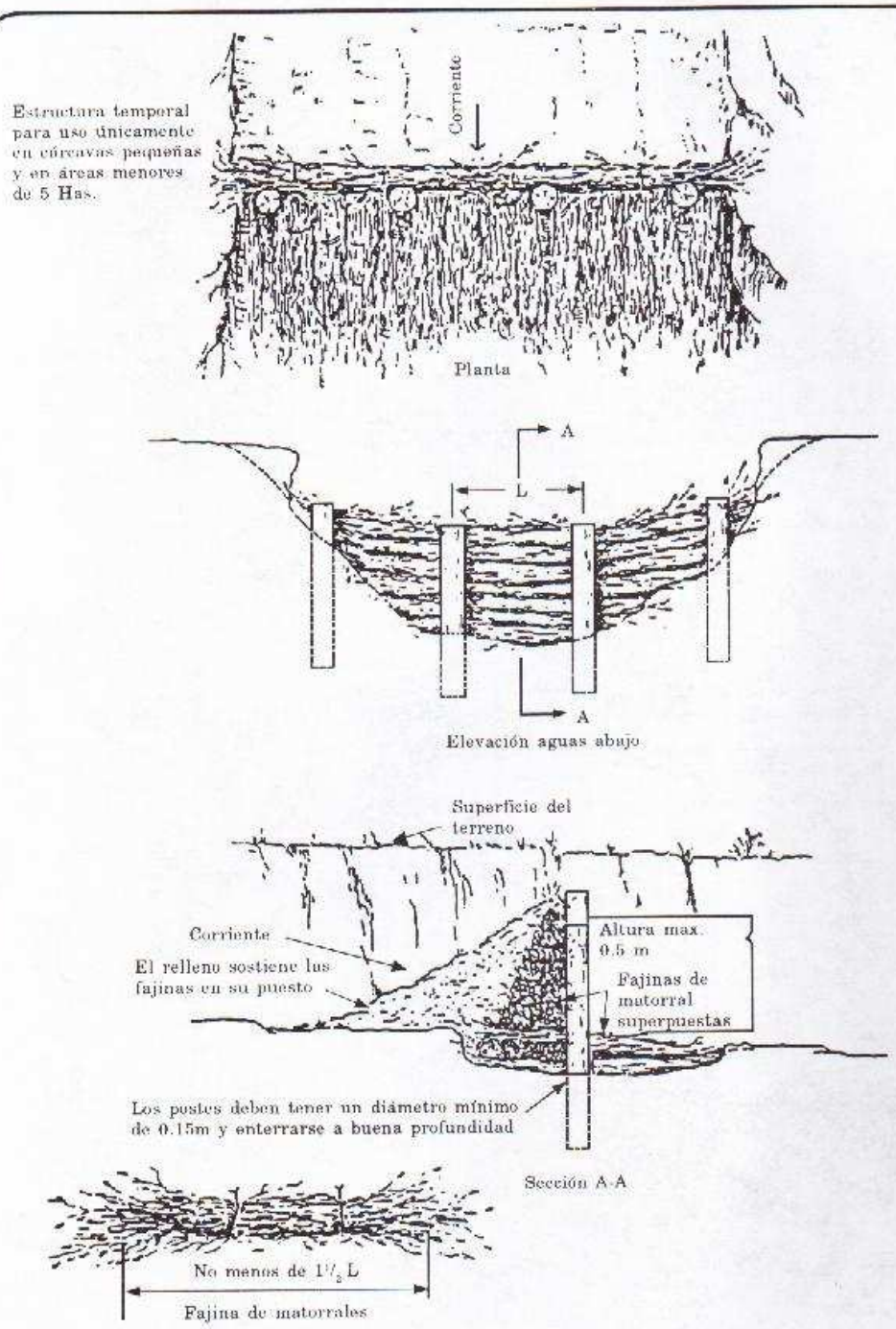


Figura 12.3.4. Barrera de matorral (tipo de una hilera de postes).

Fuente: Adaptado de Valderrama et. al., 1964.

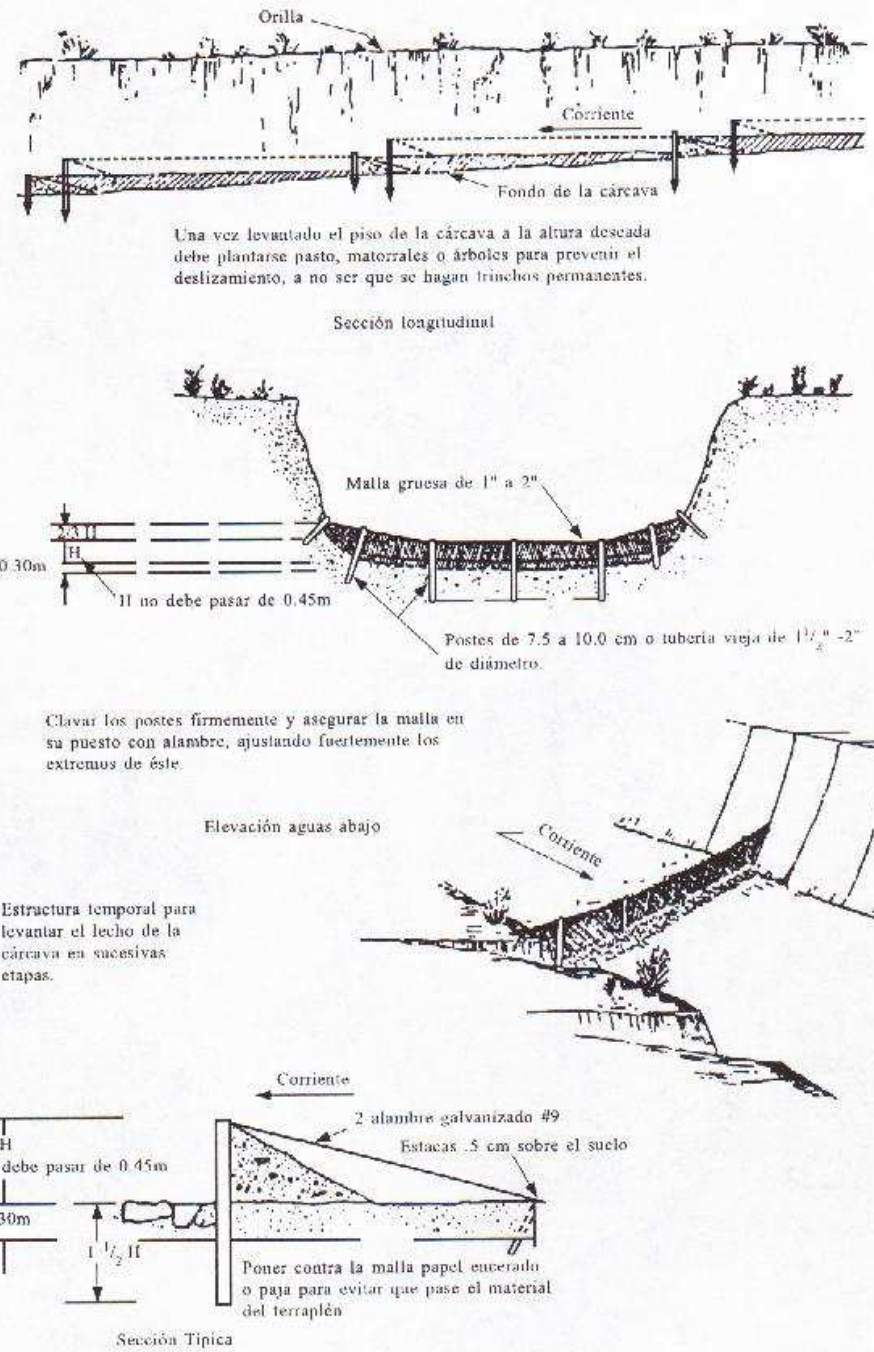


Figura 12.3.5. Barrera de malla de alambre.

Fuente: Adaptado de Valderrama et. al., 1964.

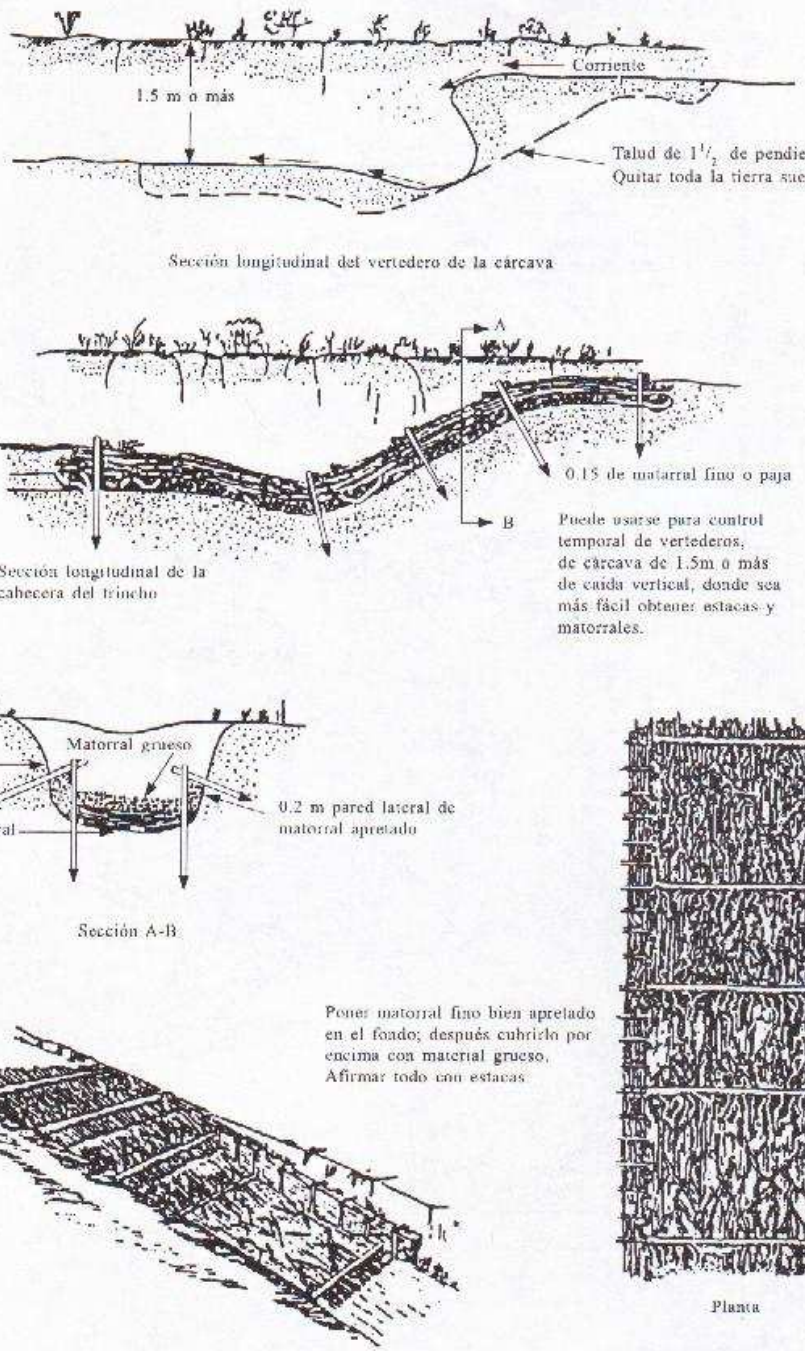


Figura 12.3.6. Protección de matorral para cabecera de cárcava.

Fuente: Adaptado de Valdecrama et al., 1964.

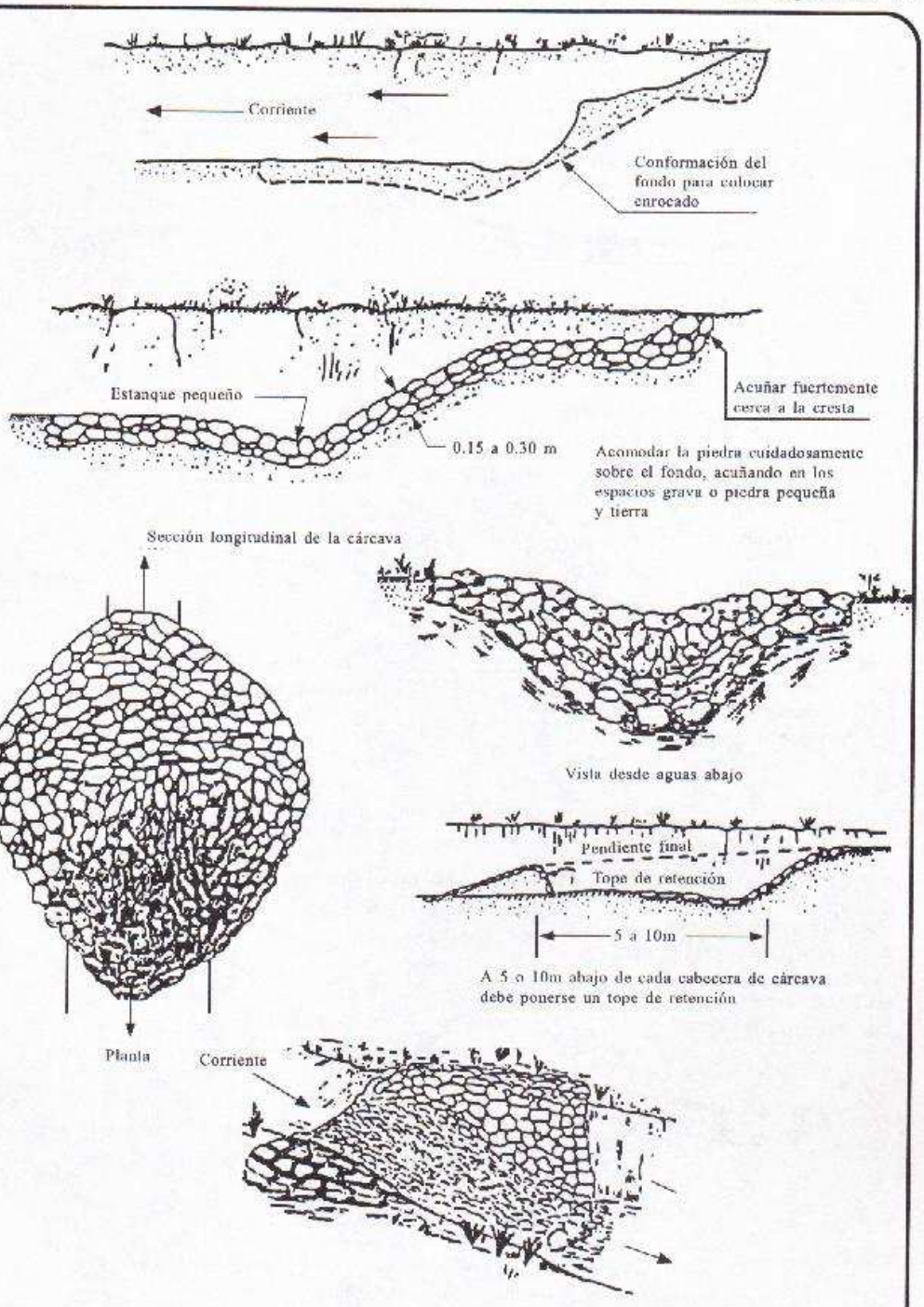
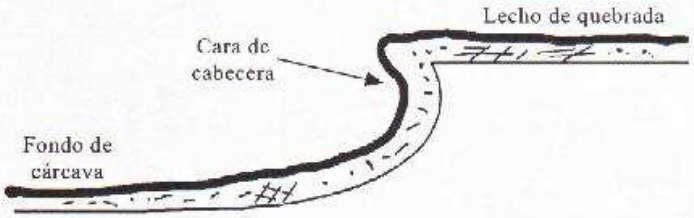
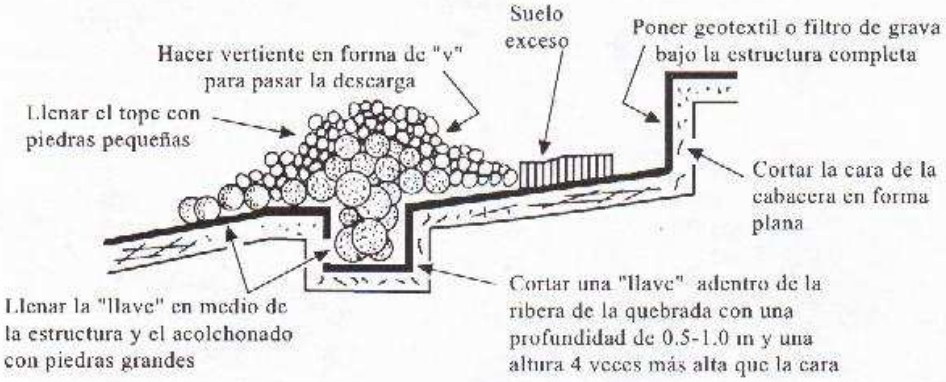


Figura 12.3.7. Barrera de piedra para cabecera de cárcava.

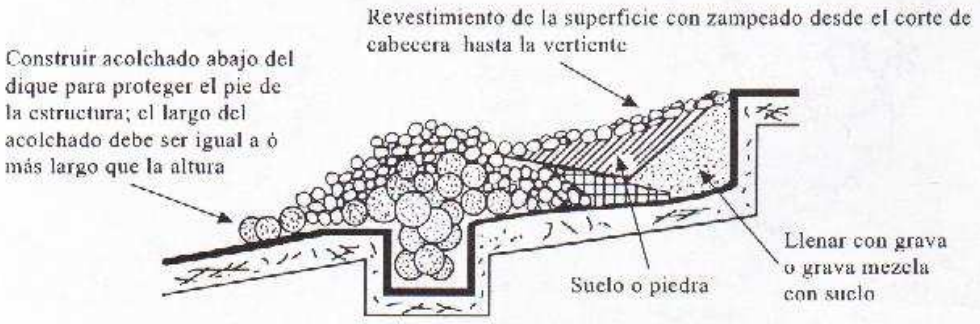
Fuente: Adaptado de Valderrama et. al., 1964.



Gráfica A - Cabecera original.



Gráfica B - Construcción inicial de vertiente.



Gráfica C - Estructura final.

Nota: Hay que mantener la estructuras después de tormentas para reparar daños de socavación, movimiento de piedras, etc.

Figura 12.3.8. Detalles de construcción de estructuras para estabilizar cabeceras de cárcavas.

SECCIÓN 12.4.
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS

La construcción de los diques siempre se debe iniciar desde la parte más alta de la cárcava hacia abajo, con el objeto de disminuir o controlar el escurrimiento superficial que se pueda presentar durante la construcción de los diques a lo largo de la misma. Si la construcción se iniciara desde la parte más baja hacia arriba se presentaría un escurrimiento superficial durante la etapa de construcción y los diques podrían ser derrumbados dado que la energía del agua no ha sido disipada desde el inicio de la cárcava.

Para la construcción de los diques descritos se utilizan sólo materiales nativos o naturales disponibles en el sitio mismo o en la zona adyacente. El diseño que se utilice dependerá de la familiaridad con el tipo de estructura, materiales disponibles en el área, y el tamaño de la cárcava. Se recomienda el uso de roca suelta en combinación con vegetación por buen desempeño y durabilidad.

Es particularmente importante que la construcción sigua un proceso de diseño racional para determinar la altura apropiada de la estructura y el espaciamiento como se perfila en este Capítulo, y la construcción de un vertedero con suficiente capacidad para pasar la corriente del diseño sobre la estructura y mantener la corriente dentro del área protegida de la estructura. Si la distancia entre las estructuras es demasiada, el área puede seguir erosionando, o nuevas cárcavas pueden formarse entre las estructuras. Muchas estructuras de control de cárcavas fallan por el efecto de erosión descendente en los extremos, y por lo tanto se debe brindar las estructuras con una llave acolchada adecuada.

Ocasionalmente se utilizan las estructuras de gaviones para el control de cárcavas, pero otros tipos de estructuras son más recomendadas. Los gaviones de roca son muy porosos y, como consecuencia, están sujetos a socavación y la pérdida de material detrás de y en los extremos de las estructuras resulta en su fallo. Este tipo de estructura es muy rígida y no puede acomodar bolsillo de socavación y requiere que sean bien empotradas en el suelo nativo con una capa de material de filtro entre los gaviones y el suelo nativo.

Finalmente, las cabeceras y los diques deben construirse con protección en las laderas, gabachas, y vertederos adecuados para prevenir socavación y/o que el agua se escurra alrededor de la estructura. El uso de medidas

biotécnicas, tales como, estaqueado con sauce y la siembra con otra clase de vegetación en la orilla de las estructuras, es recomendada porque brinda protección adicional, como se describe en el Capítulo 11. Las raíces de las plantas no solo ayudan para estabilizar las estructuras, sino que también refuerzan los canales de las cárcavas.

El uso de diques de contención y estructuras de cortes de cabeceras como modo de estabilizar cárcavas y canales fluviales es una práctica muy acertada. En adición a las prácticas mencionadas arriba las siguientes técnicas son recomendables: reconformación de orillas o canales; nivelación y resiembra de cuestas muy inclinadas o riberas socavadas; el uso de zampeado local o masa de raíces para revestir o proteger áreas; el uso de aletas o diques; dirigir la corriente de canales; construcción de estructuras en forma de escalera para reducir la velocidad de la corriente; etc.

Se pueden aplicar otros conceptos básicos para reparar la erosión de canales, particularmente en un riachuelo donde ocurra erosión descendente, lateral, o la acción de gradación. Una técnica que está actualmente en el proceso de desarrollo es la morfología de cauces, que implica virtualmente la reconstrucción del canal para que tenga una configuración nueva y estable. Básicamente el objetivo es rehacer el canal de forma que tenga la capacidad de transportar todo el sedimento, y el cauce fluvial sea estable en todos los niveles del caudal a largo plazo. Como parte de esta nueva metodología, se recoge información, tales como: cambios de las condiciones en la cuenca, el clima o el sistema del cauce; características del canal, el material y la corriente del diseño. Con esta data se diseña la nueva configuración del canal, el patrón de serpenteo, profundidad del canal, y las áreas de rebalse. Además, se trata el cauce entero y no sitios localizados, por lo tanto, resulta que el costo es más alto y la perturbación es más significativa durante el proceso de construcción, sin embargo, se debe considerar las ventajas en el sentido de que a largo plazo se reducen al mínimo muchos problemas. Por lo tanto, antes de iniciar un proyecto tan ambicioso y complejo, se debe contar con un estudio detallado elaborado por hidrólogo y morfólogos fluviales experimentados.

Foto 12-1. Un ejemplo de erosión en cárcava severa causada por prácticas agrícolas inapropiadas. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

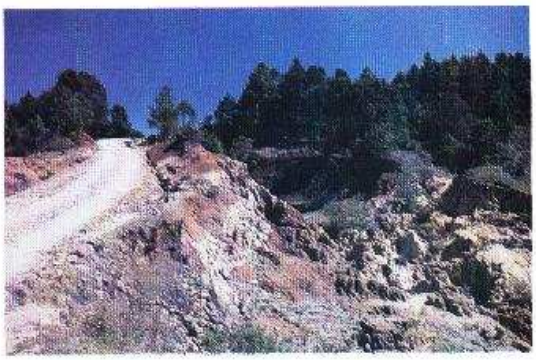


Foto 12-2. Un ejemplo de erosión en cárcava severa en un camino rural como consecuencia de un trabajo mal hecho y drenajes inadecuados. Quetzaltenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto12-3. El inicio de erosión en cárcava en una parcela causado por agua desaguando de un camino. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 12-4. El inicio de la construcción de un dique de contención de piedra y bambú para controlar la erosión. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 12-5. Un dique de contención terminado. Nótese como el dique está anclado en el suelo y los elementos amarrados un a otro. Estacas vivas de sauce han sido sembradas también. Huehuetenango, Guatemala. (GK)

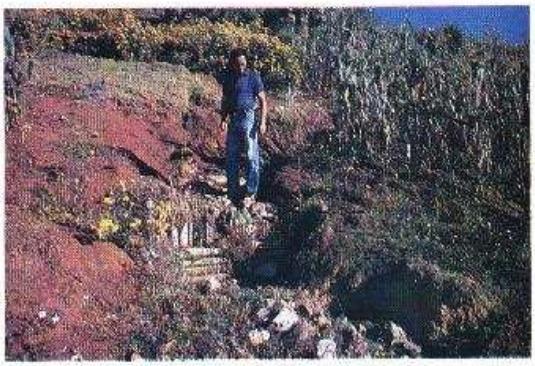


Foto 12-6. El mismo lugar un año después de haber hecho la restauración. Nótese como el dique se ha llenado de arrastre y vegetación natural ha crecido. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 12-7. Un dique de contención de piedra recién construido en una cárcava formado por la escorrentía de un camino. Nótese la ausencia de vegetación en la cárcava. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

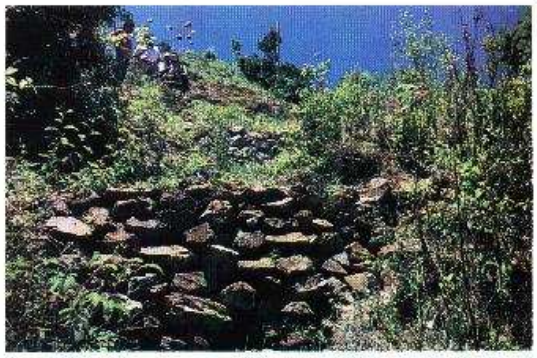


Foto 12-8. El mismo lugar 18 meses después del inicio de la restauración. Nótese la vegetación vigorosa en el canal. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto12-9. La construcción de un muro de gaviones sin dentellones laterales. La falta de dentellones permitirá que el agua fluye alrededor de la estructura, socavándola y eventualmente se fallará. Cochabamba, Bolivia. (GB)

Foto 12-10. Vista desde el extremo de un muro de gaaviones bajo construcción en una pendiente fuerte. Cochabamba, Bolivia. (Foto (G. Bauer)

Foto 12-11.Vista desde el frente de un muro de gaviones bajo construcción en una pendiente fuerte. Cochabamba, Bolivia. (Foto G. Bauer)

Foto 12-12. Un ejemplo de un dique de contención de trozos de madera y piedra bien construido y anclado en una orilla estable. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Capítulo 13

Uso de Materiales

SECCIÓN 13.1.
INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES

Los materiales utilizados en la construcción de caminos y para revestir los caminos pueden hacer una diferencia significativa en el desempeño o utilidad del camino, la comodidad del usuario, la cantidad de material que desgasta la superficie del camino, y el costo de construcción y mantenimiento. El uso de material de buena calidad, bien compactado, tiene como reesultado caminos duraderos y con solidez estructural, con costos mínimos de mantenimiento. Desde el punto de vista de costo/beneficio a largo plazo, una superficie de caminos bien construida con buenos subdrenajes (como mencionamos en el Capítulo 9) es probablemente la mejor forma de mantener o mejorar la calidad y fortaleza de cualquier suelo o agregado.

Los materiales afectan los caminos de las siguientes formas:

- Proveen el valor de soporte al subrasante del camino.
- Influyen en las condiciones de conducción de los vehículos y la necesidad de mantener la superficie del camino, mientras la graduación del camino y la cantidad de materia fina plástica influyen mucho en la tendencia de formar ondulaciones en un camino o desmoronarse en el borde.
- La calidad del material de relleno y el grado de compactación afecta la resistencia de la subrasante y la probabilidad de falla del relleno.
- El tipo de material influye en la posibilidad de que la superficie del camino o la pendiente del relleno estén sujetas a erosión o la posibilidad de revegetarlos, y la capacidad del camino para resistir la formación de baches.
- La compactación de los materiales puede mejorar substancialmente la resistencia y el valor de soporte del material, y que la superficie sea menos permeable y sujeta a erosión. El esfuerzo de adhesión del suelo aumenta directamente con la densidad (logrados mediante compactación).

- El uso de bancos de préstamos o canteras puede significar ahorros importantes de costo para proyectos. Los materiales sacados de canteras o bancos de préstamos locales pueden ser considerablemente más económicos que materiales comerciales o llevados al sitio.

Se debe encontrar material bueno, grueso, y con solidez estructural para el revestimiento de caminos. El agregado triturado con un bajo porcentaje de finos plásticos es probablemente el mejor material para revestimiento. Los caminos pavimentados de normas más altas normalmente requieren una hilada de base de agregado triturado para proveer el valor de soporte necesario, cubierto con varias pulgadas (5 a 10 cm) de concreto de asfalto. Generalmente se especifica las graduaciones normales para el uso de agregado como base y material de revestimiento. El empedrado de caminos es una alternativa más razonable que el revestimiento de grava o pavimento.

El uso de bancos de préstamos, o canteras se presenta en este Capítulo por su influencia en el costo final de un proyecto. El aprovechamiento de los mismos pude significar mejor calidad y mayor cantidad de material, y su uso puede mantener el área de perturbación alejada del camino o en sitio oculto y sus impactos pueden reducirse al mínimo. Los planos de aprovechamiento de depósitos son convenientes para definir la fuente de los materiales, la sucesión de operaciones, y para describir trabajo necesitado en una cantera o un banco de préstamo. También se presenta información sobre las relaciones de disminución e hinchamiento que afecta el volumen de material y debe considerarse en operaciones de cantera y cualquier movimiento de tierra.

Los baches siempre representan un problema en los caminos revestidos con grava, así como sobre pavimentos estructuralmente inadecuados. Los baches se forman en áreas de suelos blandos y luego crecen por la acción de tránsito. Una sección estructuralmente adecuada, tal como agregado con un espesor de por lo menos 15 cm, bien graduada, y con un buen drenaje superficial puede resistir la formación de baches. Normalmente se deben construir los caminos con una pendiente o peralte de por lo menos 7 por ciento para asegurar drenaje de superficie adecuado.

Donde el material de la capa de rodadura o el subrasante carece de solidez estructural, y donde el costo o la disponibilidad de roca triturada hace su uso irrazonable, las otras medidas de estabilización de suelo pueden aplicarse. Se recomiendan medidas, tales como, estabilización con cal o cemento, empedrado, uso de las virutas de madera, o compactación mejorada y almacenada. También se puede limitar el uso del camino a las épocas secas.

Al final de este capítulo se da información sobre la compactación de suelo, las especificaciones, el proceso, las pruebas, y los beneficios. La sección final trata del análisis de suelos, las características, y la información de clasificación de suelo, que son útiles para determinar las características físicas de ingeniería de suelos, particularmente para aplicaciones en camino.

SECCIÓN 13.2.
PROPIEDADES DEL AGREGADO

El material más utilizado para el revestimiento de caminos rurales es el agregado graduado y/o triturado o grava. Se utiliza también para estabilizar caminos de normas bajas donde existen áreas con suelos blandos.

Se utilizan los agregados bien graduados o sin graduar como material de base, en aplicaciones tales como debajo del pavimento, donde el soporte estructural es su función principal. La grava bien graduada posee las propiedades de máxima densidad y fuerza, y mínima permeabilidad, si el contenido de los materiales finos está entre 4-8%. Las gravas con un índice de plasticidad hasta el 6 son recomendadas para aplicaciones de revestimiento. También se recomienda seguir los criterios de AASHTO para los requerimientos de calidad, tales como, el porcentaje de desgaste, durabilidad y plasticidad de agregado de base. Algunas de las graduaciones y los requerimientos usualmente especificados para las bases de agregado para caminos rurales se muestran en la Tabla 13.2.1.

Como material de revestimiento, el agregado debería tener un valor estructural, pero también debe haber sido bien graduado y contar con agente cohesivo plástico para prevenir la formación de ondulaciones o desmorones en las orillas del camino. La densidad máxima de agregado se logra con una mezcla que contiene finos a nivel de 6-12%. En la práctica, en el uso de agregado para revestimiento, la mezcla ideal será de 10-15% de finos (tamiz #200) y un índice de plasticidad de 5-9. Las graduaciones recomendadas para algunos agregados para superficie del camino se muestran también en la Tabla 13.2.1.

Una cantidad elevada de finos reducirá el valor de soporte del material. Por ejemplo, los agregados con más de 30 por ciento de finos (tamiz #200), tienen baja resistencia porque las puntas o esquinas de piedras no están en contacto. La Figura 13.2.1 muestra la relación de diferentes mezclas de agregado y cada una tiene características físicas distintas. El material de base de agregado graduado abierto sin finos es recomendable para obtener un buen drenaje, sin embargo, se debe restringir debajo del pavimento.

Las otras propiedades que afectan la vida útil del agregado son su durabilidad y características de desgaste. El desgaste, o la resistencia a la abrasión, es particularmente importante para el agregado utilizado para revestimiento de caminos. La prueba involucra la introducción del agregado en

una tómbola con unas bolas de hierro para determinar la cantidad de pérdida o desgaste después de 100 o 500 revoluciones. Se especifica usualmente una pérdida máxima en el agregado de 35-40 por ciento. La durabilidad del agregado representa la resistencia a intemperización y ablandamiento o desmoronamiento con el tiempo. Un agregado bastante duradero es recomendable, por lo tanto se especifica un índice de durabilidad de 35 (mínimo).

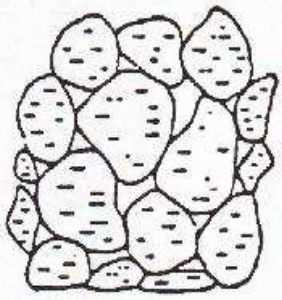
A veces se especifican las propiedades de resistencia de agregado utilizando los sistemas del Departamento de Transporte de California (CALTRANS) de una resistencia mínima (R-value) de 78. Esta prueba mide la deformación horizontal de un muestreo ocasionada por una carga vertical determinada. Una relación similar ha sido desarrollada también para la California Bearing Ratio (CBR) Test (AASHTO T-193). Aunque este método de prueba es más complejo, es mejor conocido y se usa mudialmente. Un CBR (California Bearing Ratio) valor mínimo de 50 se especifica frecuentemente. Una ventaja mayor del procedimiento de CBR es que la resistencia del suelo o agregado puede determinarse para cualquier densidad especificada. Así se puede simular mejor las condiciones de campo en el laboratorio.

Existen varios métodos para determinar la resistencia de suelo y subrasante, y casi todos involucran algunas pruebas de laboratorio. Para evitar las pruebas de laboratorio, se puede utilizar agregados con propiedades específicas y compactarlo conforme las normas especificadas para lograr una densidad mínima. Con una densidad determinada de un agregado especificado, las propiedades de resistencia son predecibles y han sido determinadas anteriormente en pruebas de laboratorio y observaciones en el campo.

El canto rodado, material de banco, o agregado que ha sido arrollado por tractor, normalmente es de una calidad inferior, pero a su vez, su costo es menor. Este material es adecuado para caminos secundarios, pero no se debe utilizar como subrasante por el alto costo del pavimento. Se puede utilizar guijarros y piedras grandes, sin finos como material de relleno, pero no son recomendados para la superficie del camino. Estos materiales tienen una resistencia muy baja y la superficie de rodadura resultante dificultará el tránsito de vehículos, con ondulaciones ásperas. El uso de esta clase de material también complica y hace más costoso el mantenimiento.

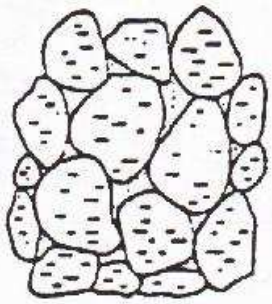
Para el revestimiento de carreteras, el tamaño ideal del material es de 5 cm (2 pulgadas) o menos. Para los caminos de normas bajas como el caso de caminos rurales, el tamaño máximo de agregados debe ser de 10 cm (4 pulgadas). El agregado de mayor tamaño, a menos que sea muy bien graduado y

angular, resulta muy difícil de transitar; mientras, que el agregado menor de 1 cm (1/2 pulgada), tiene un valor de soporte más bajo y se desgasta fácilmente. El material más recomendado es la piedra triturada en comparación al canto rodado, porque se prende mejor, y es más resistente y menos resbalosa.



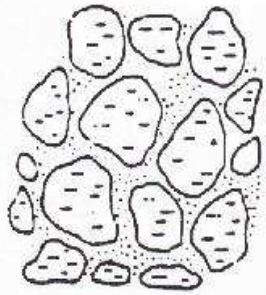
Agregados sin Finos

- Contacto entre las partículas
- Densidad variable
- Permeable
- No susceptible a las heladas
- Estabilidad alta si confinado, y baja si no
- No le afecta condiciones de agua adversas
- Difícil para compactar
- Se desmorona fácilmente



Agregados con Suficientes Finos para Densidad Material

- Contacto entre las partículas con más resistencia contra la deformación
- Densidad aumentada
- Permeabilidad baja
- Susceptible a las heladas
- Estabilidad relativamente alta si confinado o no
- No le afecta mucho condiciones de agua adversas
- Moderadamente difícil para compactar
- Buen desempeño en las aplicaciones de caminos



Agregado con una Gran Cantidad de Finos

- Contacto roto entre las partículas, el agregado está "flotando" en el suelo
- Densidad disminuida
- Permeabilidad baja
- Susceptible a las heladas
- Estabilidad y resistencia baja
- Le afecta mucho condiciones de agua adversas
- No es difícil para compactar
- Se empolvará fácilmente

Figura 13.2.1. Requisitos y granulometría de materiales de caminos rurales.

Fuente: Adaptado de Yoder y Wintczak, 1975.

Tabla 13.2.1. Requisitos y granulometría de materiales de caminos rurales.

Agregado de Base

Tamaño de Tamiz	Porcentaje Que Pasa		
	Graduación de CALTRANS Grading 1 (1 1/2")	Grading 2 (3/4")	FHWA Grading D
2"	100		
1 1/2"	90-100		100
1"		100	97-100
3/4"	50-85	90-100	
1/2"			(3/8") 56-70
#4	25-45	35-60	39-53
#8			
#30	10-25	10-30	(#40) 12-21
#200	2-9	2-9	4-8

Nota: Durabilidad (AASHTO T-210) >35 mínimo, Plasticidad (AASHTO T-90) = 6 máximo, CALTRANS Valor de Resistencia = 78 mínimo (CBR [AASHTO T-193] = 50 mínimo). (FHWA Grading D = sin plasticidad)

Agregado de Superficie (por USDA-Forest Service)

Tamaño de Tamiz	Porcentaje Que Pasa		
	Grading B	Grading C	Grading D
2"	100		
1 1/2 "	60-90		100
1"		100	
3/4"		60-90	70-100
1/2"	44-70		
#4	28-50	30-55	36-60
#8	20-41	22-43	24-47
#30	9-26	11-27	12-31
#200	6-12	6-15	6-15

Nota: Plasticidad (AASHTO T-90) = 2-9; Desgaste (AASHTO T-96) = 40 máximo; Durabilidad = 35 mínimo

SECCIÓN 13.3.
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Si se encuentran en el camino suelos blandos o con un valor de soporte bajo se puede mejorar el sitio logrando tener una base de resistencia estructural con las siguientes medidas:

- Agregando material de buena calidad sobre el suelo blando, como una capa de grava.
- Mejorando el suelo blando en el lugar (in situé), mezclándolo con materiales como cal, cemento, asfalto, o químicos.
- Puenteando el suelo blando, con materiales como geotextil o trozos de madera.
- Eliminando el suelo pobre o suave y remplazándolo con un suelo de alta calidad o de material rocoso.
- Limitando el uso del camino durante la época de lluvia (cuando se trata de suelos arcillosos y limosos).
- Desaguando la superficie del camino con sistema efectivo de drenaje o sellando el suelo para no dejar infiltrar el agua.

La medida más importante que se puede tomar para mejorar las características de resistencia de suelo es la de mantener el suelo seco. Los agregados y los suelos granulares pierden algo de resistencia cuando están saturados, sin embargo, un poco de humedad (pero no saturado) es comúnmente recomendable para reducir al mínimo el desmoronamiento y la formación de baches. Los suelos limosos son muy sensibles a la humedad y pueden perder resistencia con un cambio pequeño en el contenido de humedad. Los suelos ricos en arcilla pueden ser muy resistentes cuando están secos, y tardan en saturarse. Sin embargo, una vez mojados, su resistencia es muy baja y fácilmente se forman huellas de rodadura y resulta que el camino sea intransitable. De modo que, es muy importante que el camino cuente con un buen drenaje!

La manera más común para brindar un valor de soporte adecuado a caminos de normas altas es cubrir los suelos pobres con una sección estructural que consiste de agregado de base, ocasionalmente sobre una subrasante, y

revestir el camino con pavimento de asfalto. En el caso de caminos de normas menores, pero con un volumen moderado de tránsito, se puede utilizar un sellador o "sellador o tratamiento de cascajo" (sencillo o doble) de petróleo sobre el agregado en vez de pavimento. El costo de pavimento es alto, inicialmente, pero su desempeño es mejor cuando el diseño es adecuado. Los revestimientos o tratamientos de normas inferiores son más económicos pero son menos duraderos y deben reemplazarse más frecuentemente y tienen un costo de mantenimiento más alto.

Para caminos rurales con suelos blandos el tratamiento más utilizado es una capa de grava graduada de 15-20 cm (6-8 pulgadas) de espesor o un material de subrasante mejorado. En el caso de suelos firmes, basta con una capa de grava, de 7-10 cm (3-4 pulgadas) que sirve también para control de erosión. El espesor de la sección mejorada variará a lo largo del camino dependiendo de las condiciones en que se encuentre. Un camino con suelos ricos en arcilla, es muy resistente cuando está seco, sin embargo, para que sea transitable todo el año se debe revestir con una capa de 30 cm (12 pulgadas) o más de grava, roca fracturada, o suelo rocoso.

Los suelos con limo (suelos sedimentarios) son de una textura sensible y moderadamente suaves, y si se mantienen secos son moderadamente resistentes. En este caso se pueden mantener bien drenados utilizando préstamos laterales para elevar la rasante. El espesor del agregado o revestamiento está determinado por varios métodos de diseño, incluyendo AASHTO y depende del tráfico, propiedades del suelo y agregado, y del ambiente (régimen de lluvias, sombra, viento y otros factores).

Últimamente se usan geotextiles frecuentemente en la construcción de camino para reforzar suelos muy blandos (CBR< 3), reduciendo así el espesor de la cubierta de agregado. También en los suelos blandos o sensibles de humedad el geotextil puede separar la grava y el suelo, evitando la contaminación de la grava para mantener su resistencia. Un resumen del proceso de diseño para el uso de geotextiles para estabilizar suelos blandos se incluye en el Apéndice.

Se utilizan varios materiales usados para mejorar la resistencia de suelos en el lugar (in situé), incluyendo mezclas de cal, asfalto, cemento, clorato, lignito sulfónico, estabilizadores de enzima, y otros materiales. La eficiencia de una mezcla depende de las características del suelo local y el método de mezcla.

Generalmente el suelo y el estabilizador son mezclados en el lugar; el suelo se apila en camellones, se agrega el estabilizador y se revuelve, y entonces el material estabilizado se riega en el camino y se compacta. La profundidad del tratamiento se limita a unos 20 cm (6 pulgadas) a menos que la subrasante

pobre se excave y sea mezclada con el estabilizador fuera del sitio. La cantidad de mezcla depende del tipo de suelo y tipo de establizador, pero son usualmente 5-10 por ciento por peso del suelo.

También se puede determinar las cantidades de aditivos con base en pruebas de laboratorio, o con estimados basados en las clasificaciones de suelo. Los tratamientos recomendados específicos y los procedimientos de construcción pueden obtenerse de los fabricantes de los productos. El desempeño de los productos varía entre los numerosos aditivos nuevos disponibles ahora en el mercado. El uso de productos tradicionales como cemento, cal y asfalto puede tener un costo relativamente alto, pero su desempeño es razonablemente predecible.

En resumen en las medidas de estabilización del camino, pueden incluirse las siguientes, dependiendo de las normas y el uso del camino:

- Colocar agregado o enrocando las áreas blandas hasta estabilizarlas.
- Llenar solamente la rodadura o huellas con agregado.
- Usar agregado o grava local y de calidad inferior, incrementando el espesor del material, o aplicando material nuevo frecuentemente.
- Mezclar algunos materiales buenos, como arena limpia o grava al suelo blando hasta lograr una mezcla aceptable.
- Mezclar materiales como broza, hojas y otras materias orgánicas con el suelo para lograr una mezcla "arenosa".
- Mezclar el suelo con 5-10 por ciento de cemento, cal, u otros estabilizadores de suelo para formar una capa con un grosor de 10-30 cm (4-12 pulgadas).
- Enrocar o mezclar roca pequeña de 5-10 cm (2-4 pulgadas) en la superficie de los suelos arcillosos y blandos.
- Empedrar la superficie del camino.
- Puentear tramos cortos con capas de troncos, hojas de palma, etc. y una capa de grava encima.
- Usar una capa de geotextil entre el suelo muy blando y la capa de grava (se coloca el geotextil entre el refuerzo y el suelo blando para conservar limpia la grava y reducir el espesor de la capa a varias

pulgadas.

- Usar una capa de desperdicios de madera (sobrantes de madera, astilla, aserrín o viruta). Preferentemente el tamaño de las astillas o virutas de madera serán de 5-10 cm (2-4 pulgadas), o graduado de 1/2-4 pulgadas (1-10 cm) y colocarlas sobre el camino en una capa de aproximadamente 15 cm (6 pulgadas) de espesor (o más grueso si es necesario en lugares muy blandos).

- Compactar el suelo cuando está seco y desaguarlo o encapsularlo para mantenerlo seco.

- Usar los conceptos de Central Tire Inflation (CTI) donde se reduce la presión de llanta para bajar las tensiones sobre el suelo mejoran el suelo. Por usar presiones reducidas de llanta, la formación de rodaduras y el mantenimiento de camino puede reducirse, y los vehículos pueden operar bajo condiciones de otra manera imposibles.

CAMINOS EMPEDRADOS

El empedramiento ofrece una opción relativamente efectiva y barata para el revestimiento de camino, pero implica el uso de mucha mano de obra. Es relativamente popular en áreas donde el guijarro y la roca pequeña abundan, así como también la mano de obra. Algunas ventajas son, que la superficie del camino puede fácilmente repararse en áreas pequeñas cuando sea necesario y el mantenimiento no requiere equipo sofisticado o pesado. Para empedrar los caminos pueden utilizarse con rocas relativamente planas, como ladrillos o laja, o rocas redondas alargadas paradas en el punto.

El uso de adoquín es la norma más alta para empedrar las superficies de camino. Con el adoquín, los ladrillos (21 cm x 25 cm x 15 cm de grueso) son fabricados de cemento y tienen una resistencia a la compresión de 3000 libras por pulgada cuadrada (psi); se colocan los ladrillos en forma escalonada y en un patrón entrelazado, con un espacio de 1/2-1 cm entre ladrillos; se coloca el adoquín sobre una base nivel, con una subrasante firme y una capa densa de materia selecta, preferentemente arena; en el borde de los bloques se funde un bordillo de concreto o algún otro objeto sólido como una acera o edificio, para contener los bloques; las llaves transversales de concreto se funden a lo largo del camino cada 10-25 metros para detener los bloques. Finalmente los espacios entre los bloques se llenan de arena.

El proceso de construir un camino empedrado se resume a continuación:

- Formar una subrasante lisa, llenando áreas blandas con roca o materia selecta para proveer una forma uniforme de la subrasante. Nótese que las áreas blandas deben ser excavadas y rellenadas con material resistente antes de colocar cualquier roca de superficie.

- Aplicar una capa de arena de 5-10 cm de gruesa en el fondo para asentar las rocas y acomodar las variaciones en la altura de las rocas.

- Construir un bordillo de roca o concreto en las orillas a lo largo del camino para detener la roca. El espaciamiento varia entre 3 y 6 metros, dependiendo de la anchura del camino.

- Poner las piedras o adoquín tan pegados como sea posible y acomodarlos según su forma, para evitar vacíos.

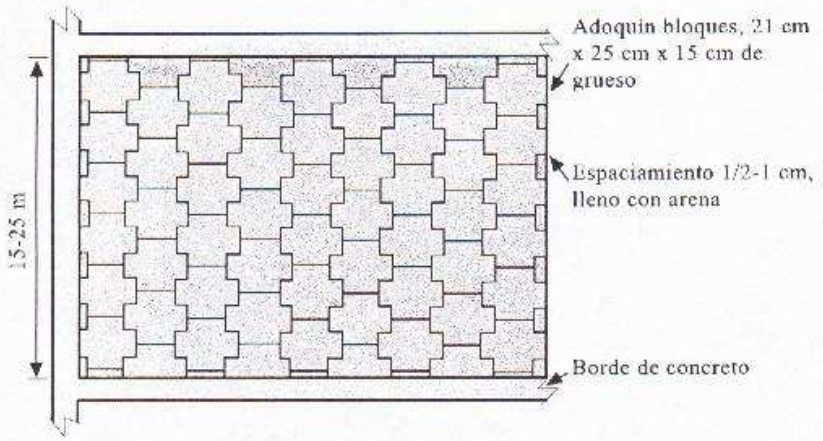
- Colocar unas filas longitudinales de las llaves de piedra espaciándolas cada 1-1.5 metros de los bordes. Las llaves de piedra deben ser de forma cuadrada o redonda y más grandes que las demás para definir una fila a lo largo del camino. La llave de piedra debería idealmente tener una longitud mayor que el ancho, y la profundidad (el espesor) debería ser mayor que el ancho.

- Colocar las filas transversales de roca más grande cada 3-20 metros, dependiendo de la pendiente del camino, por lo cual mientras más empinado menos la distancia entre las filas. Estas filas transversales de llaves son variables y optativas.

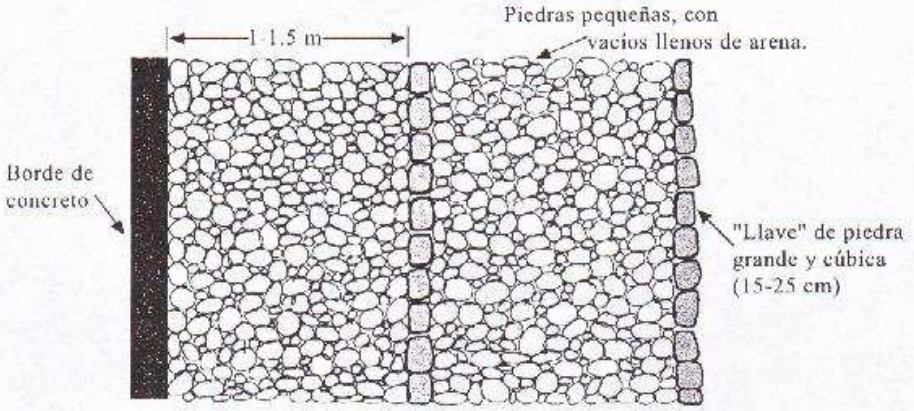
- Rellenar la superficie de roca con la arena, inicialmente amontonando la arena sobre la roca para que se asiente por la acción del tránsito.

El tipo de empedrado y la forma de superficie dependerá del tipo de rocas disponibles, y de alguna manera de las necesidades y el uso del camino. Se utiliza roca redonda en la mayoría de los casos porque las piedras de río o guijarro se encuentran en todos lados. Las piedras relativamente planas o redondas pueden usarse en la mayoría de las circunstancias, particularmente para terrenos planos y pendientes suaves. Sobre las cuestas inclinadas, la roca más grande debe usarse para que pueda empotrarse más profunda en la arena. También las rocas cuadradas o en forma de bloque se entrelazan mejor, pero sobre todo, el enlace del adoquín es superior y provee la superficie más lisa en áreas muy transitadas.

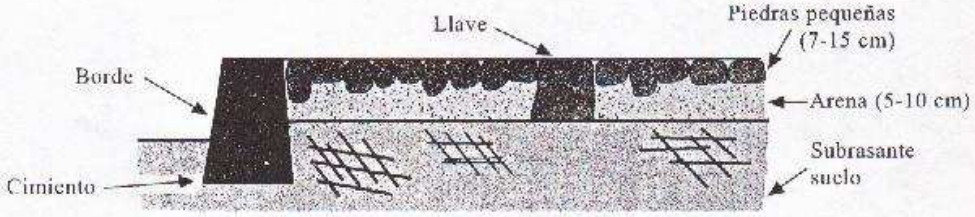
La Figura 13.3.1 muestra una sección transversal y vista de planta de un camino empedrado, así como también una superficie típica adoquinada. El uso de "llaves" espaciadas en intervalos regulares en el empedrado (roca), así como los bordes de concreto longitudinales, son muy importantes para detener la roca y prevenir el movimiento y subsiguiente desmoronamiento de la superficie.



Gráfica A - Vista en planta de adoquín.



Gráfica B - Vista en planta de empedrado.



Gráfica C - Sección transversal de empedrado.

Figura 13.3.1. Caminos de empedrado y adoquín.

SECCIÓN 13.4.
CANTERAS, BANCOS DE PRÉSTAMO Y RELACIONES DE VOLUMEN EN MATERIALES

Los bancos de material de préstamo son una fuente de materiales para la construcción de caminos que pueden tener una calidad y cantidad consistente con las necesidades del proyecto. Generalmente, el banco de préstamo está localizado suficientemente cerca del proyecto para ser económicamente efectivo, pero afuera del área de influencia del proyecto. Las posibles áreas de bancos deben ser investigadas y probadas para asegurar que hay bastante material de buena calidad para el proyecto. Se recomienda llevar a cabo una investigación geológica, e inclusive subterránea, algunas veces, sacando muestras con perforaciones.

Los materiales que se deben buscar en un área de proyecto incluyen grandes afloramientos de roca dura y bien fracturada en una ubicación accesible que cuenta con un área de trabajo cercana; depósitos de roca blanda bien fracturada o gravas que pueden usarse directamente sin procesar; depósitos de suelos en gránulos grandes con un grado de plasticidad muy bajo en un área abierta para material de préstamo; y áreas con piedras y rocas duras y grandes o en bloques para usarlo como zampeado.

Los bancos seleccionados deben ser:

- Relativamente cerca del proyecto.
- Con suficiente cantidad y calidad de material para las necesidades del proyecto, y para satisfacer las especificaciones.
- De un material que requiera un mínimo de trituración, clasificación o procesamiento, generalmente, la grava de ríos o roca bien fracturada, reducirán al mínimo los costos de procesamiento.
- Localizados en un área sin impactos visuales o negativos para el medio ambiente.

Los depósitos de piedras naturales pueden ser de suficiente calidad, pero muy raras veces son del tamaño necesario para satisfacer las especificaciones. Algunos depósitos pueden tener unas zonas de material malo y bueno que tienen

que ser identificadas, separadas o evitadas, y usadas o rechazadas. Se puede conseguir una buena mezcla y graduación de materiales por uso de clasificadores y trituradores.

Para carreteras, el tamaño de los materiales de bancos de préstamo deben ser idealmente menores de 5 cm (2 pulgadas) pero hasta 10 cm (4 pulgadas), y graduados lo mejor posible. Las gravas bien graduadas tienen la más alta densidad y mayor resistencia. Las gravas con un poco de plasticidad son preferibles. La piedra triturada versus canto rodado se asegura mejor pero es más costoso.

Los mejores bancos son aquellos que tienen un mínimo de impacto ambiental y ubicados en lugares que se pueden recuperar. Los factores ambientales incluyen impactos visuales, vida silvestre, distancias de los drenajes y otras áreas sensibles o frágiles, seguridad y facilidad de recuperación.

Los bancos deben estar ubicados en áreas alejadas de los caminos y los habitantes de la zona para reducir al mínimo los impactos visuales y sociales. Cuando se termina la fase de explotación del área se debe comenzar a modificar, reconformar, y revegetar la misma. En los bancos que se encuentran en las cuencas de ríos, se deben evitar actividades en los cauces del agua y practicar los análisis correspondientes para evitar impactos al sistema fluvial. Las gravas fluviales se deben utilizar únicamente después de que los estudios de geomorfología del río han determinado que los impactos sobre y fuera del sitio son aceptables.

Los sitios de bancos de préstamo ubicados inmediatamente adyacente al camino, frecuentemente tienen un volumen limitado de material útil, e impactos altos, y las únicas ventajas son la cercanía y los reducidos costos. Sin embargo, si se utiliza un banco en la zona de construcción o próximo al camino, el área debe ser reconformada, adecuadamente desaguada, y revegetada.

PLANO OPERATIVO DE DEPÓSITOS

Un plano operativo de un banco de préstamo es simplemente un dibujo de trabajo con notas, que traza el sitio y describe y controla su uso. El plano debe tener una vista en planta del área de excavación y secciones transversales, tan necesarias para comprender la fuente de materiales, forma de los taludes durante el desarrollo y después de la reclamación, y la secuencia de la excavación y desarrollo. El plano debe mostrar el esquema de las áreas de

trabajo y trituración, áreas de almacenaje, los límites de excavación, rutas de acceso, patrones de drenaje, y las zonas que deberán evitarse (si existen) para la extracción de materiales, etc. La Figura 13.4.1 muestra un ejemplo de un plano operativo y de restauración.

Las notas del plan operativo, tales como en la Figura 13.4.1, pueden incluir necesidades de volar roca, especificaciones de graduación, las medidas de reclamación y de control de erosión, factores de procesamiento, y medidas de seguridad. También es muy importante incluir una escala aproximada, y la flecha indicando el norte. No incluya más información o limitaciones, sobre un plano operativo de un sitio, que la necesaria.

Un típico plano operativo puede incluir cualquiera de los siguiente elementos:

- La distribución de roca o fuente de materiales en el área de excavación.
- Las zonas de material satisfactorio y de rechazo.
- El esquema del área de trabajo, indicando las zonas de trituración, almacenaje, y desechos.
- Los límites del área de excavación y del sitio.
- Los ángulos de los taludes, sus alturas máximas, y la necesidad de escalonamiento.
- Las zonas de los finos o las fuentes fuera del sitio de finos y necesidad de hacer mezclas.
- La ubicación, cantidad y uso de piedras de sobretamaño.
- La necesidad de drenajes y su dirección o patrón de desagües.
- La sucesión de operaciones.
- La necesidad de caminos de acceso, su ubicación y normas.
- Las necesidades especiales para volar roca y las consecuencias.

Los planos y notas para restaurar un sitio frecuentemente incluyen los siguientes elementos:

- La remoción de la capa superficial del suelo, y el área de almacenaje del mismo.
- La forma final para pendientes estables y la forma del área de excavación que será restaurada.
- La clausura o medidas de control de acceso de los caminos.
- La necesidad de instalar cunetas y camellones permanentes.
- Los requerimientos para escarificar (labrar), sembrar, agregar cubiertas retenedoras de humedad, etc.

RELACIONES DE DISMINUCIÓN O HINCHAMIENTO

La relación de disminución o hinchamiento de materiales son los cambios que ocurren en el volumen y densidad del mismo durante los procesos de excavación, trituración, separación, almacenaje, aplicación, y compactación de los suelos y la roca. Cada tipo de material posee sus propias características que afectan la relación de volúmenes. La diferencia entre los valores de materiales en una estado suelto versus compactado o in situ, puede variar hasta un 40%. También hay otros elementos que pueden afectar los factores de disminución o hinchamiento, tales como, la pérdida o rechazo del material, volúmenes desplazados por roca grande, masa de raíces o suelo superficial orgánico, etc. En estos casos el valor de disminución puede llegar hasta un 90%.

La disminución en el caso de movimiento de tierra muy profundos es mucho menos que los someros porque se encuentra más material aprovechable y menos material orgánico. En cambio, la disminución es mayor en laderas relativamente planas, mientras más se incrementa la pendiente, la excavación tiende a ser más profunda con menos disminución.

En el movimiento de tierra, el Factor de Disminución (o a veces hinchamiento) representa el volumen aprovechable real que se puede usar o colocar en un terraplén o relleno divido por el volumen que ocupa una masa de suelo determinada en un corte o banco de préstamo (volumen del banco). Los factores de disminución/hinchamiento son muy importantes en la mayoría de proyectos de construcción, porque son determinantes en la cantidad de material necesitado o esperado, y por el costo final. Por lo tanto, un error en los cálculos afectará la cantidad de movimiento de tierra, que puede traducirse en un costo muy elevado por el exceso o la falta de material para terminar el proyecto. En este caso el

movimiento de tierra no saldrá "equilibrado".

El cambio en el volumen de suelo es muy variable y depende mucho del tipo de suelo y las condiciones del sitio. Por lo tanto, se necesita mucha experiencia en la construcción para hacer bien las estimaciones de disminución/ hinchamiento y los cálculos de movimiento de tierra. Idealmente, los suelos in situé (en el sitio) son de una densidad clasificada como ligera hasta regular, de un rango de peso unitario de 90-110 libras/pie cúbico (lpc). Una vez excavado y almacenado en pila o en tránsito, el suelo está relativamente suelto, con un peso unitario de 80-100 lpc. Un suelo compactado en un relleno u otras aplicaciones normalmente tiene una densidad más alta que cuando está in situ, con un peso de 100-125 lpc. Nótese que estos números son relativos, y en algunos casos, particularmente suelos muy ricos en arcilla, pueden exceder estos valores.

Las relaciones antes mencionadas se tratan solamente en los cambios de la densidad de los suelos. Los factores reales de disminución/hinchamiento relacionados con el movimiento de tierra varían mucho más y, mayormente son una función de la pérdida de material causada por factores como: pérdida de polvos en la excavación, pérdida de volumen por las masas de raíces y rocas grandes; suelos superficiales con un alto contenido de materia orgánica o llevados para otras aplicaciones; un alto porcentaje de roca en el suelo y cambios naturales en la densidad por la profundidad de la excavación.

Entonces, en las excavaciones someras de hasta una profundidad de sólo un metro, los suelos tienen un factor muy alto de disminución, como de un 50% ó más; mientras, en el caso de excavaciones de unos cuantos metros el factor puede ser de 25%. En cambio, si la excavación es profunda, el valor puede bajar hasta un 5-10%. Un material compuesto de una mezcla de suelo y roca puede tener un factor de disminución muy bajo hasta llegar a cero, pero si se incrementa sustancialmente el volumen de roca, el factor de hinchamiento también se eleva a unos 10-30%.

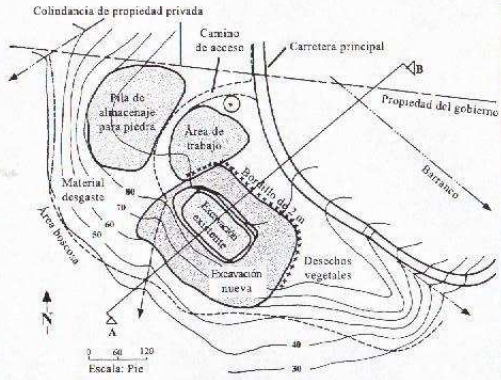
La Figura 13.4.2 muestra un volumen de suelo afectado por varios factores, y también se incluyen unas tablas con los factores de disminución o hinchamiento frecuentemente usados. Los factores de disminución típicos de excavaciones están listados como una función de las áreas terminales de excavación o volumen de excavación, y como función de pendiente del talud, que afecta la profundidad de excavación con los ajustes de hinchamineto por el porcentaje de roca presente.

El cambio en el volumen de excavaciones de roca y su uso, se muestra en la Figura 13.4.3. La roca in situé es normalmente muy densa, con su peso

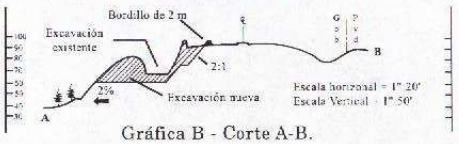
unitario determinado por su gravedad específica, asumiendo la ausencia de vacíos. Los pesos unitarios son de unos 160-180 lpc. En la explotación de canteras o la trituración de material, siempre hay una pérdida de material por fisuras intemperizada, piedronas, voladura de roca, etc , que se puede representar hasta un 5-10% del volumen total de la roca inicial.

Una vez procesada en graduaciones específicas, se almacena la roca en pilas, o se acarrea en forma suelta, triturada o clasificada. La roca triturada y suelta normalmente tiene un peso unitario de unos 90-110 lpc. El agregado utilizado en proyectos de caminos o en cimientos se compacta al máximo que sea práctico para eliminar los vacíos o para lograr un peso unitario de 120-140 lpc, dependiendo del tipo de roca, graduación, y densidad. Nótese que todos los pesos unitarios son expresados en peso seco.

Al contrario, se coloca zampeado y roca grande no muy unidos como el caso del agregado. El zampeado suelto de material grande tiene un porcentaje de vacío de hasta un 30%, mientras, el zampeado bien graduado hasta un 15%.



Gráfica A - Vista en Planta.



Gráfica B - Corte A-B.

Nota: Dibujo, contornos, colindancias y escalas son aproximados.

Notas

Plan Operativo

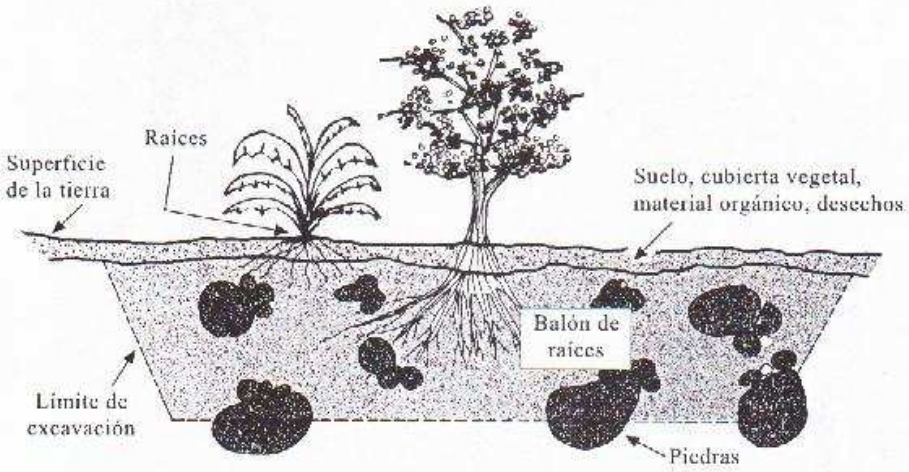
1. Las áreas de excavación, trituración, almacenaje, y acceso se limitan según el plano y han sido trazadas y estaquecadas en el terreno. Los árboles o las áreas boscosas no deben dañarse.
2. Los agregados deben cumplir con los requisitos estipulados en el contrato.
3. Se utilizará todo el material procesado, y el material de sobretamaño no se dejará en el área de excavación.
4. Los taludes finales del área de excavación no tendrán una inclinación que exceda 2:1.
5. Se dejarán las áreas de excavación, trituración y almacenaje en un estado liso y uniforme. El depósito se desaguará al lado oeste.
6. Se construirá una rampa con una anchura de 6 metros en el extremo noroeste del depósito para dar acceso y ampliar la excavación.
7. Se apilarán los desechos vegetales próximos al área de almacenaje de trozas para luego quemarlos.
8. Se comenzará la excavación en el extremo oriental del depósito.
9. Se mantendrá un bordillo de piedras de 2 metros de altura en la orilla de la excavación.

Plan de Restauración

1. Se reconformará el área del depósito y se regará el suelo superficial orgánico en el mismo.
2. Se sembrará el área y se aplicará una cubierta retenedora de humedad para controlar la erosión.

Figura 13.4.1. Ejemplo - Plan operativo de banco de préstamo o cantera.

Fuente: Archivos de USDA-Forest Service, Plumas National Forest



$$\text{Factor de disminución o hinchamiento del movimiento de tierra} = \frac{\text{Volumen aprovechable real (menos pérdidas) (colocado en un relleno o terraplén)}}{\text{Volumen de material en el suelo (en un corte o un banco de préstamo) (volumen del banco)}}$$

El total de disminución o hinchamiento es el producto del cambio en el volumen por la pérdida y el cambio de densidad del material.

$$\text{Volumen aprovechable (disponible real)} = \text{Volumen del banco (en el suelo)} \cdot \text{Factor de disminución/hinchamiento}$$

Ejemplo:

$$\text{Volumen medio en el suelo} = 500\ m^3$$

$$\text{Volumen real (disponible)} = 300\ m^3$$

$$\text{Factor de disminución/hinchamiento} = \frac{300\ m^3}{500\ m^3} = 0.6$$

Factores de disminución o hinchamiento que un material puede experimentar está influido por la pendiente del terreno, cantidad de material vegetativo y orgánico, suelo desnudo y cantidad de piedra.

Figura 13.4.2. Relaciones de disminución o hinchamiento de suelo.

La pérdida por disminución aumenta por razones de: 1) más árboles, raíces y desecho, 2) más piedras y rocas tiradas, 3) pendientes más planas y excavaciones poco profundas.

La pérdida por disminución decrece por razones de: 1) áreas de suelos desnudos, 2) existencia de caminos, 3) terrenos con pendientes fuertes con cortes profundos.

El hinchamiento ocurre en zonas rocosas o donde existe roca sólida.

A continuación se presentan unas tablas de Factores Típicos de Disminución o Hinchamiento de diferentes pendientes (y áreas terminales).

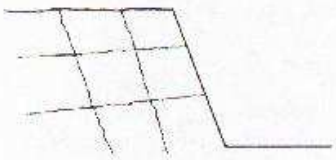
Factores de Disminución (típicos)

Áreas Terminales (pies²)	Pendiente (%)	Disminución (%)	Factor de Disminución
0 - 10	plano	80 - 90	0.1 - 0.2
10 - 25	<20	50 - 70	0.3 - 0.5
25 - 50	20 - 40	30 - 40	0.6 - 0.7
50 - 100	40 - 50	20	0.8
100 - 200	50 - 60	10	0.9
>200	>60	0	1.0

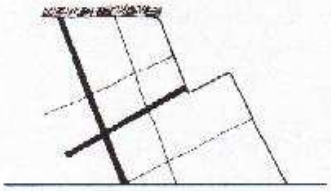
Factores de Hinchamiento (típicos)

Estimación del Porcentaje de Piedras/Roca en el Suelo (%)	Hinchamiento (%)	Factor de Hinchamiento
0 - 25	0	1.0 o menos
25 - 50	10	1.1
50 - 75	20	1.2
75 - 100	30	1.3 o más

Figura 13.4.2. Relaciones de disminución o hinchamiento de suelo (continuación).

	Densidad (libras/pie^3 [lpc])	Volumen Unitario (relativo)
	170 lpc	1.0

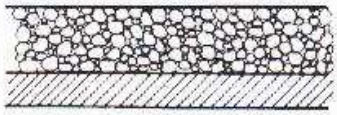
Gráfica A - Roca fija en banco (G_s=2.72).

	165 lpc	0.95

Gráfica B - 5% pérdida de finos/agrandado.

	105 lpc (flojo)	1.45

Gráfica C - Agregado quebrado, flojo, almacenado.

	135 lpc (denso)	1.13

Gráfica D - Agregado quebrado y denso (compactado a 90% of T-80)

- Volumen en sitio = 0.88 x volumen compactado (triturado)
- Volumen en sitio - 0.69 x volumen flojo
- Volumen flojo y almacenado = 1.28 x volumen compactado

Figura 13.4.3. Relaciones de volumen y densidad de roca/agregado (valores típicos).

SECCIÓN 13.5.
COMPACTACIÓN

La compactación es una de las formas más importante, simple, y eficiente y de mínimo costo, para mejorar las propiedades de materiales y la resistencia de suelos. Cuando se logra un 90-100 por ciento de densidad (del AASHTO T-99 Proctor Estándar densidad máxima), como una función del número de pasadas con el equipo de compactación, se nota un mejoramiento (aumento) significativo en la densidad (el peso unitario) en una gama de los tipos de suelo. Usualmente la resistencia de suelo o material es proporcional a la densidad. La Figura 13.5.1 muestra el proceso de compactación con equipo y el efecto que tiene el número de pasadas sobre la densidad de los diversos suelos.

Los métodos de construcción frecuentemente empleados para especificar y lograr compactación de suelos incluyen lo siguiente:

- Vaciar el material por el extremo sin ningún control de compactación.
- Regar el material en capas (típicamente alzas de 15-60 cm) y aplanar con rueda con el equipo de construcción durante el riego.
- Colocar el material en capas y aplanar con rueda la superficie entera con un número específico de pasadas de camión.
- "Compactación procesal" donde el espesor de la alza y el número de pasadas con equipo de compactación, tal como una aplanadora, se especifica. La densidad de compactación real se determina inicialmente con franjas de prueba en el campo utilizando los suelos in situé y equipo de compactación, y número de pasadas contadas.
- "Compactación Controlada", donde una densidad se especifica en términos de los Métodos Proctor Estándar y Método Proctor Modificado de Densidad. Por ejemplo, un requerimiento de densidad de un 95% de AASHTO T-99 densidad máxima puede especificarse. Nótese que en la T-99 la densidad se determina con pruebas de laboratorio con una muestra de suelo del proyecto, asegurándose que la muestra es representativa del suelo utilizado en la construcción. Si el tipo de suelo se cambia durante el proceso de la construcción, una nueva T-99 curva de densidad deberá determinarse.

El control del contenido de humedad es muy importante, particularmente en los suelos de partículas finas, para lograr la densidad deseada y reducir al mínimo los esfuerzos de compactación. Para estos suelos, el contenido óptimo de humedad, generalmente, es de un 10-20 por ciento. En gravas y suelos gruesos, el contenido óptimo de humedad es de un 6-12 por ciento. Mientras más alto el contenido de humedad, se vuelve más difícil lograr el nivel de compactación deseado.

La Tabla 13.5.1 presenta una lista útil de las propiedades físicas típicas de una variedad de materiales compactadas, incluyendo un rango de densidades y contenidos de humedad óptimos, características de resistencia, y permeabilidad. El equipo, los factores de compactación de suelos, y las pruebas de laboratorio se describen más adelante, así como también los métodos estándares para pruebas del campo de compactación. La Figura 13.5.2 muestra un resumen de conceptos de compactación en el laboratorio para diferentes suelos y esfuerzos de compactación.

1. Se entiende por compactación de los suelos, el incremento artificial de su peso específico seco, por medios mecánicos. Se distingue de la consolidación de los suelos en que en este último proceso el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobrecargas impuestas que provocan la expulsión del agua por un proceso de difusión; ambos procesos involucran disminución del volumen, por lo que en el fondo son equivalentes.

   La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

   Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de los materiales con que se trabaje en cada caso; ya hemos mencionado que en base a un experimento sencillo, los materiales puramente friccionantes como la arena, se compactan eficientemente con métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos el procedimiento de carga estadística resulta el más ventajoso.

2. La compactación en el campo puede ser reproducida en el laboratorio teóricamente por varios métodos. Estos resultados se presentan en forma gráfica con la densidad seca (en libras por pie cúbico) contra la variación del contenido de humedad (en por ciento del peso seco) se dibuja una curva a través de estos puntos como se ilustran en la Figura 13.5.2 Gráfica A. El pico de la curva corresponde a la

densidad máxima y contenido óptimo de humedad para un esfuerzo de compactación determinado.

3. Si se aumenta el esfuerzo de compactación (energía) dará como resultado que la curva de compactación se moverá hacia arriba y hacia la izquierda. Esto producirá una densidad máxima mayor y contenido óptimo de humedad menor, tal como se ilustra en la Figura 13.5.2 Gáficas B y C. Es muy importante tomar en cuenta lo anterior, cuando se utilice equipo pesado para compactación, dado que para lograr buenos resultados el contenido de humedad necesaria, deberá ser menor.

4. El tipo de suelo también cambiará la posición y la forma de la curva de compactación. Los suelos más granulares tendrán densidades máximas más altas y contenidos de humedad óptima bajos, miemtras que para las arcillas será lo contrario. Los suelos limosos tendrán una curva muy pronunciada, lo cual hará que el control sea importante, Figura 13.5.2 Gráfica D.

5. Los procedimientos de compactación han sido uniformizados, el más conocido es el PROCTOR STANDARD (AASHTO TEST METHOD T-99, también mencionado aquí como Proctor Estándar o el ASTM TEST METHOD D-698). Debido al aumento de cargas sobre los pavimentos y al uso de equipo de compactación más pesado, fue necesario desarrollar una modificación del método, el Proctor Modificado (AASHTO T-180 o ASTM D-1557). La Figura 13.5.2 Gráfica B muestra "Los Resultados específicos de las curvas obtenidas de un suelo compactado a Método Próctor Estándar y Método Proctor Modificado", para un suelo de densidad seca expresado en kilogramos por metro cúbico.

6. La mayoría del equipo de compactación actual, logra dar resultados que varían entre los dos métodos. La compactación en el campo es comúnmente especificada en términos de porcentaje de la densidad máxima y no en términos del contenido de humedad o del equipo de compactación. Por ejemplo, los requisitos para la compactación en el campo deberán ser de por lo menos 95% del AASHO T-99, de manera que si la densidad máxima por el T-99 fue de 125 Ton/m^3, el contratista deberá obtener por lo menos 125 x 0.95 = 119 ton/m^3 de la densidad seca en el campo.

7. La selección del equipo correcto de compactación variará con el tipo de suelo, con el objeto de disminuir el esfuerzo requerido, para lograr la densidad deseada. El equipo de compactación que da los mejores resultados para los tipos de suelos más comunes es el siguiente:

a) Suelos granulares.- Los compactadores vibratorios son los mejores para materiales con finos no plásticos, también resultan apropiados los rodillos lisos de acero, y los compactadores neumáticos, especialmente cuando los finos son plásticos.

b) Suelos limosos.- Estos pueden ser compactados con equipo neumático o de patecabra, en algunos casos los compactadores de parrilla (grid rollers) han dado resultados satisfactorios. Debe tenerse presente que el control de humedad en este tipo de materiales es importante.

c) Suelos arcillosos.- La mejor compactación se puede lograr utilizando compactadores de patecabra pero también se logran buenos resultados utilizando los del tipo neumático.

8. Las densidades en el campo se deberán tomar cada 1,000 ó 10,000 m^3 de material colocado, según el volumen de que se trate o bien por lo menos 3 diarios por cada turno. Los métodos más conocidos para la toma de densidades son:

a) El cono de arena.- Se utiliza arena calibrada de una densidad conocida para medir el volumen del agujero (ASTM D-1556 ó AASHTO T-191).

b) Globo medidor de densidad.- Se llena un globo de hule con agua o aceite para medir el volumen del agujero (ASTM D-2167 o AASHTO T-205).

c) Radiación nuclear.- Por este método tanto la densidad así como el contenido de humedad son determinados por medio de estos aparatos que dan los resultados leyéndolos directamente de un medidor (ASTM D-292 o AASHTO T-238). Este método es el más usado en construcción en los Estados Unidos hoy.

9. Existen algunos suelos granulares con graduación uniforme sin finos plásticos que no producen una curva de compactación válida. Normalmente lo que se obtiene es una serie de puntos dispersos sin un pico definido (densidad máxima). En este caso la descripción de la densidad se obtiene usando la densidad máxima y mínima. La densidad de campo se reporta entonces como un porcentaje de este rango es decir una densidad relativa. (ASTM D-2049).

COMENTARIOS ADICIONALES SOBRE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS "FRICCIONANTES Y COHESIVOS"

Los principios que gobiernan la compactación de suelos en el campo son esencialmente los mismos que los discutidos anteriormente para las pruebas de laboratorio; así los pesos específicos secos máximos obtenidos, resultan ser fundamentalmente función del tipo de suelo, del contenido de agua usado, y de la energía específica aplicada por el equipo que se utilice, la cual depende del tipo y peso del equipo y del número de pasadas sucesivas que se aplique.

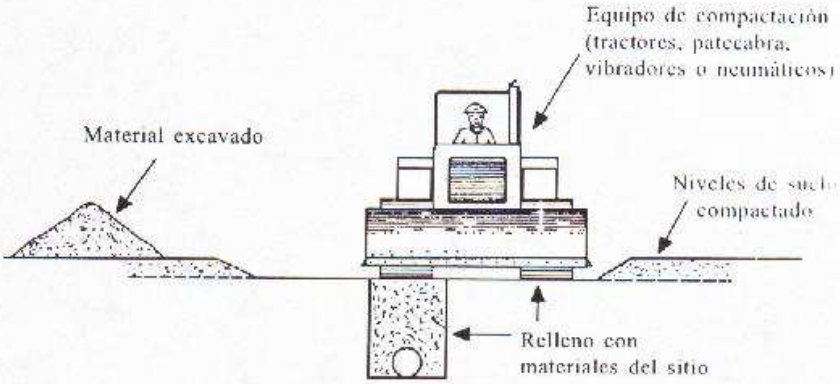
La compactación de terraplenes se realiza con rodillos "patecabra", rodillos lisos, rodillos neumáticos y equipos vibratorios. Los rodillos patecabra, tienen como característica fundamental compactar al suelo de abajo hacia arriba ejerciendo un efecto de amasado en el mismo, por medio de protuberancias de unos 15 cm de longitud, fijas al tambor metálico y espaciadas entre sí de 15 a 25 cm en cualquier dirección. Estas protuberancias tienen la forma típica de la pezuña de una cabra, lo cual da su nombre al equipo. Los demás rodillos mencionados y los equipos vibratorios compactan el suelo de la superficie hacia abajo. Los rodillos patecabra normalmente usados ejercen presiones sobre el suelo comprendidas entre 10 y 40 Kg/cm^2, si bien cargándolos con agua y arena es posible elevar estas presiones hasta valores del orden de 80 Kg/cm^2 y aún más; sin embargo, estos rodillos tan pesados sólo funcionan satisfactoriamente en los casos en que el contenido de agua del suelo sea muy bajo.

Los rodillos lisos pesan normalmente unas 10 toneladas y suelen ser de eje doble o triple. Frecuentemente se utilizan para el acabado superficial de las capas compactadas.

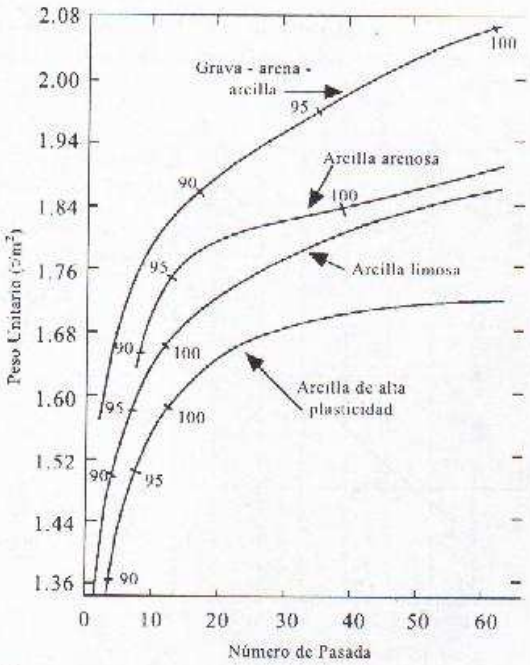
Los rodillos neumáticos pueden ser también de eje simple o eje múltiple. Los de eje múltiple suelen pesar unas 10 toneladas por eje; en épocas anteriores era muy frecuente ver rodillos hasta con 50 toneladas por eje, hoy estos equipos tan pesados sólo se usan en casos excepcionales de compactación profunda. Las presiones de inflado en las llantas de los rodillos neumáticos suelen ser entre 5 y 7 Kg/cm^2.

Los equipos vibratorios recomendados para la compactación de suelos puramente friccionantes como son las arenas o las gravas arenosas pueden variar en un gran número de tipos y sistemas, que van desde la utilización de pisones vibratorios manuales, hasta plataformas vibratorias que compactan extensiones mayores de suelo. Existe un intervalo para la frecuencia del vibrador en el cual trabaja con el máximo de eficiencia; este intervalo parece

estar comprendido entre 1/2 a 1 1/2 veces la frecuencia natural del suelo. En la práctica se ha visto que frecuencias de 1,500 a 2,000 ciclos por minuto para el vibrador suelen rendir buenos resultados.



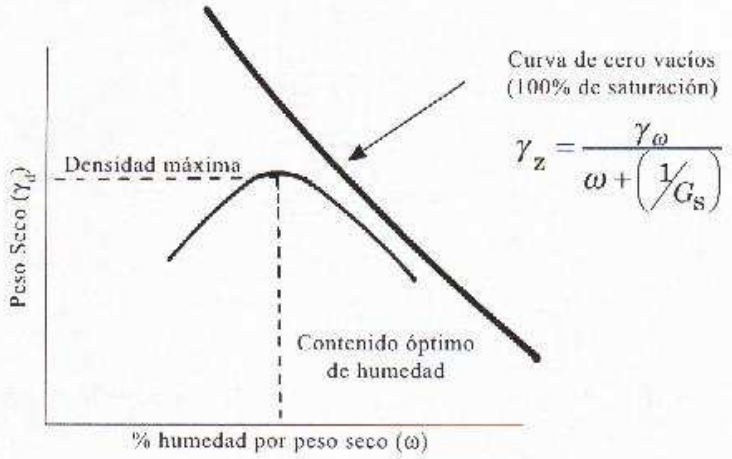
Gráfica A - Proceso de compactación de suelo.



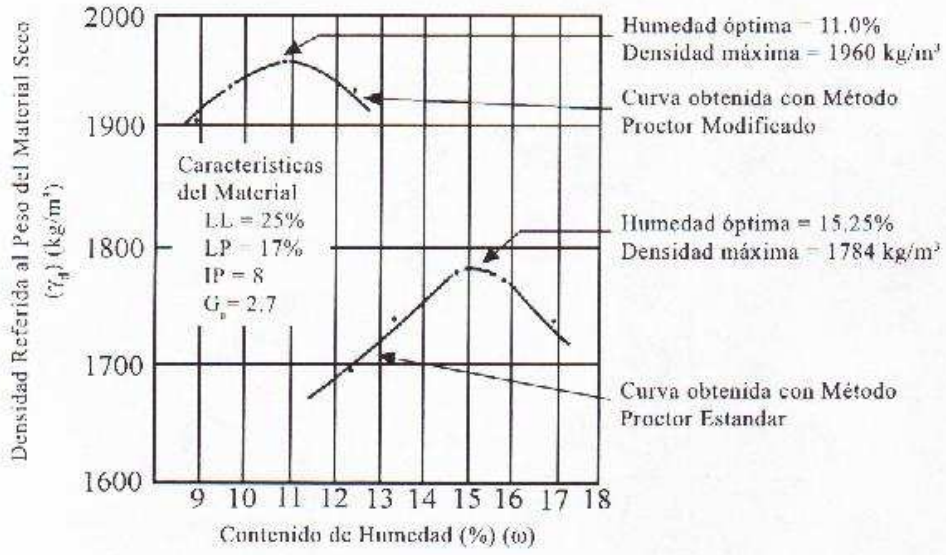
Gráfica B - Compactación con equipo patecabra para alcanzar densidades del 90, 95 y 100% en diferentes tipos de suelo.

Figura 13.5.1. Proceso de compactación de suelos y sus resultados.

Fuente: Adaptado de García I., 1991



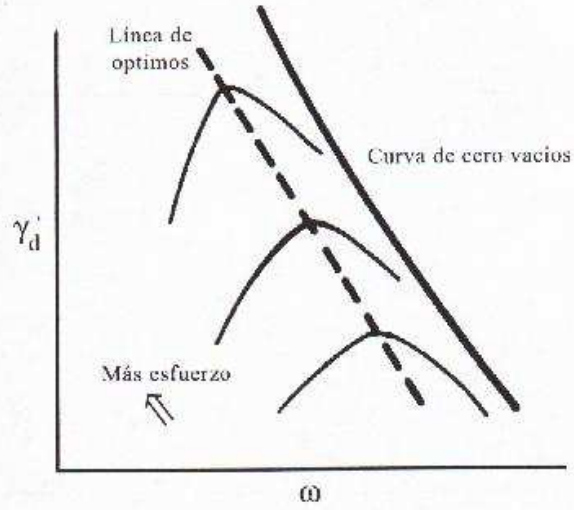
Gráfica A - Resultados típicos de contenidos de humedad vs. densidad (peso seco) para un esfuerzo de compactación dado.



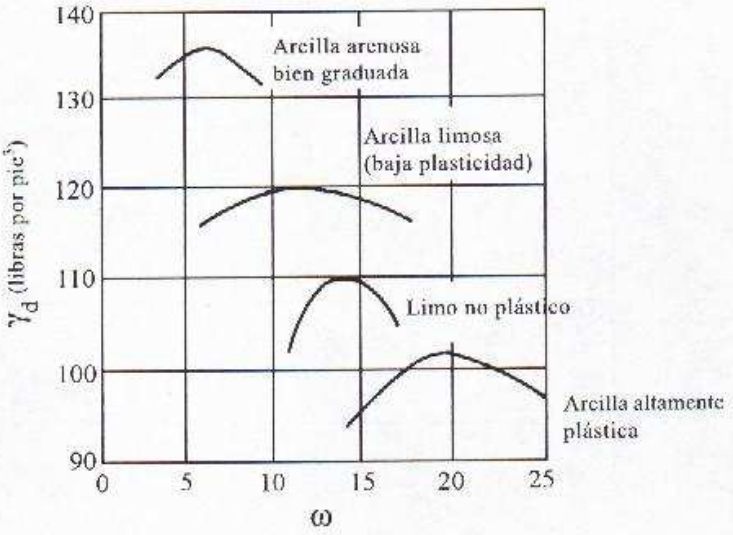
Gráfica B - Resultados específicos de las curvas obtenidas de un suelo compactado a Método Proctor Estándar y Método Proctor Modificado.

Figura 13.5.2. Propiedades de los suelos compactados.

Fuente: Adaptado de Terzaghi y Peck, 1968.



Gráfica C - Resultados típicos de esfuerzo de compactación variable con el mismo suelo.



Gráfica D - Resultados típicos del mismo esfuerzo de compactación para diferentes suelos.

Figura 13.5.2. Propiedades de los suelos compactados (continuación).

Fuente: Adaptado de Terzaghi y Peck, 1968

Tabla 13.5.1 Propiedades típicas de materiales compactados.

Grupo simbolo USC	Tipos de suelo	Rango de máximo peso unitario seco (pcf)	Rango de contenido de humedad óptima (%)	Valor típico de compresión		Caraterísticas típicas de fuerza				Coeficiente típico de permeabilidad, k pie/min
				A 1.4 tsf (20 psi)	A 3.6 tsf (50 psi)	Cohesión (como compactado) (psf)	Cohesión (saturado) (psf)	ϕ (envolvente de esfuerzo efectivo) grados	Tanϕ	
				% de altura original						
GW	Grava limpia bien graduada, mezcla de grava y arena	125-135	11-8	0.3	0.6	0	0	>38	>0.79	$5x10^2$
GP	Grava limpia no bien graduada, mezcla de grava y arena	115-125	14-11	0.4	0.9	0	0	>37	>0.74	10^1
GM	Grava limosa, no bien graduada, mezcla de grava y limo	120-135	12-8	0.5	1.1	--	--	>34	>0.67	$>10^{-6}$
GC	Grava arcillosa, mezcla de grava arena y arcilla	115-130	14-9	0.7	1.6	--	--	>31	>0.60	$>10^{-7}$
SW	Arena limpia bien graduada, mezcla de grava y árena	110-130	16-9	0.6	1.2	0	0	38	0.79	$>10^{-3}$
SP	Arena no bien graduada, mezcla de grava y arena	100-120	21-12	0.8	1.4	0	0	37	0.74	$>10^1$
SM	Arena limosa, no bien graduada, mezcla de arena y limo	110-125	16-11	0.8	1.6	1050	420	34	0.67	$5x10^{-5}$

Tabla 13.5.1 Propiedades típicas de materiales compactados (continuación).

Grupo simbolo USC	Tipos de suelo	Rango de máximo peso unitario seco (pcf)	Rango de contenido de humedad óptima (%)	Valor típico de compresión		Caraterísticas típicas de fuerza				Coeficiente típico de permeabilidad, k pie/min
				A 1.4 tsf (20 psi)	A 3.6 tsf (50 psi)	Cohesión (como compactado) (psf)	Cohesión (saturado) (psf)	ϕ (envolvente de esfuerzo efectivo) grados	Tanϕ	
				% de altura original						
SM-SC	Mezcla de arena y limo con una ligera cantidad de finos plásticos	110-130	15-11	0.8	1.4	1050	300	33	0.66	$2x10^{-6}$
SC	Arena arcillosa, no bien graduada mezcla de arena y arcilla	105-125	19-11	1.1	2.2	1550	230	31	0.60	$5x10^{-7}$
ML	Limo inorgánico y arcilloso	95-120	24-12	0.9	1.7	1400	190	32	0.62	10^{-5}
ML-CL	Mezcla de limo y arcilla inorgánica	100-120	22-12	1.0	2.2	1350	460	32	0.67	$5x10^{-7}$
CL	Arcilla inorgánica con una propiedad de plásticidad baja a medio	95-120	24-12	1.3	2.5	1800	270	28	0.54	10^{-7}
MH	Arcilla inorgánica y limo elástico	70-95	40-24	2.0	3.8	1500	420	25	0.47	$5x10^{-7}$
CH	Arcilla inorgánica con una propiedad de plásticidad alta	75-105	36-19	2.6	3.9	2150	230	19	0.35	10^{-7}
OL-OH	Arcilla y arcilla limosa orgánica	65-100	45-21	--	--	--	--	--	--	--

Notas: 1. Todas las propiedades son para las condiciones de máxima densidad de "Proctor Estándar", excepto los valores de k los cuales son para una densidad máxima de "Proctor Modificado"; 2. Las caraterísticas típicas de refuerzo para envolvente de esfuerzo efectivo son obtenidas de USBR.; 3. Los valores de compresión para loading vertical con confinamiento lateral completo; 4. pcf = libras por pie cúbico, ps i= libras por pulgada cuadrada, psf = libras por pie cuadrado. Fuente: NAVFAC DM-7, 1971.

SECCIÓN 13.6.
PRUEBAS, PROPIEDADES Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La siguiente sección incluye la información de suelos y las pruebas de laboratorio comúnmente utilizadas para determinar sus propiedades de diseño, tales como la graduación y las pruebas de plasticidad. Se presenta también información de la forma de clasificar suelos en el laboratorio y en el campo; la Figura 13.6.1 muestra unas curvas de graduación típicas de un rango de diferentes tipos de suelos que se puede encontrar en un proyecto de caminos.

Se pueden clasificar los suelos de diferente manera, dependiendo del propósito o uso de la información. El Servicio de Conservación de Suelos deEstados Unidos ha desarrollado un sistema de clasificación en base a las clases de textura de suelos Figura 13.6.2. Esta gráfica presenta los términos comúnmente usados, como una función de la cantidad de arena, limo, y arcilla que contienen los suelos. Normalmente se utiliza esta terminología para actividades agrícolas, sin embargo, son aplicables para proyectos de obras civiles.

La Tabla 13.6.1 muestra los criterios para la clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (Unified Soil Classification System, USC). Este sistema, así como el de AASHTO, fueron desarrollados para satisfacer las necesidades de ingeniería civil, basados en pruebas de suelos en el laboratorio. El Suplemento 13-1, "Clasificación de Suelos en el Campo", presenta información para clasificación básica en el campo, si no se dispone de equipo de laboratorio. La metodología casera o de campo se basa en unas pruebas simples de "mano" para determinar las características del suelo para poder clasificarlo.

Una vez clasificados los suelos según la terminología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo, la Tabla 13.6.2 puede usarse. Esta información, desarrollada por el U.S. Bureau of Reclamation, muestra las propiedades de ingeniería típicas de suelos, y sus diferentes clases. Esta gráfica presenta las aplicaciones recomendadas en diferentes aspectos de la construcción, tales como, valor de soporte, revestimiento, drenaje, etc., y algunas de las características de los diferentes suelos como facilidad de compactación, compresibilidad, y

permeabilidad.

MATERIALES PARA CARRETERAS

El estudio de suelos y materiales deberá ser hecho antes de poder preparar diseños razonables y económicos de un proyecto de carretera. Es necesario contar con personal entrenado y equipo conveniente para poder hacer un buen estudio de suelos y materiales. Generalmente el Ingeniero de suelos es miembro de la brigada de estudios y, ordinariamente, el estudio de suelos y materiales va detrás y muy cerca del estacado del trazo.

Luego de completar el estudio, escriba un informe irregular, enumerando las perforaciones hechas y las muestras que se hubieran tomado; describa las canteras de préstamo que haya descubierto, los materiales selectos y el material de la superficie del camino; incluya bosquejos de la ruta, mostrando la forma de llegar a las canteras de los depósitos de materiales; haga un resumen de sus observaciones sobre las carreteras existentes en relación con los suelos subyacentes. Se deberá incluir esta información en el informe de trazo del Ingeniero de proyecto.

Para el Ingeniero es muy importante tener cierta información acerca de las características de los materiales sobre los cuales se propone construir un camino que pueden ser lutitas, rocas, suelos vegetales, etc. así como también acerca de las características de los materiales que serán incorporados como material de préstamo, sub-base, selecto, base y carpeta.

En el pasado poca o ninguna importancia se le daba a este tipo de información, debido principalmente a que las cargas eran livianas, a que los cortes y rellenos eran pequeños (seguían la pendiente) así como también la falta de técnicas para muestreo y realización de pruebas y por la falta de conocimientos de las personas involucradas en la localización y en el diseño de los caminos.

Hoy la situación es muy diferente. Los caminos sirven para transportar grandes y pesados volúmenes de carga, los cortes y rellenos son grandes y las fuentes de agregados son escasas y distantes. No se pueden tolerar fallas y deslizamientos en los taludes de cortes y rellenos, ni asentamientos y fallas en la superficie de rodaje. Adicionalmente el impacto de los deslizamientos en el medio ambiente resulta a menudo contraproducente.

Una buena práctica de diseño por consiguiente incluye, una investigación preliminar de campo para delinear y clasificar los suelos y para ubicar zonas con problemas potenciales de asentamiento e inestabilidad. Adicionalmente debe

ser necesario hacer pruebas de laboratorio para determinar con mayor detalle, las propiedades físicas de los suelos. En la mayoría de los casos estas pruebas pueden ser efectuadas en laboratorios más grandes como el del Departamento de suelos de la Dirección General de Caminos o la de un Consultor Privado.

DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS

Todo diseñador deberá tener conocimientos prácticos de los términos básicos de los suelos. Los términos utilizados son los siguientes:

a) Cantos rodados: Partículas mayores de 30 cm de diámetro (12").

b) Piedras: Partículas entre 7.5 cm y 30 cm de diámetro (3"-12").

c) Grava: Partículas entre 7.5 cm y 4.76 mm (retenidos en el No. 4 ó de aproximadamente 1/4 de pulgadas).

d) Arena: Partículas entre 4.76 mm. (#4 tamiz) y 0.074 mm (tamiz No. 200).

e) Finos: Limos y arcillas de partículas de tamaño menor que 0.074 mm. de diámetro (partículas que no son visibles a simple vista ni bajo condiciones normales).

f) Materia Orgánica: Se caracteriza por su textura fibrosa, color café obscuro y negro y un olor perceptible como a descomposición. Suelos con alto contenido orgánico deberán ser desechados para uso en ingeniería.

Las arcillas y los limos son identificados por sus características plásticas y no por su tamaño. Las características más importantes son las siguientes:

a) Resistencia Seca: (características de práctica) alta en las arcillas y baja en los limos.

b) Expansión: (reacción al sacudido, ejemplo, la facilidad con que aparece la humedad en la superficie de un pedazo de suelo cuando se somete a vibración) rápida en limo, ninguna o poca en la arcilla.

c) Consistencia: (consistencia cerca del límite plástico, por ejemplo, la

facilidad con que puede un suelo rodarse hasta formar un purito de 3 mm de diámetro y mantenerse sin desmoronarse.

Con suelos granulares, estos suelos están formados por partículas redondeadas o angulares. Estas tienden a mantenerse estables bajo cargas estáticas, pero el impacto o vibración puede causar que aumenten de densidad. Las propiedades del suelo se mantienen inalteradas con la presencia de agua. Los suelos con estas propiedades se denominan "No Cohesivos".

Para minerales arcillosos, las arcillas están formadas por partículas laminares y por tal razón tienden a ser comprimidas fácilmente. Estas son estables bajo cargas dinámicas, pero debido a su afinidad con el agua, se hinchan cuando se mojan. Los suelos que tienen esta interacción con el agua que los vuelve plásticos se denominan "Cohesivos". Los minerales arcillosos más comunes son:

a) Kaolinita (arcilla para loza) - Más o menos estable.

b) Ilita - Un poco expansiva.

c) Montmorilonita - Muy inestable y expansiva.

d) Bentonita - Una forma de montmorilonita de ceniza volcánica; se le utiliza comercialmente para barrenación y para sellar represas.

CURVAS GRANULOMÉTRICAS

Las partículas del tamaño de arena y mayores se miden por medio de tamices calibrados cuyas aberturas varían desde 10.16 cms (4") hasta No. 4 (4.76 mm) y se les denominan gravas. La arena incluye todas las partículas menores que el tamiz No. 4 y mayores que el tamiz No. 200 (0.074 mm). Las partículas menores que el No. 200 son finos y no es necesario, para los fines de ingeniería, clasificarlas de un tamaño menor.

La distribución total de tamaños de un suelo es representada mejor en una gráfica granulométrica donde los distintos tamaños de los granos dibujados en escala logarítmica en las abcisas y los porcentajes en peso de los granos de suelo que pasan en escala natural en las ordenadas. La Figura 13.6.1 representa varias curvas granulométricas típicas.

Las de la izquierda son granos más gruesos y las de la derecha son granos más finos. La forma de la curva de graduación nos indica la relación entre los tamaños de los diferentes granos de suelos. Una curva empinada indica que los

granos son casi todos del mismo tamaño, es un suelo uniforme. Una curva suave indica grandes variaciones en el tamaño de los granos, es un suelo de buena graduación. Las inflexiones en la curva indican que el suelo está compuesto de dos ó más suelos uniformes, es un suelo de graduación incompleta. Una curva empinada en la parte que corresponde a la arena y que se hace larga y aplanada en la sección de los finos indica que el suelo se formó por meteorización mecánica y que después se alteró químicamente.

El tamaño efectivo de los granos se define como el tamaño correspondiente al 10% en la curva granulométrica acumulativa y se designa por D_{10}. Otros tamaños definidos estadísticamente que son útiles incluyen la mediana, D_{50}, el cuartil más fino D_{25} y D_{15}. Se ha encontrado que el tamaño o diámetro efectivo así como el D_{15} son factores principales en el diámetro efectivo de los poros y están relacionados empíricamente con el drenaje y la filtración de la humedad en el suelo.

La Uniformidad del suelo se puede definir estadísticamente de varias maneras. Un índice antiguo, pero útil es el coeficiente de uniformidad Cu, que se define por la relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Los suelos que tienen Cu menor de 4 se dice que son uniformes: los suelos con Cu mayor de 6 están bien graduados, siempre que la curva granulométrica sea suave y bastante simétrica (el sistema unificado de suelos utiliza un mínimo de 4 para grava bien graduada y 6 para arenas bien graduadas).

El coeficiente de curvatura Cc también puede utilizarse para describir un suelo. Suelos con un Cc entre 1 y 3 han sido bien graduados.

PLASTICIDAD

Los suelos de granos finos se clasifican cuantitativamente de acuerdo con el efecto de la variación de humedad en su consistencia. El científico sueco ATTERBERS desarrolló un método y fijó límites definidos, aunque arbitrarios para cada estado (ASTM D-423, D-424 y D-427, AASHO T-89, T-90 y T-92).

Estado	Descripción	Límite
Líquido	Una pasta; sopa de guisantes a mantequilla blanda; un líquido viscoso.	Límite Líquido (L.L.)
Plástico	Mantequilla blanda a masilla dura, se deforma pero no se agrieta.	
Semisólido	Queso que se deforma permanentemente, pero que se agrieta.	Límite Plástico (L.P.)
Sólido	Caramelo duro, falla completamente al deformarse.	Límite de Retracción (L.R.)

El Índice de Plasticidad (I.P.) es la diferencia entre el valor del límite líquido y el límite plástico. Cada límite se define por la humedad que produce una consistencia determinada, la diferencia entre los límites representa la variación en el contenido de agua o humedad dentro de la cual el suelo se mantiene en un cierto estado.

El Límite Líquido (L.L.) se define por la humedad que tiene el suelo amasado, cuando con 25 golpes ligeros contra una placa de goma dura de una vasija especial, se cierra el surco de sección trapezoidal que se había abierto en la masa húmeda de suelo colocada en dicha vasija. El Límite Plástico (L.P.) se define por la humedad del suelo amasado cuando empieza a repararse y desmoronarse al enrollarse a mano para formar unos puritos de 3 mm de diámetro. El Límite de Retracción (L.R.) se define por la humedad que contiene el suelo amasado cuando alcanza un volumen mínimo teórico al secarse, viniendo del estado de saturación.

Los límites de ATTERBERG significan poco por sí mismos, pero como índices de las propiedades características de los suelos son muy útiles. Se ha encontrado que el límite es proporcional a la comprensibilidad del suelo; la diferencia entre límite líquido y límite plástico que se llama Índice de Plasticidad (I.P.) representa la variación en humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico.

El contenido de humedad del suelo (porcentaje de peso seco) en cada uno de los puntos de límite, es el valor de cada límite en particular. Las pruebas

específicas para cada uno de estos límites se describe en los manuales de la ASTM y de la AASHTO.

Los límites mismos son como se indicó anteriormente, arbitrarios, pero los rangos de valores nos darán alguna indicación de las propiedades del suelo. Un límite líquido muy alto nos indica un suelo altamente comprensible, por lo tanto un suelo pobre para propósitos de cimentación. Un amplio rango del índice de plasticidad nos indica un suelo de alta plasticidad, poca permeabilidad y habilidad para absorver grandes cantidades de humedad y aún mantenerse plástico.

El Límite Líquido y el índice de plasticidad son normalmente los únicos valores reportados para suelos de granos finos, los valores altos, en ambos casos, nos indican suelos pobres para propósitos de Ingeniería. A continuación se ofrecen como ejemplo los valores de dos suelos, el primero es un suelo arcilloso típico, el segundo un extremo para suelo arcilloso, pero no por eso poco común.

	L.L.	L.P.	I.P.	L.R.
a) Arcilla Azul de Bastón (Depósitos de arcilla de origen marino o glacial, principalmente ilita)	41	25	16	19
b) Arcilla de México D.F. (De origen volcánico, mayormente motmorilonita)	388	226	162	43

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos se clasifican de acuerdo a características comunes. Cuando se trata de suelos para fines agrícolas éstos se agruparían de acuerdo con su potencial para crecimiento de cultivos, drenaje, etc. Suelos para propósitos de ingeniería son agrupados tomando en cuenta sus propiedades de resistencia, capacidad de soporte, plasticidad, etc.

La clasificación para ser usada en ingeniería se determina en base a las

características de plasticidad y granulometría, eliminando de esta manera la necesidad de involucrarse en costosas investigaciones y pruebas. Debe recordarse que las propiedades de cualquier grupo para un método de clalsificación son únicamente aproximadas, basadas en suelos comunes de tal tipo, por consiguiente cualquier información para un suelo en particular (necesaria para proyectos de importancia) deberá ser determinada por pruebas más complejas.

Las clasificaciones por textura son utilizadas a menudo por los Ingenieros de campo para describir un suelo cuando no se dispone de los medios más precisos. En tal caso, se deberán tener en cuenta las siguientes características:

a) Consistencia (flojo, fuerte, uniforme, suave, etc.).

b) Resistencia y comprensibilidad (quebradizo, plástico, comprensible, etc.)

c) Color.

d) Composición (bien graduado, uniforme, plástico, orgánico, redondeado, calcáreo, limoso, arenoso, grueso, etc.).

e) Detalles adicionales (poroso, en descomposición, fracturado, desgastado, húmedo, etc.)

Como ejemplos tenemos, arcilla suave, ligeramente plástica, con algunas partículas de cuarzo del tamaño de grava; grava dura, café amarillenta, cementada con arena. Si el suelo estuviera formado de partículas de tamaños diferentes, entonces se le describiría por el orden de importancia. Una arcilla limo arenosa, sería principalmente arcilla con alguna arena y una pequeña cantidad de limo y se comportaría como una arcilla.

Una excelente referencia para este tipo de descripción de suelos (procedimiento visual-manual) es el ASTM D-2488.

Han sido desarrollados sistemas de clasificación para ingeniería más precisos, para asistir al Ingeniero. Los sistemas más comunmente utilizados hoy en día incluyen el de la AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (ASTM D-2487) originalmente fue desarrollado para pavimentos de aeropuertos, pero actualmente se utiliza para presas, carreteras y otros propósitos. Este método puede ser usado para una clasificación de campo rápido o bien para una clasificación más detallada en laboratorio, Tabla 13.6.1.

Los suelos se dividen en de grano grueso, G para grava y S para arena; mas W para bien graduados (well graded) y P para mal graduados (poorly graded); M para finos limosos y C para finos arcillosos, de los cuales resultan 8 grupos básicos, y granos finos, M para limos, C para arcillas y O para limos orgánicos y H para alta comprensibilidad; que dan por resultado 6 grupos básicos.

La clasificación de suelos se compondrá de 2 letras, tal como GP (grava pobremente graduada) o SM (arena con finos limosos o arena limosa). También se utilizan clases dobles, cuando un suelo no encaja dentro de una clase en paticular tal como GW-GC. Adicionalmente se usan dos sub-grupos de d y u para suelos GM y SM.

Un ejemplo de Sistema Unificado de Clasificación de Suelo se presente abajo:

	Suelo No. 1	Suelo No. 2
% pasa #4	85	100
% pasa #10	63	95
% pasa #40	55	70
% pasa #200	30	55
L.L.	42	60
I.P.	9	35
Grupo AASHTO	A-2-5-(0)	A-7-6-(14)
Grupo S.U.C.	SM(u)	CH

• Para cualquiera de los métodos, los suelos se describen como sigue:
- Suelo No. 1 Una arena con finos limosos (arena limosa)
- Suelo No. 2 Una arcilla de alta plasticidad (comprensibilidad)

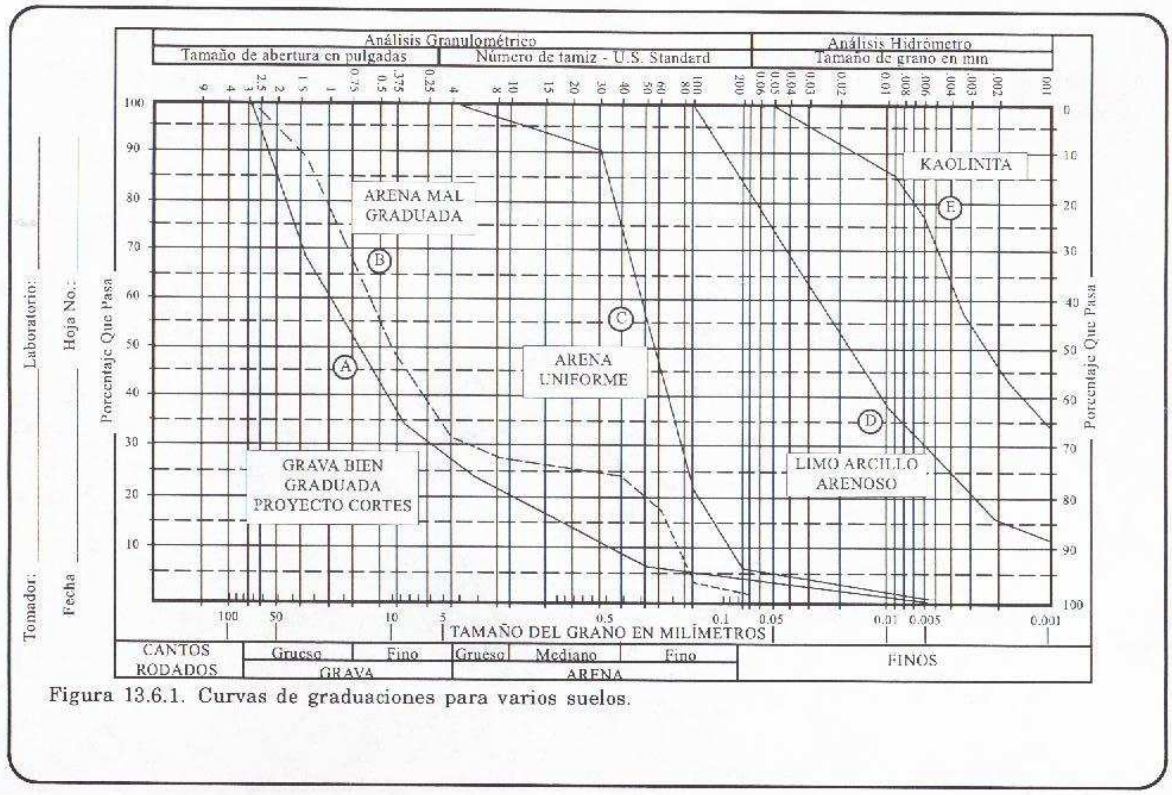
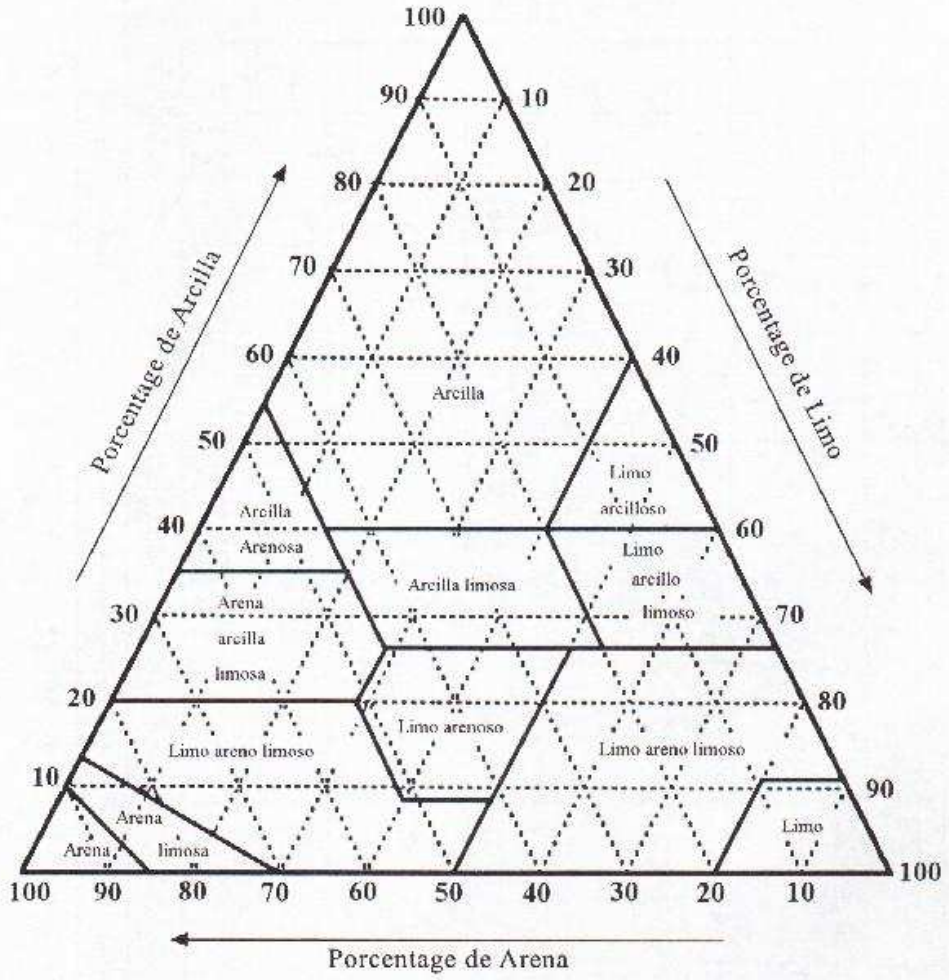


Figura 13.6.1. Curvas de graduaciones para varios suelos.



Partícula de arcilla menor de 0.002 mm

Limo de tamaño de 0.002 mm a 0.05 mm

Arena de tamaño de 0.05 mm a 2.0 mm

Figura 13.6.2. Clases de textura de suelos básicos del U.S. Soil Conservation Service.

Tabla 13.6.1. Sistema Unificada de Clasificación de Suelo (Unified Soil Classification [USC]).

División Principal		Símbolo del Grupo	Criterios para la Clasificación de Laboratorio: Más Fino que el Tamiz No. 200%	Requisitos Suplementarios	Descripción del Suelo
Grano grueso (más del 50%, en peso, más grueso que el tamiz No. 200)	Suelo gravoso (más de la mitad de la fracción gruesa mayor que el tamiz No. 4)	GW	0-5	D_{60}/D_{10} mayor que 4, $D_{30}^2/(D_{60} \times D_{10})$ entre 1 y 3	Grava de buena graduación, gravas arenosas
		GP	0-5	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para GW	Gravas uniformes o con graduación discontinuas, gravas arenosas
		GM	12 ó más	IP menor que 4 o por debajo de la línea A	Gravas limosas, gravas limo-arenosas
		GC	12 ó más	IP mayor que 7 y arriba de la línea de A	Gravas arcillosas, gravas-arcillo-arenosas
	Suelos arenosos (más de la mitad de la fracción gruesa más fina que el tamiz No. 4)	SW	0-5	D_{60}/D_{10} mayor que 4, $D_{30}^2/(D_{60} \times D_{10})$ entre 1 y 3	Arenas de buena graduación, arenas gravosas
		SP	0-5	Cuando no se cumplen simultáneamente para GW	Arenas uniformes, o con graduación discontinua, arena gravosa
		SM	12 ó más	IP menor que 4 ó por debajo línea A	Arenas limosas, arenas limosas gravosas
		SC	12 ó más	IP mayor que 7 ó por arriba de la línea A	Arenas arcillosas, areass arcillosas gravosas
Grano fino (más del 50%, en peso, más fino que el tamiz No. 200)	Baja comprensibilidad (LL menor que 50)	ML	Gráfico de Plasticidad		Limos, arenas muy finas, areanas finas limosas o arcillosas, limos micaceo
		CL	Gráfico de Plasticidad		Arcilla de baja plasticidad, arcillas arenosas o limosas
		OL	Gráfico de Plasticidad, Olor y Color Organico		Limos organicos y arcillas de baja plasticidad
	Alta comprensibilidad (LL mayor que 50)	MH	Gráfico de Plasticidad		Limos micaceos, limos diatomeas cenizas volcánicas
		CH	Gráfico de Plasticidad		Arcillas muy plásticas y arcillas arenosas
		OH	Gráfico de Plasticidad, Olor y Color Organico		Limos orgánicos y arcillas de alta plasticidad
Suelos como materiales orgánicos fibrosos		PI	Materia orgánica fibrosa; se carboniza, quema o se pone incandecente		Turbas, turbas arenosa y turbas arcillosas

* Para los suelos en los que pasan por el tamiz No. 200 del 5 al 12 por ciento, use un símbolo doble, como GW-GC.
**LL = Límite de Líquido; IP = Índices de Plasticidad

Fuente: U.S. Waterways Experimeat Station y ASTM D-2487-66T.

Tabla 13.6.2 Características y valores del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo para construcciones con suelos.

Clase (1)	Características de compactación (2)	Máximo peso unitario seco, Proctor normal (kg/m³) (lpc) (3)	Comprensibilidad y expansión (estabilidad) (4)	Drenaje y Permeabilidad (5)	Valor como material de terraplén (6)	Valor como subrasante no sometida a heladas (7)	Valor como capa de base (8)	Con paliativo para el polvo (9)	Con tratamiento bituminoso (10)
GW	Buena: tractor, llantas de goma, ruedas de acero o cilindro apisonador vibratorio	2,000-2,160 (125-135)	Casi ninguno	Buen drenaje, permeable	Muy estable	Excelente	Bueno	Aceptable a deficiente	Excelente
GP	Buena: tractor, llantas de goma, ruedas de acero o cilindro apisonador vibratorio	1,840-2,000 (115-125)	Casi ninguno	Buen drenaje permeable	Razonablemente estable	Excelente a Bueno	Deficiente a aceptable	Deficiente	---------
GM	Buena: llantas de goma o rodillo de patecabra lijero	1,920-2,160 (120-135)	Ligera	Drenaje deficiente semipermeable	Razonablemente estable	Excelente a Bueno	Aceptable a deficiente	Deficiente	Deficiente a aceptable
GC	Buena o aceptable: llantas de goma o rodillo de patecabra	1,840-2,080 (115-130)	Ligera	Drenaje deficiente, impermeable	Razonablemente estable	Bueno	Bueno a aceptable†	Excelente	Excelente
SW	Buena : tractor, llantas de goma o cilindro apisonador vibratorio	1,760-2,080 (110-130)	Casi ninguno	Buen drenaje permeable	Muy estable	Bueno	Aceptable a deficiente	Aceptable a deficiente	Bueno
SP	Buena : tractor, llantas de goma o cilindro apisonador vibratorio	1,600-1,920 (100-120)	Casi ninguno	Buen drenaje permeable	Razonablemente estable si denso	Bueno a aceptable	Deficiente	Deficiente	Deficiente a aceptable

Notas: †Inadecuado si está sometido a heladas; Los números entre paréntesis de la columna (3) están en libras por pie cúbico

Tabla 13.6.2 Características y valores del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo para construcciones con suelos (continuación).

Clase (1)	Características de compactación (2)	Máximo peso unitario seco, Proctor normal (kg/m³) (lpc) (3)	Comprensibilidad y expansión (estabilidad) (4)	Drenaje y Permeabilidad (5)	Valor como material de terraplén (6)	Valor como subrasante no sometida a heladas (7)	Valor como capa de base (8)	Con paliativo para el polvo (9)	Con tratamiento bituminoso (10)
SM	Buena: llantas de goma o rodillo de patecabra	1,760-2,000 (110-125	Ligera	Drenaje deficiente, impermeable	Razonablemente estable si denso	Bueno a aceptable	Deficiente	Deficiente	Deficiente a aceptable
SC	Buena a aceptable: llantas de goma o rodillo de patecabra	1,680-2,000 (105-125)	Ligera a mediana	Drenaje deficiente, impermeable	Razonablemente estable	Bueno a aceptable	Aceptable a deficiente†	Excelente	Excelente
ML	Buena a deficiente: llantas de goma o rodillo de patecabra	1,520-1,920 (95-120	Ligera a mediana	Drenaje deficiente, impermeable	Estabilidad deficiente, se requiere alta densidad	Aceptable a deficiente	Inadecuado	Deficiente	Deficiente
CL	Buena o aceptable: rodillo de patecabra o llantas de goma	1,520-1,920 (95-120)	Mediana	No hay drenaje, impermeable	Buena estabilidad	Aceptable a deficiente	Inadecuado	Deficiente	Deficiente
OL	Aceptable a deficiente: rodillo de patecabra o llantas de goma	1,280-1,600 (80-100)	Mediana a alta	Drenaje deficiente, impermeable	Inestable, no debe usarse	Deficiente	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado

Notas: †Inadecuado si está sometido a heladas; Los números entre paréntesis de la columna (3) están en libras por pie cubico

Tabla 13.6.2 Características y valores del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo para construcciones con suelos (continuación).

Clase (1)	Características de compactación (2)	Máximo peso unitario seco, Proctor normal (kg/m³) (lpc) (3)	Comprensibilidad y expansión (estabilidad) (4)	Drenaje y Permeabilidad (5)	Valor como material de terraplén (6)	Valor como subrasante no sometida a heladas (7)	Valor como capa de base (8)	Con paliativo para el polvo (9)	Con tratamiento bituminoso (10)
MH	Aceptable a deficiente: rodillo de patecabra o llantas de goma	1,120-1,520 (70-95)	Alta	Drenaje deficiente, impermeable	Estabilidad deficiente, no debe usarse	Deficiente	Inadecuado	Malo	Malo
CH	Aceptable a deficiente: rodillo de patecabra	1,280-1,680 (80-105)	Muy alta	No hay drenaje, impermeable	Estabilidad aceptable si puede ablandar por expansión	Deficiente a malo	Inadecuado	Malo	Inadecuado
OH	Aceptable a deficiente: rodillo de patecabra	1,040-1,600 (65-100)	Alta	No hay drenaje, impermeable	Inestable, no debe usarse	Malo	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado
PT	Inadecuado		Muy alta	Drenaje aceptable a deficiente	No debe usarse	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado	Inadecuado

Notas: †Inadecuado si está sometido a heladas; Los números entre paréntesis de la columna (3) están en libras por pie cúbico

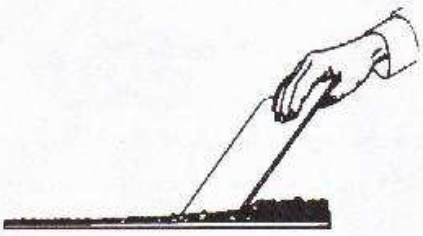
Suplemento 13-1
Clasificación de Suelos en el Campo*

Cuando no se dispone de instalaciones de laboratorio, se pueden realizar pruebas sencillas de campo para clasificar los suelos. Estas pruevas son utilizadas para determinar granulometria, plasticidad y dispersión.

GRANULOMETRÍA

Para verificar la granulometría de un suelo seco, extienda una muestra del suelo en una superficie plana. Utilice un pedazo de cartón duro como rastrillo para clasificar las partículas de suelo más grandes en un lado (Figura 1).

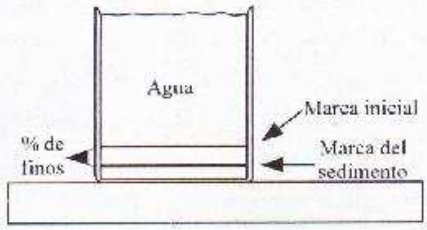
Figura 1. Ensayo de graduación



Estime el porcentaje de partículas mayores de 6 mm (1/4 de pulgada) y el porcentaje de finos (muy pequeños para que el grano individual pueda ser visto por el ojo sin ayuda). Estime si las partículas más grandes tienen un tamaño uniforme (pobremente graduadas) o de tamaño grande, mediano o pequeño (bien graduadas).

Si el suelo está húmedo, deshaga los grumos con un lápiz y haga un porcentaje estimado al igual que en el método del suelo seco. Para encontrar el porcentaje de partículas finas, coloque 3 mm (1/8 de pulgada) de agua en un envase transparente y luego añada suficiente suelo para que llene el envase hasta el nivel de 6 mm (1/4 de pulgada). Añada agua hasta que el suelo esté cubierto. Marque este nivel con una banda de caucho. Llene el envase de agua hasta que esté a 19 mm (3/4 de pulgada) y agite la mezcla vigorosamente. Permita que se asiente por aproximadamente un minuto y medio y marque la altura del suelo que se ha sedimentado (Figura 2).

Figura 2. Porcentage de finos.



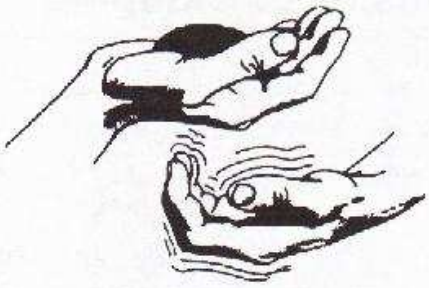
La relación entre la altura de las dos marcas representa el porcentaje de partículas finas.

PLASTICIDAD

Prueba de Sacudida - Recoja una porción de suelo fino granular y amásela toda, eliminando en lo posible las partículas granulares más grandes. Añada agua gradualmente y amase el suelo hasta que comience a ponerse pegajoso. Sujete la bola de suelo en la palma de una mano y golpee ligeramente la parte de atrás de esa mano con los dedos de la otra mano (Figura 3).

*Fuente: Adaptado de The Bridge. Vol. 6, Núm 2, Invierno 1992.

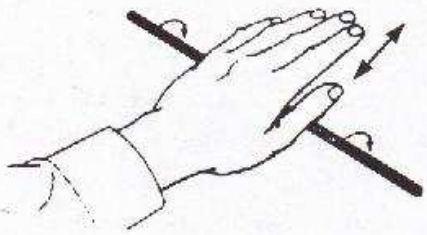
Figura 3. Ensayo de Sacudida.



Si la bola se pone brillante y húmeda en la superficie, es mayormente arena fina o limo. La arcilla tiene poca o ninguna reacción a esta prueba y simplemente se desbarata.

Prueba de Flexibilidad - Recoja aproximadamente la mitad de la bola de suelo y amásela entre el dedo pulgar y el índice para secarla. Luego, intente enrollar la muestra de suelo transformándola en una hebra o "rollo" de 1/8 de pulgada (Figura 4).

Figura 4. Ensayo de flexibilidad.



Si no se puede formar un rollo, el suelo es definitivamente limo o arena fina. Un suelo altamente plástico toma más tiempo en secarse. Se pone duro y ceroso y se requiere considerable presión para formar el rollo que se rompe cuando alcanza 3 mm (1/8 de pulgada) de diámetro.

Prueba de Resistencia Seca - Recoja la otra mitad de la bola de suelo y amásela hasta formar una bola. Colóquela aparte al aire para que se seque. Cuando el suelo esté seco, tritúrelo y seleccione un fragmento delgado, fino. Trate de triturar este fragmento entre el dedo pulgar y el índice. El sedimento se convertirá en polvo con muy poco esfuerzo. La arcilla se pondrá como una piedra y es casi imposible triturarla con los dedos.

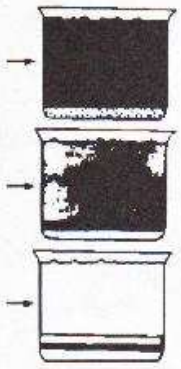
Lavado de las Manos - Luego del manejo de limos y arenas los dedos se sentirán polvorosos y friccionar los dedos entre sí casi los limpiará. El agua corriente de un grifo limpiará todo el suelo. Cuando se trabaja con arcilla, se formará una costra en los dedos que no se puede raspar cuando se seca. El agua no lo limpiará tampoco. Las manos deben ser frotadas entre sí debajo del agua para que se puedan limpiar.

DISPERSIÓN

Además de las pruebas de campo anteriormente descritas, la prueba de dispersión puede ser utilizada para determinar porcentajes del tamaño de granos de suelo así como para indicar cuan difícil será compactar el suelo. Todo lo que se necesita es un envase transparente, agua y una muestra representativa del suelo.

Llene el envase de 1/4 a un 1/3 con el materia. Entonces, llene el envase con agua hasta 13 mm (1/2 pulgada) del tope. Agite bien la mezcla y observe como el material se sedimenta (Figura 5).

Figura 5. Ensayo de dispersión.



El material se sedimenta en tres diferentes capas. La arena en el fondo, luego el limo y finalmente la arcilla. Además de mostrar los diferentes grupos, los resultados indicarán si el suelo está bien o pobremente graduado. Aunque las partículas del limo y la arcilla son más pequeñas que lo que el ojo puede ver, los cambios en graduación pueden ser observados por la diferencia de colores. También, mientras más tiempo le tome a la capa para asentarse, más pequeñas son las partículas.

Estas son algunas cosas que pueden ser aprendidas mediante la prueba de dispersión. La prueba mostrará los materiales básicos y la graduación de cada uno y el tiempo de asentamiento indicará la finura de las partículas. En la mayoría de los casos, un tamaño de partícula simple (gradación pobre) y una partícula de tamaño pequeño significará una compactación más difícil que una mezcla en la cual hay buena graduación de los tamaños de las partículas.

SUMARIO DE GUIAS PARA SUELOS

Varios tipos de suelos tienen distintas reacciones a las pruebas de campo.

Arcillas - No tienen reacción a la prueba de sacudida; un rollo duro que se seca lentamente; un residuo quebradizo que es difícil de quitar de las manos.

Limos - Tienen una reacción rápida a la prueba de sacudida; un rollo débil y desmenuzable; residuo polvoroso que se puede limpiar y quitar fácilmente de las manos.

Lista de Comprobación Para Las Pruebas De Suelos

Observe si las siguientes reacciones ocurren cuando esté utilizando las pruebas de suelo de campo " hágalo usted mismo".

1. No ocurre reacción a la prueba de sacudida, se forma un gusano duro que se seca lentamente y un residuo costroso que es difícil de remover de las manos indica que el suelo es arcilla.
2. Una reacción rápida a la prueba de sacudida, un gusano débil y desmenuzable y residuo polvoroso que se puede limpiar y quitar fácilmente de las manos indican que el suelo es sedimento.
3. Una reacción intermedia o conflictiva a las pruebas de mano indica sedimento así como también mezclas de arcilla.
4. Suficiente arcilla para sellar las manos si la muestra húmeda se amasa, pero no es suficiente para permitir que se forme una masa de arcilla indican arena o grava con arcilla fina.
5. Partículas finas arenosas o polvorientas indican arena con sedimento fino.
6. Cuando se agrega agua se hunda inmediatamente sin formar fango, usted tendrá arean y grava limpia.

Mezcla de Arcilla y Sedimento - Tienen reacción intermedia o conflictiva a las pruebas de mano.

Arena o Grava con Arcilla Fina - Suficiente arcilla para sellar la mano si la muestra húmeda se amasa, pero no es suficiente para permitir que se forme una masa de arcilla.

Arena o Grava con Sedimento Fino - Cualquier mezcla con bastantes partículas finas arenosas o polvorientas.

Arena y Grava Limpia - al añadir agua a estos suelos se hunden inmediatamente sin formar fango.

Foto 13-1. Un camino rural severamente dañado con rodaduras como resultado del uso de subrasante blando y drenajes inadecuados. Nótese el corte de talud inestable y sobreinclinado. Huehuetenango, Guatemala. (G. Bauer)

Foto 13-2. Un ejemplo de un camino rural de altas normas con la plataforma estabilizada con agregado triturado. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 13-3. Un ejemplo de un camino rural de bajas normas con la plataforma estabilizada con canto rodado. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Keller)

Foto 13-4. Un ejemplo de un camino muy transitado con la plataforma adoquinada. Totonicapán, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 13-5. Un camino rural empedrado. Este método utiliza mano de obra intensiva y es muy resistente a la erosión y la formación de rodadura. Su costo de mantenimiento es relativamente bajo. Chapare, Bolivia.

Foto 13-6. Una vista de cerca de un proyecto de empedrado recién terminado. Esta superficie durará muchos años si se mantiene bien. Guatemala, Guatemala. (Foto G. Keller)

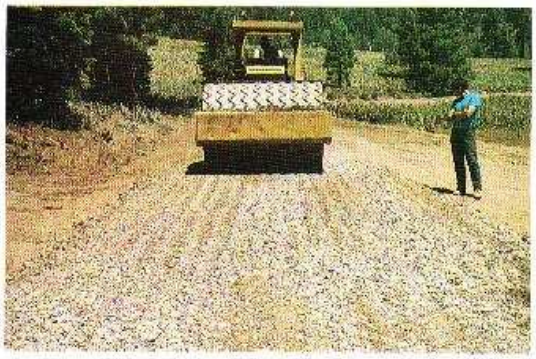


Foto 13-7. El uso de maquinaria de compactación aumenta la resistencia de materiales provenientes de bancos de préstamo. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

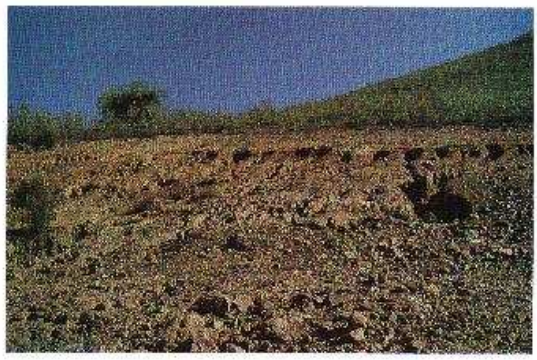


Foto 13-8. Resultarán severos problemas de erosión cuando se localiza el banco de préstamo en las inmediaciones del camino. Los bancos de préstamo deben estar afuera del camino. Cochabamba, Bolivia.

Foto 13-9. Un ejemplo del uso de mano de obra intensiva para excavar un banco de préstamo. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 13-10. Un ejemplo del uso de mano de obra intensiva para seleccionar y triturar material para zampeado excavado de un banco de préstamo. Huehuetenango, Guatemala. (Foto G. Bauer)

Foto 13-11. Un ejemplo de maquinaria liviana utilizada para perforar roca sólida. Bosque Nacional Plumas, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Foto 13-12. Un ejemplo de una cantera de mayor escala donde se esta explotando un depósito de roca sólida. Bosque Nacional Sierra, California, EE.UU. (Foto G. Keller)

Glosario

GLOSARIO

♦♦ *A* ♦♦

abrasion	abrasión; desgaste
abutment	estribo; cabezales
add; augment	añadir; agregar
adhesive	adhesivo; pegajoso
aggregate	agregado
aggregate base	base de grava
allowable bearing capacity	capacidad permisble de soporte
alternative, action	alternativa de "acción"
alternative, no-action	alternativa "sin acción"
alternative, reasonable	alternativa realista o razonable
anchor (in rock); rockbolt	anclaje de roca
anchor stake	estaca de anclaje
angle of internal friction	ángulo de fricción interno
angle of repose	ángulo de reposo
angular grains	granos angulares
approach (embankment)	terraplén
apron; mattress (as used for road construction)	gavacha; acolchado; platea
arch drainage structures	bóveda; arco
arch pipe	arco de bóveda
arching effect	efecto de arqueamiento
argillaceous shale	pizarra arcillosa
armor to, or to cover; armored; armoring	revestir; revestido; revestimiento; carpeta
ash, volcanic	ceniza (volcanico)
asphalt	asfalto

♦♦ *B* ♦♦

backfill	relleno
backwater (pool) level	altura de remanso
badlands	riscos
baffle	desviador; confundir

ballast	balasto
barrier	barrera
basalt	basalto
base	base
beam (wood or metal)	viga (madera o metal)
bearing capacity	capacidad de soporte; presión de apoyo
bedding	estratificación
bedding planes	plano de estratificación; buzamiento
bedrock	lecho de roca; lecho rocoso; manto rocoso
bedrock (in-place rock)	roca madre
benefit	beneficio
bent (on a bridge structure)	pilastra
bentonite	bentonita
berm	bordillo; camellón
best management practices (BMPs)	mejores prácticas de manejo; gestión
biotechnical	biotécnico
biotechnical stabilization measure	medida de estabilización biotécnica
blade; moldboard	cuchilla
blading (smoothing a road surface)	nivelación
blast, to	volar
blasting	voladura
blasting in rock	voladura de roca
blend, proper	mezcla propia
boardfoot	pie tabla
border; edge	orilla
borrow pit	banco de préstamo
boulder; cobble	canto rodado
bouldery	peñascoso
box culvert	alcantarilla de caja
branch packing	recortes de ramas
bridge	puente
brink or edge	risco

broken bed rock	lecho rocoso fracturado
brush layering	capas de ramas
brush matting	colchones de ramas
brushwood	ramojo
buffer zone	zona de amortiguamiento
bumps, traffic	topes; túmulos
buttress	contrafuerte; pilar; machón
buttress	contrapeso

♦♦ C ♦♦

canal; channel	canal; cacera
cantilever	volzadizo; acartelado
capacity	capacidad
capillarity	capilaridad
catchment basin	colchón de agua
cellular binwall	muro celular
cement	cemento
cemented ash	ceniza cementada
chalk	yeso; creta
channeling	encauzamiento
checkdam	dique de contención; barrera; muro
chip seal (double) (asphalt)	doble tratamiento (de asfalto)
chips, gravel	ripio
choke	remanso
clay	arcilla
clay soil	suelo arcilloso
clay, boulder	arcilla rocosa
clay, glacial till	arcilla morena glacial
clay, homogeneous inorganic	arcilla inorgánica homogénea
clay, organic	arcilla orgánica
clay, silty	arcilla limosa
clay, slightly organic	arcilla ligeramente orgánica
clay, stiff glacial	arcilla glacial endurecida
claystone, massive	roca arcillosa masiva

clearing width	ancho de limpeza
clogged (with debris)	azolvada
coal	carbón
cobbles; pebbles	guijarro
cobblestone	empedrado
cohesion	cohesión
collapse, sinking (as in a landslide)	hundimiento
collecting and interpreting data	recolección e interpretación de datos
column	columna
compact	compacto; apisonada
compaction	compactación
compactive force (effort)	esfuerzo de compactación
compactor	apisonador
compactor (vibratory)	compactador vibratorio
comparing alternatives	comparación de alternativas
compressive strength	resistencia a la compresión
concrete	concreto
concrete block surfacing	adoquín
concrete, reinforced	hormigón (reforzado)
cone penetrometer	penetrómetro de cono
confining pressure	presión de confinamiento
contour	contorno; curvas de nivel
controlled burn	quema prescrita o controlada
corrugated metal pipe (CMP)	tubería de metal corrugado
counterfort	contrapeso; contrafuertes
cove	ensenada
covering; armoring	revestimiento
cracking (as in pavement)	agrietamiento
cracks	grietas
craggy; rocky	peñascoso
creek; ravine	quebrada
cribwall	muro encribado
crops	cultivos
cross-ditch	contra cuneta

cross-drain; transversal drain	desagüe transversal; zanja
cross-section	sección transversal
cross-slope (of roadway)	peralte; pendiente de la ladera
crossing	travesía
crown (on a road)	bombeo
crown (proper)	bombeo debido
crowned	con corona o coronado
crush, to	machacar; triturar; aplastar
crushing strength	resistencia al aplastamiento
culvert (general drainage structure)	alcantarilla
curve radius	radio de curva
curves; bends (in a road)	curvas
cut failure	falla de corte
cutoff wall	muro de guardia
cuts/fills	cortes/rellenos; desmonte/terraplén
cutslope	corte de talud; corte
cutslope angle	ángulo de talud
cutslope ratio	inclinación de corte; ángulo de talud
cutting, live branch	recortes vivos
cuttings (general, woody material)	recortes

♦♦ *D* ♦♦

dam	presa
dampen	humedecer
debris	arrastre; desechos; escombros
debris flow	corriente de desechos
debris flow; mud flow	flujo de lodo
debris slide	flujo de detritos (rocoso)
decision maker	tomador de decisiones
decomposed rock	roca descompuesta
deflection	desviación
deflector	desviador
degree	grado
degrees of an angle	gradiente; grados de un ángulo

delays	demoras
density	densidad
design	diseño
design of the alternatives	diseño de alternativas
dewater	des aguar; desecar
diagram	diagrama
dike	dique
dimensioning; setting moments	acotamiento
diorite	diorita
dip (drainage structure)	badén; desagüe
dip (geological structure)	buzamiento
discharge	descarga
displacement	desplazamiento
dissipater, energy	disipador de energía
ditch (a designed road ditch, longitudinal)	cuneta
ditch (general)	cuneta; zanja; trinchera
diversion	desviación; desvío
dock	muelle
dolomite	dolomita
down stream	aguas abajo; río abajo
downcutting	erosión descendente
downdrain downspout	tubo de bajada
drain (cross drain)	desagüe transversal
drain (from where water drains, general)	desagüe
drainage	drenaje
drainage (structure, water diversion)	estructura de drenaje
drainage material (filter)	filtro; material de drenaje
drainage structures of wood or stone	copantes
drainage works (general)	alcantarillas; drenaje
drill, to; a drill	perforar o barrenar; perforadora
drop inlet	boca de caída; entrada en pozo
drought	sequía
durability	durabilidad; duradero
duration (of rainfall)	duración de lluvia
dust, to	empolvar

•• E ••

earth pressure	presión de tierra
earthquake	terremoto
earthwork	terraplén; movimiento de tierra; terracería
earthwork haul	acarreo
edge	orilla; risco; canto; borde; arista
edges of the road	orillas de carretera
effect, cumulative	efecto cumulativo
effect, direct	efecto directo
effect, indirect	efecto indirecto
effect, negative	efecto negativo
effect, positive	efecto positivo
effective stress (envelope)	esfuerzo efectivo (envolvente de)
elastic limit	límite de elasticidad
elevation difference or drop in embankment	desnivel terraplén
embed, to; embedded	empotrar o incrustrar; empotrado
end dumping	vaciando por el extremo
end view	vista del extremo
ends (of an object)	extremos
energy dissipater	disipador de energía
engineer	ingeniero
environment	ambiente
environment	medio ambiente
Environmental Analysis (EA)	Evaluación Ambiental (EA)
environmental consequences	consecuencia ambiental
environmental impact	impacto ambiental
Environmental Impact Assessment	Análisis de Impacto Ambiental
environmental procedures	procedimientos sobre el medio ambiente
equipment	equipo
erosion	erosión
erosion, gully	erosión en cárcavas
erosion, rill	erosión en canales

erosion, sheet	erosión laminar
erosion, wind	erosión eólica
evaluating effects	evaluación de efectos
evaluation criteria	criterio de evaluación
excavation	excavación
eyeball (like in making an estimate or guess)	ojo metrico

♦♦ *F* ♦♦

facing (wall)	fachada (de muro)
failure plane	falla superficial; plano de fracasa; plano de deslizamiento
failure, cut/fill	falla de corte; falla de relleno
fastener; anchor	sujetador
fault zone	zona de falla; zona fallada; zona de dislocación
fault; failure	falla
fence	cerco
fence off	encerrar
fill	relleno; terraplén
fill failure	deslizamiento de relleno; falla de relleno
fillslope	pendiente de relleno
filter blanket	capa de filtro; colchón filtrador
filter material	material filtrante; filtro
final grade	rasante final
fish corridor	corredor de peces
fish passage	corredor de peces
fissured rock	roca agrietada
flared; beveled	achaflanado
flat	plano
flatten the crown	aplastar el bombeo
flood	crecida; inundación
flood plain	llano de inundación; área de innundación
flow	caudal; flujo
foothill	cerrito

footing	embasamento; cimentación
forb	hierbajo; hierbazol
forces	fuerzas
Foreign Assistance Act	Ley de Ayuda al Exterior
formation	formación
foundation	cimiento; fundación
freeboard	borde libre
French drain	drenaje francés
friction	fricción
friction angle	ángulo de fricción
full and open disclosure	revelación completa

♦♦ G ♦♦

gabion	gavión
gauging station	limnígrafo
geocomposite (drain)	geocompósito (drenaje)
geogrid	georejilla
geologist	geólogo
geology	geología
geomorphology	geomorfología
geonet	geomalla
geotechnical	geotécnico
geotextile	geotextil; geotela
girders	vigas maestras
global stability	estabilidad global
gneiss schist	esquisto gnéisico
goal	meta
gradation	graduación
gradation	graduación
grade (% or degree)	pendiente
grade stabilization structure	estructura para estabilización de nivel de desagüe
graded (well)	graduado (bien)
gradeline	rasante
gradient, slope	gradiente

grading	granulometría
grading (earthwork)	nivelación
granite	granito
grass	gramínea; grama
gravel	grava
gravel, clayey	grava barrosa
gravel, course	grava burda o gruesa
gravel, poorly graded clean	grava limpia no muy bien graduada
gravel, sandy	grava arenosa
gravel, silty	grava limosa
gravel, well graded clean	grava limpia bien graduada
grid roller	compactador de parrilla
grid; netting (as in plastic or rope netting)	malla
ground slope	pendiente de la ladera
ground water table	manto acuífero; manto freático
groundwater	agua subterránea; agua freático
groundwater level	nivel freático
grout (cement)	lechada (de cemento)
guidelines; rules	normas; reglas
gully	cárcava
gunite	gunita; mortero de cemento; fachada de concreto

♦♦ *H* ♦♦

hard hoof; horse shoe	herradura
hardpan	capa dura; tosca
hardpan	tosca, tépetate, capa dura
hay/straw bales	pacas de paja; fardos de heno
haze	bruma
headcut	corte de cabecera
headcut structure	estructura de cabecera
headwall	muro cabecera; muro cabezal; muro de remate
hedge (barrier)	barrera
height of a cutslope	altura del talud

high water (mark)	marea alta (línea)
highway	carretera
hillside; hillslope	ladera
hilly	quebrado; montañoso
hinges	visagras; uniones
homogeneous	homogéneo
horizontal curve	curva horizontal
horizontal drain	drenaje de penetración transversal; subdren horizontal
horizontal earth pressure	presión de tierra horizontal
hydraulic	hidráulico
hydraulic radius	radio hidráulico
hydrology	hidrológico
hydrostatic pressure	presión hidrostático

♦♦ *I* ♦♦

identifying the project	identificación del proyecto
implementing and monitoring	implementación y seguimiento
inclination (slope of natural ground)	inclinación
inclined	inclinado
inlet	ensenada
inlet structure	caja de entrada
inslope	peralte hacia adentro
instability	inestabilidad
intensity (of rainfall)	intensidad de lluvia
inter-planting rock and vegetation	vegetación sembrada entre piedras
interdisciplinary team	equipo interdisciplinario
interlocking	enclavamiento
irrigation	riego
issue	asunto
issue, key	asunto clave

♦♦ *J* ♦♦

♦♦ *K* ♦♦

key (for scour control)	dentellón
knoll	loma

♦♦ *L* ♦♦

labor (manual)	mano de obra
land; terrain	terreno
landforms	formas de terreno
landscape	paisaje
landslide	derrumbe; deslizamiento
lane	carril
large ditch; gorge	zanjón
laydown (of materials)	colocación
layer (a layer on top of something)	capa
level	nivel
level shallow berm, slight terrace (not benched)	zurco
level, to; smooth, to	aplanar
lift thickness	espesor de capa
limestone	caliza; piedra calcárea
live fascine (wattling)	bultos de ramas
live stakes	estacas vivas
location (of a road)	ubicación (de un camino)
low water crossing	travesía de agua bajo nivel; badén

♦♦ *M* ♦♦

management	manejo; gestión
marble	mármol
masonry	mampostería
mass	masa
mattress/splash apron; cushion	colchón (de agua)
maximum density	densidad máxima
meadow	pradera
medium plasticity	plasticidad media

mitered (culvert) to the slope	cortada a basel
mitigation	mitigación
mitigation measure	medida de mitigación
mixed grain size	mezcla de granos
moisture content	contenido de humedad
monitor	monitoreo
monitoring	monitoreo; seguimiento
mud flow; debris flow	flujo de lodo
mud; sludge	lodo; barro; fango
mulch (general)	cubierta retenedora de humedad
mulch, stubble	cubiertas de rastrojos
multiple culvert pipes	batería de tubos

♦♦ *N* ♦♦

narrow	estrecho
National Environmental Policy Act	Ley Nacional de Política Ambiental
natural ground slope	pendiente natural; talud de relleno
natural resources	recursos naturales
nomogram	nomograma
nursery	vivero

♦♦ *O* ♦♦

office work	análisis de gabinete
opening	abertura
opportunity	oportunidad
optimum moisture content	contenido óptimo de humedad
orchard	huerto
outcrop	afloramiento
outslope	peralte hacia afuera
overbuilding	sobredimensionamiento
overflow	derrame; rebosadero
overflow, to	rebalsar; desbordar
oversize	sobre tamaño

overtop	sobrepasar
overturning	volteamiento
overturning moment	momento de volteamiento o de vuelco

♦♦ P ♦♦

pass pattern (of a road grader)	patrón de pasadas
passive earth pressure	presión de tierra pasiva
pasture	pasto; pastura
path	sendero
paved roadway; causeway	calzada
paved roadway; causeway	calzada
pavement	pavimento
per cent	por ciento
percolate, to	colar (se); filtrar (se)
perforation	perforación; horadado
permeability	permeabilidad
phreatic surface	nivel fréatica
pier	pila
pier or dock	muelle
pile	pilote
pipe (culvert)	tubería
pipes (small)	tubos
pit run rock; pit run gravel	grava de banco de préstamo sin clasificar o en bruto
plan view	vista en planta
plane of weakness	plano de debilitamiento
plastic fines	finos plásticos
plasticity	plasticidad
pneumatic (tire) compactor	compactador neumático
pond; reservoir	estanque
pore pressure	presión de poros; presión hidrostática; presión de vacíos
pore water	agua dentro de los poros

porphyry	pórfido
pothole	bache; pozo de remolino
pressure	presión
profile	perfil
projecting pipe	tubo en voladizo
projections	salientes
proposed action	acción propuesta
public	público
public opinion	opinión pública
pulverize	desmenuzar; pulverizar
purpose	propósito
pyroclastics	piroclástica
pyroclastics, coarse	piroclástica gruesa

♦♦ *Q* ♦♦

quality control	control de calidad
quarry	cantera
quartzite	cuarcita

♦♦ *R* ♦♦

railing	barandilla
rainfall intensity	intensidad de lluvia
range; limits	gama; límites; rango
ravel	rava; desmoronarse
ravine	quebrada
rebar	varilla
reinforced concrete	concreto reforzado; concreto armado
reinforced fill	relleno reforzado
reinforcement (like rebar)	armazón
reinforcement bar	varilla de refuerzo
relief well	pozo de alivio
remix	volver a mezclar
reshaping	reconformación

resisting forces	fuerzas resistentes
resource specialist	especialista; experto
restraint (lateral)	restricción lateral
retaining structure	estructura de retención
retaining wall	muro de contención; pared
returns (like along side of road)	desvíos (al lado de un camino)
ridges	resaltos
righting moment	momento de enderezamiento o de adrizamiento
riparian	ribereño
riprap	enrocado; zampeado; enrocamiento
risk	riesgo
river channel	cauce
river or stream bank	ribera de río o quebrada
riverbed	lecho de río
road (arterial, collector or secondary road)	camino terciario
road (local, not passable by vehicle)	brecha
road (of access type)	camino (de acceso)
road (principal highway or road)	carretera principal
road (rural road)	camino rural
road bed	plataforma; lecho de la vía
road grade	pendiente
road surface	superficie del camino
roadway driving surface	superfecie de rodamiento; capa de rodamiento
roadway surface (compacted traveled way)	superficie de rodadura
rock	roca; piedra
rock drilling	perforación de roca
rock quarry	cantera
rock wall (no masonry or cement)	muro seco; muro de roca
rock, big (boulder)	balón; peña
rock, blocky	fractura en bloques; roca suelta
rock, broken (blasted) or crushed	roca quebrada (de voladura)
rock, crushed	piedra o roca triturada; roca machacada
rock, decomposed	roca descompuesta

rock, foliated metamorphic	roca metamórfica foliada
rock, hard igneous	roca ígnea dura
rock, hard sedimentary	roca sedimentaria dura
rock, highly argillaceous	roca con alto grado de arcilla
rock, igneous	ígneo
rock, in-place (ledge rock)	roca en banco; roca madre
rock, loose	roca floja
rock, massive crystalline	roca cristalizada masiva
rock, metamorphic	roca metamórfica
rock, soft sedimentary	roca sedimentaria blanda
rock, solid	roca fija o sólida
rock, sound	roca sana
rock, weathered	roca intemperizada
rock; stone	roca; piedra
rocked	empedrada; enrocado
rockfall	caída (de roca)
rocky	rocoso
rocky boulder/craggy	peñascoso
rolling grade	rasante ondulado
root (like a plant root)	raíz
root system	radiculares
rotational slide	hundimiento; derrumbe
rotational slope failure	falla rotacional
rough	áspero
rough spot	área mas áspera
roughness coefficient	coeficiente de rugosidad
runoff	corriente; escorrentía
rural road	camino rural
rut	huella; rodadura

♦♦ S ♦♦

safety barrier	poste de seguridad
sample (to gather samples)	coger muestras
sand	arena

sand, clayey	arena barrosa
sand, dense	arena compactada
sand, fine pyroclastics	arena piroclástica fina
sand, fine silty	arena limosa fina
sand, loose	arena suelta
sand, silty	arena limosa
sandstone	arenisca
sandstone, massive	arenisca masiva
scarifier	escarificador
scarify, to	escarificar
scoping	diagnóstico del projecto
scour	socavar (verbo); socavación; restrigar
screen (to sort rocks)	saranda para graduar la piedra
screen; sieve	tamiz; saranda; cedazo
seat (on a bridge structure)	asiento
section X-X'	corte X-X'
sectional view	vista seccional
sediment	sedimento
sediment basin	cámara de sedimentación
sediment trap	trampa de sedimientos
sedimentary	sedimentaria
seepage	filtración
semicircular arch	arco de medio punto
serpentine	serpentina
settlement	asentamiento; asiento
settling basin	cámara de decantación
shale	lutita; esquisto
shale, compaction	lutita de compactación
shear	esfuerzo cortante
shear failure	falla por esfuerzo
shear zone	zona de fallas menudosa; zona de cizallamiento
sheeps foot roller	aplanadora de pie de cabra o patecabra

sheet pile	tablestaca; pilotes de palastro
shore	ribera
shoulder (of road)	hombro (de camino)
shrink (in earthwork)	disminución, contracción
Shrink Swell Factor	Factor de Disminución o Hinchamiento
shrink/swell	disminución/hinchamiento
shrub; bush	arbusto
side slopes	laderas
sidewalk	banqueta
sieve (for soil gradation)	tamiz
sieve analysis	análisis de tamiz o cedazo
sight distance	distancia de visibilidad
sign (to sign something, like road sign)	letrero
signing (as in road signs)	señalización (como rotulación de caminos)
silt	limo
silt fence	cerca de protección de limo; protector de sedimento
silt, clayey	limo barroso
silt, fine	limo fino
silt, friable	limo friable
silt, inorganic	limo inorgánico
silt, varved	limo estratificado
silted up; obstructions	azolvos
siltstone	roca limosa
skew	esquivaje
slab	losa
slash	desecho vegetal
slash windrow	barrera de desechos vegetales; camellón
slate	pizarra
slide (like landslide)	derrumbe; deslizamiento
slide stabilization	estabilización de derrumbe
sliding	deslizamiento
sliding force	fuerza de deslizamiento

sliding resistance	resistencia a deslizamiento
sliding wedge	cuña deslizante
slipping (like soil slipping)	deslizamiento
slope (% or degrees) of inclination	pendiente; inclinación
slope (like along road side)	talud
slope (natural ground)	ladera; cuesta
slope (steep)	cuesta inclinada; empinada o pronunciada
slope angle	ángulo; pendiente; inclinación; declive
slope rounding	redondeando el talud
sludge	lodo; barro
slump	asentamiento
smooth (to)	suavizar
soft	suave
soil	suelo
soil (clay loam)	franco arcilloso
soil (loam)	tierra franca o marga
soil (loamy sand)	arena franca
soil (sand)	arena
soil (sandy clay loam)	franco arcillo arenoso
soil (sandy clay)	arcillo-arenoso
soil (sandy loam)	franco arenoso
soil (silt loam)	franco limoso
soil (silt)	limo
soil (silty clay loam)	franco arcillo limoso
soil (silty clay)	arcillo limoso
soil arching	arqueamiento de suelo
soil classification	clasificación de suelo
soil creep	flujo de suelo lento; reptación
soil depth	profundiad de suelo
soil mantle	manto de suelo
soil mechanics	mecánica de suelos
soil, acid	suelo ácido
soil, alluvial	suelo aluvial
soil, calcareous	suelo calizo

soil, clay	suelo arcilloso
soil, clayey	suelo barroso
soil, coarse	suelo grueso
soil, coarse grained	suelo de grano grueso
soil, coarse rocky gravely	suelo guijoso rocoso grueso
soil, colluvial	suelo coluvial
soil, degraded	suelo deslavado
soil, fine	suelo fino
soil, fine granite	suelo de partículas finas de granito
soil, loose	suelo suelto o flojo
soil, mica rich	suelo rico en mica
soil, moderately weathered	suelo moderadamente intemperizado
soil, top	suelo superficial o vegetal
soil, very coarse	suelo muy grueso
soil, very fine	suelo muy fino
soil, very weathered	suelo muy intemperizado
soil, alkaline	suelo alcalino
solid rock	roca sólida
specific gravity	gravedad específica
specific weight	peso específico
specifications	especificaciones
spillway	vertedero; vertiente
splash apron	gabacha
spoils; waste	desperdicio
spread (like spreading gravel)	esparcir
spread footing	zapata; cimiento con retallo; cimiento ensanchado
spring (i.e. water running)	manantial
spring (where water exits ground)	nacimiento de agua
sprout (from vegetative cuttings)	sauco; chilca; limoncillo
spur dike; jetty	espigón
stabilized construction entrance	entrada estabilizada
stabilized ditch	cuneta revestida
stabilizers	estabilizantes
stairs (stepped cut)	gradas

standard penetration test (STP)	prueba de penetración estándar
standards (design)	estándares (de diseño)
steel	acero
steel (reinforcing)	acero
steep	empinado
steep slope	pendiente empinada
steps	escalonamiento
stiffness	rigidez
stilling basin (pool)	estanque amortiguador
stone; rock	piedra; roca
storm drain	desagüe de agua pluvial
strain	tensión, extensión
strain (volumetric)	deformación
stratum	capa; estrato
stratum; slab	laja
straw bale dike	dique de paca de paja
straw/hay bales	paca de paja
stream	quebrada; riachuelo
stream flow	caudal del río; gasto
streambank	ribera u orilla de quebrada
streambed	lecho de quebrada; lecho de la corriente
strength	resistencia; fuerza
stress	peso; tensión; esfuerzo
structural support	valor soporte
structure	estructuras
subdrainage	subdrenaje
subgrade	subrasante
submerge, to	sumergir; anegar
subsoil	subsuelo
subsurface	subsuperficial; subterránea
subsurface drain	subdren; desagüe inferior
subsurface water	agua freática
subterranean	subterráneo
superstructure	super estructura

surcharge	sobrecarga
surface runnoff	escurrimiento superficial
surface treatment	tratamiento
surfacing armoring (like with gravel)	revestimiento
survey (for a road)	levantamiento
swale	canal de desagüe; bajial; bajío
swamp; marsh	pantano; cenagal
swampy	cenagoso
swell (in earthwork)	hinchamiento, aumento
switchback	gancho; switch

◆◆ T ◆◆

tamp; ram; compact	apisonar
tapered	afilado; estrechado
team leader	líder del equipo (o del equipo interdisciplinario)
team, core	equipo núcleo
team, non-core	equipo extraordinario
tensile strength	resistencia a la tensión o a la tracción
tensile stress	esfuerzo de tensión o de tracción
terrace	terraza
terrace (slight, not benched)	zurco
terracing	escalonamiento
thickness	espesor
through cut	corte en ventana; corte en talud
through fill	sección de relleno
tilt	inclinación
time of concentration	tiempo de concentración
toe of cut to top of fill	lecho
traffic	tráfico
traffic control device	dispositivo de control de tráfico
trail	brecha; sendero
training	capacitación
transitional slope failure	falla translacional

translational slide	deslizamiento traslacional
transportation	acarreo; descalce
transversal drain	zanja
trash (debris) rack	rejilla contra basura; percha de desechos; parrilla
traveled way; traffic way	vía de tráfico
trench	zanja
trial; test	prueba
turnout	punto de rebase; retorno; cambia vía
turnpiked road	carretera troncal
typical section	sección típica

♦♦ *U* ♦♦

unconsolidated rock	roca suelta (floja)
underbrush; thicket	matorral
undercut; undermine	socavación
underdrain; subdrain	subdren; zanja; drenaje vertical
undermine, to	socovar; minar
Unified Soil Classification System (USC)	Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (USC)
uniform grain size	tamaño de grano uniforme
unit weight (dry)	peso unitario (seco)
United States Agency for International Development (AID)	Agencia para el Dessarrollo Internacional de EE.UU. (AID)
upstream	aguas arriba; río arriba
USDA-Forest Service	Servicio Forestal de EE.UU.

♦♦ *V* ♦♦

vegetation barriers	barreras vegetativas; barreras vivas
vertical curve	curva vertical
vertical earth pressure	presión de tierra vertical
void ratio	relación de huecos
voids	vacíos; huecos
volume	volúmen

◆◆ W ◆◆

wall (retaining)	muro de rentención
washboards	ondulaciones
washed out (area)	desgastada
washout (like in erosion)	deslave
waste material	desperdicio
waste rock	roca estéril; escombros
water diversion	desagüe
water flow, current	corriente
water pressure	filtración (fuerza de)
water swirl	remanso
water truck	camión tanque para agua
waterbar	camellón; desviador de agua; cabellón
waterproof	impermeable; hidrófugo
watershed	cuenca
waterway	vía fluvial de agua
wattling (live fascine)	bultos de ramas
wear down; abrade	desgastar
wearing course	capa de desagaste o de defensa
wearing surface	capa de rodamiento
weathering	meteorización; intemperización
weight	peso
weir	vertedero
welded volcanic tuff	tofa volcánica soldada
welded wire wall	muro de malla de alambre soldado
well (like water well)	pozo
well graded	bien graduado
wetted perimeter	perímetro mojado
wheel track	rodada
windbreak	cortina de rompeviento
windrow	camellón; barrera de vegetación; caballete
wing	ala
wingwall (on bridge)	alecón; alero; muro alero

♦♦ *X* ♦♦

♦♦ *Y* ♦♦

yield point	límite de elasticidad o de deformación
yielding	rendimiento

♦♦ *Z* ♦♦

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIA CITADA POR CAPÍTULO

	Número de Referencia
Capítulo 1.	
Capítulo 2.	4, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 33, 34, 35, 42, 59, 71, 75, 76.
Capítulo 3.	3, 31, 38, 48, 52, 58, 60, 67, 68, 73, 88.
Capítulo 4.	10, 24, 55, 64, 69.
Capítulo 5.	11, 16, 26, 36, 46, 55, 56, 63, 82, 69.
Capítulo 6.	1, 28, 39, 47, 58, 59, 74.
Capítulo 7.	17, 70, 84.
Capítulo 8.	27, 57, 69, 83.
Capítulo 9.	5, 16, 23, 27, 49, 50, 52, 55, 58, 60, 62, 64, 65, 69, 73, 74, 83.
Capítulo 10.	15, 18, 19, 26, 29, 35, 40, 44, 45, 51, 53, 54, 58, 60, 61, 66, 77, 85, 87, 89.
Capítulo 11.	6, 7, 10, 14, 23, 25, 37, 41, 42, 43, 62, 64, 72, 75, 78, 79, 80, 81.
Capítulo 12.	25, 72, 78, 80, 81, 86.
Capítulo 13.	2, 8, 9, 23, 32, 46, 58, 60, 90.

FUENTE

1. AASHTO. 1992. Standard Specifications for Highway Bridges. 15th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA.

2. AASHTO. 1990. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. 15th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA.

3. AASHTO. 1984. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., USA.

4. Altieri, Miguel. 1988. Proyectos Agrícolas en Pequeña Escala en Armonía con el Medio Ambiente- Pautas para Planificación (Environmentally Sound Small Scale Agriculture Projects a Guidelines for Planning). Coordination Development (CODEL) Inc., y Volunteers in Technical Assistance (VITA). Arlington, VA., USA.

5. American Iron and Steel Institute. 1993. Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products. Fourth Edition. Washington D.C., USA.

6. Aminoto, P. 1978. Erosion and Sediment Control Handbook. EPA 440/3-78-003. California Division of Mines and Geology. Sacramento, California, USA.

7. Arledge, Jerome E.; L. Chang-Navarro L.; y A. Vasques Villanueva. 1985. Manual Técnico de Conservación de Suelos. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Aguas, Suelos e Irrigaciones. Programa Nacional de Conservación de Suelos y Aguas en Cuencas Hidrográficas. Convenio Perú-AID No. 527-0220. Lima, Perú.

8. Asphalt Institute. 1983. Principles of Construction of Hot Mix Asphalt Pavements, Manual Series No. 22 and A Basic Asphalt Emulsion Manual, Manual Series No. 19. Second Edition. The Asphalt Institute. College Park, Maryland, USA.

9. Asphalt Institute. 1979. Asphalt Surface Treatment and Asphalt Penetration Macadam. Manual Series No. 13. The Asphalt Institute. College Park, Maryland, USA.

10. Association of Bay Area Governments. 1981. Manual of Standards for Erosion and Sediment Control Measures. San Francisco, California, USA.

11. Barnes, Jr., H. 1967. Roughness Characteristics of Natural Channels. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1849. U.S. Government Printing Office. Washington D.C., USA.

12. BioConsult S. de R.L. e IRIS Environmental Systems. 1994. Manual de Impactos Ambientales para Caminos Rurales. Proyecto de Mantenimiento de Caminos Rurales, Contrato No. 522-0334-C-003353-0. Tegucigalpa, Honduras, C.A.

13. Black, Peter. 1990. Environmental Impact Analysis. State University of New York, Syracuse.

14. Blackmore, John. 1962. Watershed Management. Forestry Occasional Paper No. 13. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

15. Burroughs, E.; G. Chalfant; y M. Townsend. 1976. Slope Stability in Road Construction. U.S. Department of Interior, Bureau of Land Management. Portland, Oregon, USA.

16. Cedergren, H.R. 1977. Seepage, Drainage and Flow Nets. Second Edition, John Wiley & Sons. New York, N.Y., USA.

17. Coghland, G. y N. Davis. 1979. Low Water Crossings. Transportation Research Record 702. Transportation Research Board, National Research Council. Washington D.C., USA.

18. Duncan, J.M. y A. Buchignani. 1975. An Engineering Manual for Slope Stability Studies. Department of Civil Engineering, University of California. Berkeley, CA, USA.

19. Driscoll, Dave. 1979. Retaining Wall Design Guide. U.S. Forest Service, Region 6. Portland, Oregon, USA.

20. Environmental Protection Agency (EPA). 1993. Principles of Environmental Assessment- An International Training Course. U.S. Environmental Protection Agency, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

21. Ffolliot, Peter F. y J.L. Thames. 1987. Proyectos Forestales a Pequeña Escala Ambientalmente Seguros. Coordination Development (CODEL) Inc., y Volunteers in Technical Assistance (VITA). Arlington, VA., USA.

22. Forbes, Reginald D. 1961. Forestry Handbook. The Ronald Press Company. New York, USA.

23. García L., Manuel. 1991. Manual de Protección Geotécnica y Ambiental - Oleoducto Vasconia-Coveñas. Oleoducto de Colombia. Segunda Edición. Bogotá, Colombia, S.A.

24. García, Luis E. 1965. Curvas de Intensidad de Lluvia. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria, Escuel de Ingenieria Civil. Guatemala, Guatemala, C.A.

25. Gray, Donald H. y A.T. Leiser. 1982. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Kreiger Publishing Company, Malabar, Florida.

26. Harr, Milton 1962. Ground Water and Seepage. MacGraw Hill Book Co. New York., New York, USA.

27. Herr, L. 1965. Hydraulic Charts for the Selection of Highway Culverts, Engineering Circular Number 5. Bureau of Public Roads. Washington D.C., USA.

28. Highway Research Board. 1970. Scour at Bridge Waterways. NCHRP No. 5. Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., USA.

29. Hoek, E. y J. Bray. 1981. Rock Slope Engineering. Third Edition. Institute of Mining and Metallurgy. London, England.

30. Hough, R. 1957. Basic Soils Engineering. Ronald Press. New York, New York, USA.

31. Instituto Panamericano de Carreteras. 1993. Caminos, Tercer Trimestre 1993. Federal Highway Administration Publication No. FHWA-HI-93-059. Washington D.C., USA.

32. Instituto Panamericano de Carreteras. 1994. Caminos, Cuarto Trimestre 1994. Federal Highway Administration Publication No. FHWA-HI-94-064. Washington D.C., USA.

33. Jansson, Anders H.H. 1995. Environmental Impact Assessment of Low-Volume Roads. IN: Transportation Research Board. 1995. Conference Proceedings 6. Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Volume 1. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington D.C., USA.

34. Jones, Geoffrey T. 1993. A Guide to Logging Aesthetics. Northeast Regional Agriculture Engineering Service, Cooperative Extension. Ithaca, New York, USA.

35. King, Allen y R. Ramírez. 1987. Evaluación Preliminar de Riesgos de Derrumbes en el Área de Tegucigalpa, Proyecto Región Central. SECPLAN, Organización de Los Estados Americanas, Tegucigalpa, Honduras.

36. Koerner, R. 1990. Designing with Geosynthetics. Second Edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.

37. Koninck, M.E. 1973. Gramíneas. Editorial Universitaria de Guatemala. Ciudad Guatemala, Guatemala.

38. Lantran, Jean Marie; J. Baillon; y J. Pagès. 1994. Road Maintenance and the Environment - Guidance for taking Care of Environment when Preparing and Carrying out Road Maintenance Activities (Contracting out Road Maintenance Activities: volume V). The World Bank, the Economic Commission for Africa and the Sahelian Operations Review Sub-Saharan Africa Transport Program. Africa Region, Technical Department, Environment and Sustainable Development Division, Sahel Department, Infrastructure Divison.

39. Laursen, E.M. y A. Toch. 1956. Scour around Bridge Piers and Abutments. Iowa Highway Research Board, Bulletin 4. Iowa, USA.

40. Leighton, F.B. 1986. Geomorphology and Engineering Control of Landslides. IN: Geomorphology and Engineering. Dowden, Hutchinson & Ross, New York, N.Y., USA.

41. Leiser, Andrew. 1988. Bioengineering and Erosion Control Practices, Course Notes. Department of Environmental Horticulture, University of California. Davis, CA., USA.

42. McDowell, William. 1993. Manual del Curso - Conservación de Suelos y Aguas, Mejorando la Productividad de las Alturas. Development Alternatives, Inc. (DAI). Bethesda, Maryland, USA.

43. Miller, Phillip S. 1995. Guía para la Identificación de Árboles Comunes para Técnicos Forestales de Guatemala. Cuerp de Pas, Ciudad Guatemala, Guatemala.

44. Mitchell, J.K. y W. Villet. 1987. Reinforcement of Earth Slopes and Embarkments. National Cooperative Highway Research Program Report 290. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA.

45. Mohney, J. 1994. Retaining Wall Design Guide. Second Edition. USDA-Forest Service, FHWA-FLP-94-006, Federal Highway Administration, Washington, D.C. USA.

46. Montalvo, José Roberto. 1993. Geosintéticos en Ingeniería. Polyfelt, Inc., Athens, GA., USA.

47. Neill C. 1973. Guide to Bridge Hydraulics. Project Committee on Bridge Hydraulics, Roads and Transportation Association of Canada. Toronto, Canada.

48. Oglesby, C. O. y M. Alternhofen. 1969. Economics of Design Standards for Low-Volume Rural Roads. National Cooperative Highway Research Program Report 63. Transportation Research Board, Washington D.C., USA.

49. Olivera B., Fernando. sf. Manual de Drenaje para Caminos Rurales. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. Mexico.

50. Packer, Paul E. y G.F. Christensen. 1977. Guides for Controlling Sediment From Secondary Logging Roads (Normas para el Control de Sedimentos en los Caminos Madereros Secundarios). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah and Northern Region, Missoula, Montana. U.S. Government Printing Office 1980-682-866/222. Washington D.C. USA. (este documento fue publicado en Inglés y traducido al Español como Apéndice de este documento).

51. Prellwitz, R.; T. Kohler y J. Steward. 1994. Slope Stability Reference Guide for National Forests in the United States. EM-7170-13. USDA-Forest Service Engineering Staff, Washington D.C., USA.

52. Quiñonez Lopez, Jorge. 1986. Estudio de Deterioro y Metodología para la Protección de Obras de Ingenería usados en Carreteras. Tesis, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Guatemala, Guatemala, C.A.

53. Royster, D. 1982. Landslide Remedial Measures. Geotechnical Engineering and Laboratory Operations. Tennessee Department of Transportation. Knoxville, Tennessee, USA.

54. Schuster, R. y R. Krizek (editors). 1978. Landslides Analysis and Control. Special Report No. 176. Transportation Research Board, National Research Council. Washington D.C., USA.

55. Searcy, J. 1965. Design Of Roadside Drainage Channels, Hydraulic Design Series Number 4. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington D.C., USA. (Reprinted Dec. 1973).

56. Searer, J. 1967. Use of Riprap for Bank Protection. Hydraulic Engineering Circular No. 11. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington D.C., USA. (Reprinted Dec. 1978).

57. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). sf. Manual para el uso de Gráficas Hidráulicas para el Diseño de Alcantarillas. Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Caminos, Mexico, D.F.

58. Secretaría de Estado en el Despacho de Communicaciones, Obras Públicas y Transporte (SECOPT). 1985. Manual para La Construcción de Caminos Rurales. Dirección General de Caminos, República de Honduras. Tegucigalpa, Honduras, C.A.

59. Seehorn, Monty E. 1992. Stream Habitat Improvement Handbook. Technical Publication R8-TP 16. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington D.C., USA.

60. SIECA (Secretaría Permanente del Tratado General de Integración Económica Centroamericana). 1974. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Alcantarillas y Puentes. Litografía ImpColor. Guatemala, Guatemala, C.A.

61. Sowers, George B. y G.F. Sowers. 1970. Introductory Soil Mechanics and Foundations. Third Edition. The Macmillan Company, Ltd, Toronto, Canada.

62. State of California. 1978. Erosion and Sediment Control Handbook. EPA 440/3-78-003. Department of Conservation, Resources Agency. Sacramento, CA. USA .

63. State of California. 1970. Bank and Shore Protection in California Highway Practice. California Division of Highways. Sacramento, CA., USA.

64. Tahoe Regional Planning Agency. 1978. Handbook of Best Management Practice, Lake Tahoe Basin Water Quality Managemente Plan, Volume 2. Tahoe Regional Planning Agency, California, USA.

65. Terrene Institute. 1994. Riparian Road Guide: Managing Roads to Enhance Riparian Areas. Environmental Protection Agency and USDA-Forest Service, Southwestern Region. Washington D.C., USA.

66. Terzaghi, K. y R. Peck. 1968. Soil Mechanics in Engineering Practice. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y., USA.

67. Tew, Howard C; L. Price; y L. Swift Jr. 1985. The Layman's Guide to Private Access Road Construction in the Souther Appalachian Mountains. Tennessee Valey Authority, USDA-Forest Service and USDA-Soil Conservation Service.

68. Transportation Research Board. 1978. Geometric Design Standards for Low-volume Roads, Compendium No. 1. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., USA.

69. Transportation Research Board. 1979. Roadside Drainage. Compendium No. 5. Transportation Research Board/National Academy of Sciences. Washington D.C., USA.

70. Transportation Research Board. 1979. Low-Cost Water Crossings. Compendium No. 4. Transportation Research Board/National Academy of Sciences. Washington D.C., USA.

71. The World Bank. 1994. Roads and the Environment: A Handbook. Report TWU 13. The World Bank Environmentally Sustainable Development Vice-Presidency and Transportation, Water & Urban Development Department Transport Division. Washington D.C., USA.

72. The World Bank. 1987. Vetiver Grass (*Vetiveria zizaniodes*) A Method of Vegetative Soil and Moisture Conservation. First Edition. Washington D.C., USA.

73. USDA-Forest Service. 1987. Road Preconstruction Handbook. Forest Service Handbook 7709.56. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA.

74. USDA-Forest Service. 1986. Drainage Structures Handbook, Forest Service Handbook 7709.56b. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington D.C., USA.

75. USDA-Forest Service. 1986. Soil and Water Conservation Handbook, Forest Service Handbook 2509.22. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington D.C., USA.

76. USDA-Forest Service. 1979. Manual para El Técnico Forestal del Caribe. Miscellaneous Report SA-MR 5. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Río Piedras, Puerto Rico, USA.

77. USDA-Forest Service. 1973. Transportation Engineering Handbook. Forest Service Handbook 7709.11, Supplement 19, Region 6, USDA- Department of Agriculture, Forest Service. Washington D.C., USA.

78. USDA-Forest Service. 1969. Land Treatment Measures Handbook, Forest Service Handbook 2509.11. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington D.C., USA.

79. USDA-Soil Conservation Service. 1992. Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction. Part 650 Engineering Field Handbook, Chapter 18. Washington D.C., USA.

80. USDA-Soil Conservation Service. 1977. Standards and Specifications for Soil Erosion and Sediment Control in Developing Areas. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Caribbean Area. San Juan, Puerto Rico, USA.

81. USDA-Soil Conservation Service. 1975. Standards and Specifications for Soil Erosion and Sediment Control in Developing Areas. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. College Park, Maryland, USA.

82. USDT-Federal Highway Administration. 1988. Geotextile Engineering Manual - Course Text (based upon FHWA Manual, Use of Engineering Fabrics in Transportation Related Applications). Washington D.C., USA.

83. USDT-Federal Highway Administration. 1985. Hydraulic Design of Highway Culverts, Hydraulic Design Series No. 5. Federal Highway Administration Report Number FHWA-IP-85-15. Washington D.C., USA.

84. USDT-Federal Highway Administration. 1982. Design and Construction of Low Water Stream Crossings. Federal Highway Administration Report Number FHWA-RD-82-163. Washington D.C., USA.

85. U.S. Navy. 1982. Soil Mechanics, Design Manual 7.1-Foundations and Earth Structures; Design Manual 7.2; and Soil Dynamics, Deep Stabilization, and Construction, Design Manual 7.3. Department of the Navy. Naval Facilities Engineering Command. Alexandria, VA., USA.

86. Valdarrama, L.; E. Montenegro; y J. Galindo. 1964. Reconocimiento Forestal del Departamento de Cundinamarco. Departamento Agrológico, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

87. Varnes, D.J. 1978. Slope Movement, Types and Processes. IN: Landslides - Analisis and Control. Special Report 176. Edited by R.L.Schuster & R.J. Krizek. Transportation Research Board. National Academy of Sciences. Washington D.C., USA.

88. Vides Tobar, Amando. 1981. Construcción de Carreteras, Volumen 2. Editorial Piedra Santa. Guatemala, Guatemala, C.A.

89. Wu, Johnathan. 1994. Design and Construction of Simple, Easy and Low Cost Retaining Walls - The Next Generation in Technology. Colorado Transportation Institute. Colorado Department of Transportation, USDA-Forest Service, and University of Colorado, CTI-UCD-1-94. Denver, CO., USA.

90. Yoder, E. and M. Witczak. 1975. Principles of Pavement Design. Second Edition. Wiley Interscience. New York, USA.

FUENTES DE TERMINOLOGÍA TÉCNICA Y DE ESPAÑOL-INGLÉS

1. Anderson, James R. [Red]. 1985. Diccionario de Terminología Forestal Inglés-Español (Dictionary of Forest Terminology Spanish-English). San Francisco Peaks Chapter, Southwestern, Society of American Foresters. Flagstaff, Arizona.

2. García Díaz, Rafael. 1983. Diccionario Técnico Inglés-Español. Editores Limusa Noriega, Mexico DF.

3. Kunkle, Samuel H. y J. Díaz. 1988. A Glossary of Terms in water Quality and Watershed Impacts. USDA-Forest Service, International Forestry Staff, Washington DC., USA.

4. Medina, Albin L. 1986. Glosario en Inglés-Español de Terminología usado en Forestales, Pastizales, Fauna Silvestre, Pesquería, Suelos y Botánica (An English-Spanish Glossary of Terminology Used in Forestry, Range, Wildife, Fishery, Soils, and Botany). USDA-Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM-152. Fort Collins, CO, USA.

5. Robb, Louis A. 1966. Diccionario para Ingenieros Español-Inglés e Inglés-Español (Engineers' Dictionary Spanish-English and English-Spanish) . Vigésima tercera impresión. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F. (también, Second Edition John Wiley & Sons Inc. New Yrok, New York).

6. Sagredo, José. 1972. Diccionarios Rioduero Geología y Mineralogía. Tercera Edición. Ediciones Rioduro. Madrid, España.

7. Saunier, Richard. s.f. Glossary of Environmental Terms Spanish/ English and English/Spanish. ACTION/Peace Corps. Washington D.C., USA.

Apéndice

Apéndice 1

Ejemplo de Curso Corto sobre Consideraciones Ambientales en el Diseño, Mejora y Mantenimiento de Caminos Rurales

EJEMPLO DE CURSO CORTO SOBRE CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN EL DISEÑO, MEJORA Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS RURALES

Objetivos:

1. Discutir los aspectos principales en el diseño e instalación de drenajes, control de erosión, selección de materiales, y diseño de puentes en caminos vecinales.

2. Realizar prácticas de campo en estudios ambientales y el diseno de drenajes y mejora de caminos vecinales.

Contenidos:

- métodos de diseño y planificación de drenajes para caminos vecinales
- efectos del diseño sobre el medio ambiente
- como diseñar los drenajes
- control de la erosión con uso de métodos vegetativos y estructuras
- uso de árboles, gramíneas, y arbustos para el control de erosión
- medición y monitoreo de la erosión del suelo
- importancia del mantenimiento de caminos rurales
- estabilización de cortes y rellenos
- uso de materiales y estabilización de suelos
- aspectos generales de diseño y ubicación de puentes
- introducción al proceso de estudios ambientales de AID

EJEMPLO DE CURSO CORTO SOBRE CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN EL DISEÑO, MEJORA Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS VECINALES

CALENDARIZACIÓN

Día 1

9:00 - 9:15	Inauguración
	Introducción del Curso
9:15 - 10:15	Parte I - Introducción al Proceso de Estudios Ambientales
10:15 - 10:30	Pausa
10:30 - 12:30	Parte II - Discusión de Principales de Drenajes y Control de Erosión en Caminos Rurales
12:30 - 14:00	Almuerzo
13:30 - 17:00	Parte II - Continuación

Día 2

7:00	Salida al campo
7:30 - 12:00	Parte III - Diseño y Control de Erosión, Ejemplo #1
12:00 - 12:30	Almuerzo campestre
12:30 - 18:30	Parte III Continuación Diseño y Control de Erosión, Ejemplo #1
18:30 - 21:00	Cena y Descanso
21:00 - 22:00	Resumen de las Actividades del Día y Presentación de Diapositivas (sobre ejemplos de erosión y su control)

Día 3

7:30	Salida al campo
7:30 - 13:00	Parte III - Drenajes y Sedimentación, Ejemplo Camino #2
13:00 - 14:00	Almuerzo campestre
14:00	Regreso a ciudad

Día 4 - 18 Nov.

6:00		Salida al campo
6:00	12:00	Parte III - Drenajes Menores y Mayores; Materiales - Ejemplo Camino #3
12:00	13:00	Almuerzo campestre
13:00	18:30	Parte III - Continuación Drenajes Menores y Mayores; Ejemplo Camino #3
18:30	21:00	Cena y Descanso
21:00	22:00	Resumen de las Actividades de Día y Presentación de Diapositivas

Día 5

7:30		Salir al campo
7:30	13:00	Parte III - Puentes; Drenajes y Control de Erosión, Ejemplo Camino #4
13 :00	14:00	Almuerzo campestre
14:00	17:00	Parte IV - Sumario del Curso
17:00		Regresar a ciudad

EJEMPLO DE CURSO CORTO SOBRE CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN EL DISEÑO, MEJORA Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS VECINALES

PARTE I - EL PROCESO AMBIENTAL DE AID

I Introducción al Proceso Ambiental de AID

PARTE II - DRENAJES Y CONTROL DE EROSIÓN PARA CAMINOS VECINALES

I Hidrología Aplicada en Drenajes Menores

- A. Método Racional

II Puentes y Drenajes Mayores

- A. Ubicación
- B. Consideraciones de Diseno
- C. Hidráulica e Hidrología

III Información General para Diseño Hidráulico

- A. Fórmula de Manning
- B. Tamaño de Roca para Protección de la Erosión
- C. Concepto de Filtros, Uso de Geotextiles y Subdrenajes

IV Uso de Nomogramas para Determinar Drenajes Menores

- A. Tubos Redondos
- B. Tubos Cuadrados
- C. Canales

V Travesías para Agua de Bajo Nivel (Badenes)

- A. Diseño
- B. Ejemplos de Estructuras Típicas

VI. Consideraciones Generales de Drenajes para Caminos Vecinales

- A. Instalación y Uso de Tuberías
- B. Control de Entrada y Salida de Agua de Drenaje
  1. Ubicación de Drenajes
  2. Control de Nivel y Velocidad
  3. Disipadores de Energía
  4. Protección de la Erosión
- C. Drenaje Superficial
  1. Diseno Geométrico
  2. Pendientes Máximas
  3. Peralte Hacia Afuera y Peralte Hacia Adentro
  4. Cambio de Pendiente
  5. Uso de Bordillos
  6. Zanjones y Drenajes Transversales
  7. Espaciamiento de Drenajes Transversales

Apéndice 2

Reglamentos Ambientales de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

CÓDIGO 22 CFR PARTE 216

REGLAMENTO AMBIENTAL.
AGENCIA PARA LA DESARROLLO INTERNACIONAL
DEL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS

CÓDIGO 22 CFR PARTE 216

REGLAMENTO AMBIENTAL. AGENCIA PARA LA DESARROLLO INTERNACIONAL DEL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS

A continuación aparece una traducción libre al español del documento en inglés "Part 216 - Environmental Procedures". Favor tomar nota que en el caso de existir discrepancia o ambigüedad entre los dos documentos, la versión redactada en idioma inglés prevalece.

Traducción de Licda. Silvia Ruiz Balsells
PDSO, AID/Guatemala

18 de Agosto de 1993

Revision Por:

Dr. Wayne T. Williams
Especialista Ambiental Regional

Ing. Abraham Guillen
Asesor Forestal

y

Ing Gerald P. Bauer
Especialista de Medio Ambiente
Componente de Conservación del Medio Ambiente
Programa de Caminos Rurales

CÓDIGO 22 CFR PARTE 216

REGLAMENTO AMBIENTAL. AGENCIA PARA LA DESARROLLO INTERNACIONAL DEL GOBIERNO DE LOS ESTADOS UNIDOS

Parte 216 - Procedimientos Sobre el Medio Ambiente Sección:

216.1 Introducción

216.2 Aplicabilidad de los Procedimientos

216.3 Procedimientos

216.4 Solicitantes Privados

216.5 Especies en Peligro de Extinción

216.6 Evaluaciones del Medio Ambiente

216.7 Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente

216.8 Audiencias Públicas

216.9 Estudios Bilaterales y Multilaterales y Breves Revisiones Sobre Asuntos Relacionados con el Medio Ambiente

216.10 Registros e Informes

Autoridad: 42 U.S.C. 4332; 22 U.S.C. 2381

Fuente: 41 FR 26913, del 30 de junio de 1976, a menos que se especifique lo contrario.

216.1 INTRODUCCIÓN

(a) *Propósito*

De acuerdo con las Secciones 118 (b) y 621 de la Ley de Ayuda al Exterior y sus enmiendas (FAA por sus siglas en inglés), los siguientes procedimientos generales deberán ser utilizados por A.I.D. para asegurar que factores y valores ambientales sean integrados dentro del proceso de toma de decisiones de A.I.D. Estos procedimientos a la vez asignan responsabilidades dentro de la Agencia para evaluar los efectos en el medio ambiente ocasionados por las acciones de A.I.D. También estos procedimientos están de acuerdo con la Orden Ejecutiva 12114, emitida el 4 de enero de 1979 y titulada Efectos en el Medio Ambiente de otros Países que Tienen las Principales Acciones del Gobierno de los Estados Unidos, y con los propósitos de la Ley Sobre Políticas Nacionales para el Medio Ambiente (NEPA por sus siglas en inglés) y sus enmiendas (42 U.S.C. 4371 y la siguiente). Su propósito es cumplir con los requisitos de NEPA según repercutan en el programa de A.I.D.

(b) *Política del Medio Ambiente*

Para cumplir con su mandado de mejorar el nivel de vida de las personas de escasos recursos, la A.I.D. lleva a cabo una gran variedad de actividades en los países en vías de desarrollo. Estas actividades están dirigidas hacia problemas básicos como: el hambre, la desnutrición, la sobrepoblación, las enfermedades, los desastres, el deterioro del medio ambiente y de la base de los recursos naturales, el analfabetismo y la falta de viviendas adecuadas y de transporte. De conformidad con la Ley de Ayuda al Exterior, A.I.D. proporciona asistencia para el desarrollo en forma de servicios técnicos de asesoría, de investigaciones, de capacitación, de construcción y de bienes. Además, A.I.D. lleva a cabo programas de acuerdo con la Ley de 1954 para la Asistencia Agrícola y el Desarrollo Comercial (P.L. 480), los cuales están diseñados para combatir el hambre y la desnutrición, así como para facilitar el desarrollo económico. Los programas de asistencia se llevan a cabo de acuerdo con la política exterior del Secretario de Estado y con la colaboración de los gobiernos de naciones soberanas. Dentro de esta estructura, la política de A.I.D. es:

(1) Asegurar que A.I.D. y el país anfitrión identifiquen y consideren las consecuencias que tendrán en el medio ambiente las actividades financiadas por A.I.D. Esto deberá hacerse antes de tomar la decisión de proseguir con las actividades para adoptar medidas adecuadas que protejan el medio ambiente;

(2) Ayudar a los países en vías de desarrollo a fortalecer su capacidad para que puedan apreciar y evaluar, en una forma efectiva, las posibles consecuencias que pudieran tener en el medio ambiente las estrategias y los proyectos de desarrollo propuestos; así como seleccionar, llevar a cabo y dirigir programas que sean efectivos para el medio ambiente;

(3) Identificar los efectos en el medio ambiente que sean resultado de las acciones de A.I.D., lo cual incluye aquellos aspectos de la biósfera que son patrimonio cultural común de toda la humanidad y

(4) Definir los factores ambientales que limitan el desarrollo e identificar y llevar a cabo actividades que ayuden a restablecer la base renovable de los recursos, de la cual depende el desarrollo sostenido.

(c) *Definiciones*

(1) Reglamento del Consejo Sobre la Calidad del Medio Ambiente (CEQ por sus siglas en inglés)

El reglamento promulgado por el Presidente del Consejo (Registro del Gobierno de los Estados Unidos, Volumen 43, Número 230, de fecha 29 de noviembre de 1978) de acuerdo con la autoridad de NEPA y con la Orden Ejecutiva 11514 titulada Protección y Mejora de la Calidad del Medio Ambiente (del 5 de marzo de 1970), según fuera modificada por medio de la Orden Ejecutiva 11991 (del 24 de mayo de 1977).

(2) Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente

El Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente es la primera revisión que se hace de los posibles efectos lógicos y previsibles que pudieran tener las acciones propuestas en el medio ambiente. Su propósito es presentar una breve exposición objetiva que sirva de base para la Recomendación Inicial, que determine si se requiere ya sea una Evaluación Ambiental o una Exposición del Efecto en el Medio ambiente.

(3) Resolución Inicial

La Resolución Inicial es la decisión oficial de la Agencia, basada en el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente que determina si una acción propuesta por la Agencia es de grandes consecuencias que afectará seriamente el medio ambiente.

(4) Evaluación Ambiental

La Evaluación Ambiental es un estudio detallado de los serios efectos, lógicos y previsibles, que ocasiona en el medio ambiente de uno o varios países extranjeros las acciones propuestas, las cuales pueden ser tanto beneficiosos como adversos.

(5) Exposición del Efecto en el Medio Ambiente

La Exposición del Efecto en el Medio Ambiente es un estudio detallado que incluye los efectos lógicos y previsibles, tanto positivos como negativos, que ocasionan en el medio ambiente las acciones propuestas por A.I.D. y las opciones lógicas para los Estados Unidos, para el medio ambiente global o para las áreas fuera de la jurisdicción de cualquier nación, según lo describe la Sección 216.7 de estos procedimientos. Es un documento especial con un formato y contenido determinado, según lo requiere NEPA y el Reglamento del CEQ. El formato y contenido requerido de una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente se describe con más detalle en la Sección 216.7 que aparece a continuación.

(6) Documento de Identificación del Proyecto (PID por sus siglas en inglés)

Un documento interno de A.I.D. que inicialmente identifica y describe los proyectos propuestos.

(7) Propuesta Inicial para el Programa de Asistencia (PAIP por sus siglas en inglés)

Un documento interno de A.I.D. que se utiliza para iniciar e identificar la asistencia propuesta que no sea proporcionada por medio de proyectos, lo cual incluye programas para la importación de bienes. Este documento es similar al PID.

(8) Documento Básico (PP por sus siglas en inglés)

Un documento interno de A.I.D. que da una descripción y evaluación definitiva del Proyecto, en especial de su plan o de su ejecución.

(9) Documento de Aprobación de Programas de Asistencia (PAAD por sus siglas en inglés)

Un documento interno de A.I.D. que aprueba la asistencia que no sea proporcionada por medio de proyectos. Este documento es similar al PP.

(10) Ambiente

Según se utiliza en estos procedimientos y con relación a los efectos que ocurran fuera de los Estados Unidos, el término ambiente significa el medio ambiente natural y físico. Véase la Sección 216.7 (b) con relación a los efectos que ocurran dentro de los Estados Unidos.

(11) Serios Efectos

Con relación a los efectos en el medio ambiente fuera de los Estados Unidos, una acción propuesta tiene serios efectos cuando el daño que ocasiona en el medio ambiente es grave.

(12) Pequeño Donante

Para propósitos de estos procedimientos, se considera que A.I.D. es un pequeño donante de un proyecto de múltiples donantes, cuando A.I.D. no controle la planificación o el diseño del proyecto de múltiples donantes, a causa que: (i) la contribución total de A.I.D. al proyecto sea tanto menor a la cantidad de $1,000,000 como inferior al 25% del costo estimado del proyecto o (ii) la contribución total de A.I.D. sea mayor a $1,000,000; sin embargo, inferior al 25 por ciento del costo estimado del proyecto y se hayan seguido los procedimientos ambientales del donante encargado de la planificación del diseño del proyecto; sin embargo, únicamente cuando el Coordinador del Medio Ambiente de la A.I.D. determine que dichos procedimientos son adecuados.

[45 FR 70244, del 23 de octubre de 1980]

216.2 Aplicabilidad de los Procedimientos

(a) *Alcance*

Con excepción de lo que estipula la Sección 216.2 (b), estos procedimientos se aplican a todas las actividades o proyectos nuevos, aprobados o autorizados por A.I.D.; así como también a enmiendas o ampliaciones considerables de proyectos, programas o actividades vigentes.

(b) Exenciones

(1) Se eximen del requisito de cumplir con estos procedimientos a los proyectos, programas o actividades que incluyan lo siguiente:

(i) Asistencia proporcionada durante desastres internacion-ales;

(ii) Otras situaciones de emergencia;

(iii) Circunstancias excepcionales relacionadas con temas delicados de la política exterior.

(2) Cada proyecto, programa o actividad que esté dispensado conforme a los párrafos (b) (1) (ii) y (iii) de esta sección requiere una resolución oficial y escrita que deberá incluir una exposición de la justificación; sin embargo, esto no lo requieren los proyectos, programas o actividades comprendidos en el párrafo (b) (1) (i) de esta sección. La resolución deberá ser emitida ya sea por el Administrador Asistente que tenga responsabilidad del programa, proyecto o actividad o por el Administrador, cuando le haya sido reservada la autoridad para aprobar el financiamiento. También la resolución deberá ser emitida después de consultar con el CEQ sobre las consecuencias que tendrá en el medio ambiente el programa, actividad o proyecto propuesto.

(c) *Exclusiones Categóricas*

(1) Los siguientes criterios han sido aplicados para determinar las clases de acciones incluidas en la Sección 216.2 (c) (2) para las cuales generalmente no se requiere un Análisis Inicial del Medio Ambiente, una Evaluación del Medio Ambiente y una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente.

(i) La acción no tiene ningún efecto en el medio ambiente físico o natural;

(ii) La A.I.D. desconoce los detalles de las actividades específicas que afectan el medio ambiente físico o natural, o no tiene ningún control sobre ellas y el objetivo de A.I.D. para dar la asistencia no requiere que se tenga este conocimiento o control, ya sea antes de la aprobación del financiamiento o de la ejecución de la actividad específica que tenga un efecto en el ambiente físico y natural, para la cual A.I.D. está dando el financiamiento.

(iii) Las actividades de investigación que pudieran afectar el medio ambiente físico y natural pero que no tengan un serio efecto a causa de un alcance limitado, de un cuidadoso control de la naturaleza y de una efectiva supervisión.

(2) Las siguientes clases de acciones no están sujetas a los procedimientos establecidos en la Sección 216.3, se exceptúa lo que por este medio se especifica:

(i) Los programas de educación, de asistencia técnica y de capacitación; se exceptúa cuando dichos programas incluyan actividades que directamente afecten el medio ambiente (como la construcción de medios de transporte etc.);

(ii) Los experimentos controlados que se llevan a cabo exclusivamente para propósitos de investigación y evaluación en el campo, que están limitados a pequeñas áreas y que son cuidadosamente supervisados;

(iii) Los análisis, estudios, reuniones y seminarios académicos o de investigación;

(iv) Los proyectos de múltiples donantes en los cuales A.I.D. es un pequeño donante, que no incluyan un efecto potencial serio para el medio ambiente de los Estados Unidos, para las áreas fuera de la jurisdicción de cualquier país o para las especies en peligro de extinción, amenazadas o que corra riesgo su habitat;

(v) La transferencia de documentos y de información;

(vi) Las contribuciones a organismos internacionales, regionales o nacionales que no sean para propósitos de llevar a cabo uno o varios proyectos específicos y determinados;

(vii) Las donaciones para el fortalecimiento institucional de instituciones de investigación y educativas en los Estados Unidos, según lo contempla la Sección 122 (d) y el Título XII del Capítulo 2 de la Parte I de la Ley de Ayuda al Exterior [22 USCA 2151 p. (b) 2220a. (1979)].

(viii) Los programas que incluyan nutrición, servicios de salud, población y planificación familiar; se exceptúa cuando su diseno incluya actividades que directamente afecten el medio ambiente (como la construcción de medios de transporte, de sistemas para el suministro de agua, del tratamiento de aguas servidas, etc.);

(ix) La asistencia proporcionada dentro de un Programa para la Importación de Bienes cuando, previo a su aprobación, la A.I.D. no tenga conocimiento de los bienes específicos a ser financiados y cuando el propósito para la provisión de dicha asistencia no requiera, en el momento en que se autoriza la asistencia, conocimiento ni control durante la ejecución, de los bienes o el uso que se les dará en el país anfitrión.

(x) El apoyo para las instituciones intermediarias de crédito cuando el objetivo sea ayudar a capitalizar a la institución o a parte de ella y cuando dicho apoyo no incluya la restricción del derecho de revisar y aprobar los préstamos individuales proporcionados por la institución;

(xi) Los programas de alimentación materna e infantil que lleva a cabo el Título II del PL 480;

(xii) Los programas de alimentación para el desarrollo que llevan a cabo los países que se benefician con el programa del Título II del PL 480, cuando para que dichos programas alcancen los objetivos de A.I.D. no se requiere el conocimiento de los detalles de las actividades específicas dentro del programa que lleva a cabo el país extranjero como tampoco su control;

(xiii) La asistencia general para igualar aportes y las donaciones para dar apoyo institucional que se proporcionan a las organizaciones privadas voluntarias (PVOs por sus siglas en inglés) para ayudar a financiar programas cuando el propósito de A.I.D. para proporcionar dicho financiamiento no requiere el conocimiento de los detalles de las actividades específicas llevadas a cabo por la PVO o su control;

(xiv) Los estudios, proyectos y programas con el propósito de desarrollar la capacidad de los países beneficiarios para involucrarse dentro de la planificación para el desarrollo, excepto al grado en que el diseño dé como resultado actividades que directamente afecten el medio ambiente (como la

construcción de medios de transporte, etc.) y

(xv) Las actividades que involucren la aplicación de criterios y normas de diseño desarrolladas y aprobadas por A.I.D.

(3) La persona que originó el proyecto, programa o actividad determinará el grado al cual el proyecto, programa o actividad se encuentra dentro de las clases de acciones descritas en el párrafo (c) (2) de esta sección. Esta determinación se hará por escrito y será presentada junto con el PID, PAID u otro documento similar. Además, esta determinación deberá incluir una breve justificación de la solicitud de exclusión y será revisada por el Oficial del Departamento del Medio Ambiente en la misma forma que la Resolución Inicial de la Sección 216.3 (a) (2) de estos procedimientos. No obstante el párrafo (c) (2) de esta sección, los procedimientos establecidos en la Sección 216.3 se aplicarán a cualquier proyecto, programa o actividad incluido en las clases de acciones enumeradas en el párrafo (c) (2) de esta sección o en cualquier elemento o componente de ella, si en cualquier momento durante el diseño, revisión o aprobación de la actividad se determina que el proyecto, programa o actividad - o elemento o componente de ella - está sujeto al control de A.I.D. y pueda tener un serio efecto en el medio ambiente.

(d) *Las clases de Acciones que Normalmente Tienen un Serio Efecto en el Medio Ambiente.*

(1) Se ha determinado que generalmente las siguientes clases de acciones tienen serios efectos en el medio ambiente y requieren una Evaluación del Medio Ambiente o una Descripción del Efecto en el Medio Ambiente, según sea adecuado:

(i) Los programas para el desarrollo de las cuencas de los ríos;

(ii) Los proyectos de riego o de control de aguas, lo cual incluye presas y embalses;

(iii) La nivelación de tierras para uso agrícola;

(iv) Los proyectos de drenajes;

(v) La mecanización agrícola a gran escala:

(vi) El desarrollo de nuevas tierras;

(vii) Los proyectos para nuevas colonizaciones

(viii) La construcción de caminos de penetración o proyectos de mejoras de caminos;

(ix) Las plantas generadoras

(x) Las plantas industriales

(xi) Los proyectos de agua potable y de alcantarillado que no sean a pequeña escala.

(2) Generalmente un Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente no será necesario para las actividades descritas en la Sección 216.2 (d), se exceptúa cuando la persona que origina el proyecto considere que éste no tendrá un efecto serio en el medio ambiente. En dichos casos, la actividad podría estar sujeta a los procedimientos que establece la Sección 216.3.

(c) *Pesticidas*

Las excepciones del párrafo (b) (1) de esta sección y las exclusiones categóricas del párrafo (c) (2) también de esta sección no se aplican a la asistencia para la compra o uso de pesticidas.

[45 FR 70244, del 23 de octubre de 1980]

216.3 Procedimientos

(a) *Procedimientos Generales*

(1) Preparación del Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente

Con excepción de lo que de otra forma se especifique, no se requiere un Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente para las actividades mencionadas en la Sección 216.2 (b) (1), (c) (2) y (d). Para todas las otras actividades de A.I.D. mencionadas en la Sección 216.2 (a), la persona que origina la acción preparará un Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente. Con excepción de lo que se indica en esta sección, deberá ser preparado con el PID o PAIP. Los proyectos que incluyan la compra o uso de pesticidas seguirán los procedimientos establecidos en al párrafo (b) de esta sección, además de acatar los procedimientos de este párrafo. Las actividades que no puedan ser definidas con detalles suficientes que permitan la preparación del Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente junto con el PID o PAID, deberán describirse e incluir lo siguiente con el PID o PAID: i) una explicación de la razón por la cual no puede ser preparado el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente; (ii) una estimación del tiempo requerido para preparar el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente y (iii) una recomendación para que se retrase la Resolución Inicial hasta que sea preparado el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente. El Administrador Asistente que sea responsable tomará en cuenta la solicitud de retraso junto con la acción necesaria del PID o PAIP y establecerá la fecha en que deberá entregarse el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente. Esta fecha de entrega deberá ser en todos los casos y con excepción a lo contemplado en el párrafo (a) (7) de esta sección, suficiente para que permita la terminación de una Evaluación del Medio Ambiente o de una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, si fuera requerida, antes de que se tome la decisión final de proporcionar financiamiento de A.I.D. para la acción.

(2) Resolución Inicial

(i) El Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente incluirá una Resolución Inicial la cual será preparada por el oficial de la oficina que origina y firma el PID o PAIP. Cuando el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente sea terminado antes del PID o PAIP o al mismo tiempo, la Resolución Inicial será revisada por el Oficial de la División del Medio Ambiente en el momento de la aprobación del PID o PAIP. El Oficial de la División del Medio Ambiente estará, ya sea de acuerdo con la Resolución Inicial o solicitará que el oficial que la preparó la reconsidere y deberá especificar las razones que tiene para tal solicitud. Las diferencias de opinión entre estos oficiales serán presentadas para su resolución al Administrador Asistente, en el momento en que el PID sea presentado para su aprobación.

(ii) El Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente preparado después de la aprobación del PID Y PAIP será inmediatamente enviado, junto con la Resolución Inicial, al Oficial de la División del Medio Ambiente para que se

tome la acción descrita en esta sección.

(iii) Una Resolución Inicial positiva se emitirá cuando se considere que la acción propuesta tenga un serio efecto en el medio ambiente. Se preparará una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente cuando lo requiere la Sección 216.7. Si no se requiere una Exposición del Efecto, se preparará una Evaluación del Medio Ambiente de acuerdo con la Sección 216.6. La oficina o agencia responsable emitirá una Determinación Negativa cuando la acción propuesta no tenga un serio efecto en el medio ambiente.

(3) Declaración Negativa

El Administrador Asistente o el propio administrador cuando las acciones requieran su aprobación para autorizar el financiamiento, podrán emitir una Declaración Negativa por escrito sobre que la Agencia no elaborará una Evaluación del Medio Ambiente o una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente con relación a una acción que se encontró tenía un serio efecto en el medio ambiente cuando:

(i) en el pasado se hubieran preparado una gran cantidad de Evaluaciones del Medio Ambiente o Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente relacionadas con actividades similares, siempre que sean apropiadas a la acción propuesta;

(ii) la Agencia hubiera anteriormente preparado una Exposición o Evaluación del programa que incluyera la actividad en cuestión, la cual hubiera sido considerada en el desarrollo de dicha actividad o

(iii) la Agencia hubiera desarrollado criterios de diseno para una acción similar que de aplicarse en el diseño de la acción evitaría que tuviera un efecto considerable en el medio ambiente.

(4) El alcance de la Evaluación del Medio Ambiente o Exposición del Efecto

(i) Procedimientos y Contenido. Después de emitir una Resolución Inicial Positiva o de haber llegado a la decisión que, de acuerdo con los procedimientos de pesticidas que establece el párrafo (b) de esta sección se requiere una Evaluación del Medio Ambiente o una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, la persona que origina la acción comenzará el proceso de identificación de los asuntos serios relacionados con la acción propuesta y la determinación del alcance de los asuntos a ser tratados en la Evaluación del Medio Ambiente o en la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente. La persona que origina una acción que se encuentre dentro de las clases de acciones que se describen en la Sección 216.2 (d) deberá iniciar este proceso para determinar el alcance, tan pronto como sea posible. Las personas que cuenten con experiencia en los aspectos de la acción propuesta relacionados con el medio ambiente deberán también participar en este proceso de determinación del alcance. (Los participantes podrán incluir a representantes del gobierno anfitrión, a instituciones públicas y privadas, a personal de la Misión A.I.D. y a contratistas; sin embargo, no estarán limitados a ellos.) Este proceso deberá dar como resultado una exposición que deberá incluir lo siguiente:

a. Una determinación sobre el alcance e importancia de los asuntos a ser analizados en la Evaluación o en la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente que incluyan los efectos del proyecto en el medio ambiente, directos e indirectos.

b. La identificación y eliminación del estudio detallado de los asuntos que no sean de importancia o que hayan sido incluidos en revisiones anteriores del medio ambiente o aprobado su diseño, limitando la consideración de estos asuntos a una breve presentación sobre la razón por la cual no tendrán un serio efecto que repercuta en el medio ambiente.

c. Una descripción de: (1) el tiempo necesario para preparar los análisis del medio ambiente, que incluya las fases cuando sea adecuado; (2) las variaciones requeridas en el formato de la Evaluación del Medio Ambiente y (3) la planificación tentativa y el programa para la toma de decisiones y

d. Una descripción de la forma como se llevará a cabo el análisis y las normas que regirán.

(ii) Estas exposiciones escritas serán revisadas y aprobadas por el Oficial de la División del Medio Ambiente.

(iii) Circulación del Alcance de la Exposición. Con el propósito de ayudar en la preparación de la Evaluación del Medio Ambiente, la División del Medio Ambiente podrá circular en oficinas seleccionadas del Gobierno de los Estados Unidos, copias de la exposición escrita, junto con una solicitud para comentarios escritos dentro de los próximos treinta días. Esto se hará cuando el Oficial considere que los comentarios serán de utilidad para la preparación de la Evaluación del Medio Ambiente. Los comentarios que se reciban de las agencias del Gobierno de los Estados Unidos serán tomados en consideración cuando se prepare la Evaluación del Medio Ambiente y cuando se diseñe y ejecute el proyecto y serán incluidos en el archivo del proyecto junto con el alcance de la exposición.

(iv) Cambios en la Resolución Inicial. Si fuera evidente que la acción no tuviera un efecto que repercutiera en el medio ambiente (por ejemplo, no ocasionará un daño considerable al medio ambiente), con la anuencia del Oficial de la División del Medio Ambiente podrá revocarse la Resolución Inicial Positiva. La solicitud de revocación en el caso de una acción incluida en la Sección 216.2 (d) (2) deberá ser hecha al Oficial de la División del Medio Ambiente.

(5) Preparación de las Evaluaciones del Medio Ambiente y de las Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente.

Si el PID o PAID es aprobado y la Resolución Inicial es Positiva o si la acción esta incluida en la Sección 216.2 (d), la persona que origina la acción será responsable de la preparación de la Evaluación del Medio Ambiente o de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, según se requiera. Los borradores de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente serán circulados para su revisión y comentarios como parte de la Revisión del PP, según se describe más ampliamente en la Sección 216.7 de estos procedimientos. Con excepción a lo que estipula el párrafo (a) (7) de esta sección, la aprobación final del PP o del PAAD y del método de ejecución incluirán consideraciones sobre la Evaluación Ambiental de la Exposición final del Efecto en el Medio Ambiente.

(6) Proceso de Revisión Dentro de A.I.D.

(i) Los Análisis Iniciales Sobre el Medio Ambiente, las Evaluaciones del Medio Ambiente y las Exposiciones Finales del Efecto en el Medio Ambiente serán elaboradas de conformidad con los procedimientos estándar de A.I.D. para

la aprobación de documentos para proyectos. Con excepción a lo que estipula el párrafo (a) (7) de esta sección, las Evaluaciones del Medio Ambiente y las Exposiciones Finales del Efecto en el Medio Ambiente serán revisadas como parte integral del PP o de un documento equivalente. Además de estos procedimientos, las Evaluaciones del Medio Ambiente serán revisadas y aprobadas por el Oficial de la División del Medio Ambiente. También podría ser necesario que fueran revisadas por el Coordinador del Medio Ambiente de la Agencia quien supervisará el proceso de Evaluación del Medio Ambiente.

(ii) Cuando la autoridad para la aprobación de un proyecto sea delegada a las Misiones, las Evaluaciones del Medio Ambiente serán revisadas y aprobadas por el Oficial de la División del Medio Ambiente, antes de que dichas acciones sean aprobadas.

(iii) Los borradores y las Exposiciones Finales del Efecto en el Medio Ambiente serán revisadas y aprobadas por el Coordinador del Medio Ambiente y por la Oficina del Asesor General.

(7) Revisión Ambiental Después de Autorizado el Financiamiento

(i) La revisión ambiental podrá ser llevada a cabo después de que el proyecto, programa o actividad sea autorizado solamente cuando se trate de subproyectos o de aspectos importantes del proyecto, programa o actividad que no pueden ser definidos en el momento de la autorización. La revisión ambiental deberá ser terminada antes de la autorización de todos los subproyectos y aspectos de un proyecto, programa o actividad que sean determinados.

(ii) La revisión ambiental deberá hacerse lo más temprano posible en el diseño o ejecución, cuando se pueda llevar a cabo una revisión que sea de peso; sin embargo, por ninguna circunstancia podrá ser esto posterior a la identificación y planificación de subproyectos o de elementos de proyectos, programas o actividades que previamente no hubieran sido identificados. Al grado posible, deberá obtenerse información adecuada para aplazar la revisión ambiental antes de que se obliguen fondos para subproyectos no identificados o para elementos de proyectos, programas o actividades. (Los fondos podrán obligarse para los otros aspectos que ya cuenten con una revisión ambiental.) Para evitar un compromiso definitivo de fondos antes de la determinación de la revisión ambiental, la obligación de fondos podría hacerse en una forma que fuera aumentando gradualmente conforme se vayan identificando los subproyectos o los elementos de proyectos, programas o actividades; o si fuera necesario mientras continúa la planificación, lo cual incluye la revisión ambiental, el convenio u otros documentos que obligan fondos podrían incluir condiciones previas adecuadas para el desembolso de fondos para subproyectos o de elementos no identificados de proyectos, programas o actividades.

(iii) Cuando la revisión ambiental deba ser aplazada a una fecha más allá del período en que deben desembolsarse parte de los fondos (por ejemplo, durante largos períodos para la entrega de bienes o servicios), los convenios u otros documentos que obligan fondos deberán incluir una cláusula o cláusulas que requieran la revisión ambiental, lo cual incluye una Evaluación del Medio Ambiente o una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, según sea adecuado, para ser elaborada y tomada en consideración antes de llevar a cabo dichos subproyectos o elementos del proyecto, programa o actividad por los cuales se aplazó la revisión ambiental. Dichas cláusulas deberán asegurar que los planes de ejecución sean modificados de acuerdo

con la revisión ambiental cuando las partes decidan que las modificaciones son necesarias.

(iv) Cuando la revisión ambiental no pueda ser terminada para un proyecto, programa o actividad completa antes de su autorización, el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente y la Resolución Inicial que requieren los párrafos (a) (1) y (2) de esta sección deberá identificar aquellos aspectos del proyecto, programa o actividad para los cuales será hecha la revisión ambiental, antes de que sea autorizado el financiamiento. También deberá incluir aquellos subproyectos o aspectos por los cuales se atrasó la revisión ambiental, especificando las razones del atraso y la fecha en que la revisión ambiental será terminada. Además, deberá mencionar la forma como podrá evitarse el compromiso definitivo de fondos hasta que sea terminada la revisión ambiental. También deberá identificarse al oficial de A.I.D. quien tomará la decisión relacionada con el medio ambiente para dichos proyectos, programas o actividades (el mismo oficial que tiene autoridad para tomar decisiones en los otros aspectos de la ejecución). Este reatraso deberá ser revisado y aprobado por el oficial que emite la Resolución Inicial y por el oficial que autoriza el proyecto, programa o actividad. Dicha aprobación podrá ser hecha únicamente después de consultar con la Oficina del Asesor General para establecer la forma como las condiciones previas al desembolso o las cláusulas del proyecto o de otros convenios evitarán el compromiso definitivo de fondos antes que sea terminada la revisión ambiental.

(8) Supervisión.

Al grado posible y conveniente, los proyectos y programas para los cuales se hayan preparado Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente o Evaluaciones Ambientales deberán estar planificados para medir cualquier cambio que sufra la calidad del medio ambiente durante su ejecución, cambios tanto positivos como negativos. Esto requerirá el registro de los datos básicos desde un inicio. Al grado en que lo permitan los datos disponibles, las oficinas de A.I.D. que originaron la acción formularán, con la colaboración del la nación beneficiaria, sistemas para supervisar dichos efectos durante el tiempo que dure la participación de A.I.D. La supervisión de la ejecución de los proyectos, programas y actividades tomará en consideración los efectos ambientales, al mismo grado en que lo hará para otros aspectos de dichos proyectos, programas y actividades. Los procedimientos incluidos en esta sección se aplicarán cuando el Director de la Misión o el oficial responsable del proyecto, programa o actividad considere, durante la ejecución de cualquier proyecto, programa o actividad - indistintamente de si se hubiera requerido o no una Evaluación del Medio Ambiente o una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente - que está afectando o que seriamente afectará el medio ambiente y que esta situación no fue anteriormente estudiada en la Evaluación del Medio Ambiente o en la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente; lo cual incluye, según sea apropiado, la Resolución Inicial, el Alcance y las evaluaciones del Medio Ambiente o la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente.

(9) Modificaciones.

Si después de emitir una Resolución Inicial que dé como resultado una Determinación Negativa se modifica un proyecto o se dispone de nueva información que indique que una acción propuesta pudiera tener efectos "mayores" y que sus efectos pudieran ser "serios", la Determinación Negativa será modificada y reconsiderada por la oficina responsable y se preparara una Evaluación del Medio Ambiente o una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, según sea adecuado. Las Evaluaciones del Medio Ambiente y las Exposiciones del Efecto en el Medio

Ambiente serán modificadas y elaboradas en forma adecuada cuando existan cambios mayores en el proyecto o programa o cuando se disponga de nueva información que sea de importancia y que se relacione con el efecto en el medio ambiente que tendrá del proyecto, programa o actividad y que esto no hubiera sido considerado en el momento en que se aprobó la Evaluación del Medio Ambiente o la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente. Cuando se revisen programas vigentes para incorporar cambios de alcance o de naturaleza, se determinará si estos cambios pueden tener un efecto en el medio ambiente que no haya sido anteriormente evaluado. Si este fuera el caso, se aplicarán los procedimientos descritos en esta sección.

(10) Otros Documentos de Aprobación.

Estos procedimientos se refieren a determinados documentos de A.I.D. como PIDs, PAIPs, PPs y PAAD; los cuales son documentos internos de A.I.D. para la aprobación de proyectos, programas o actividades. Ocasionalmente determinados procedimientos especiales, como los descritos en la Sección 216.4, no requieren el uso de los documentos anteriormente descritos. En dichas circunstancias se aplicarán estos procedimientos ambientales a aquellos sistemas especiales de aprobación, salvo cuando se exima de esta obligación, durante las fases de aprobación y a niveles comparables de proyectos, programas y actividades para los cuales se utilizan los documentos anteriormente mencionados.

(b) *Procedimientos Sobre Pesticidas*

(1) Asistencia al Proyecto

Con excepción a lo que estipula el párrafo (b) (2) de esta sección, todos los proyectos propuestos que incluyan asistencia para la compra y/o uso de pesticidas estarán sujetos a los procedimientos descritos en el párrafos (b) (1) (i) a (v) de esta sección. Estos procedimientos también se aplicarán al grado en que lo permitan los convenios suscritos con A.I.D., celebrados antes de la fecha de vigencia de estos procedimientos sobre pesticidas y en aquellos proyectos que hayan sido autorizados pero que no se hayan comprado los pesticidas en la fecha de vigencia de estos procedimientos sobre pesticidas.

(i) Cuando un proyecto incluya asistencia para la compra y/o uso de pesticidas registrados sin restricciones por USEPA, para el mismo o para usos similares; el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente del proyecto deberá incluir una sección separada que evalúe los riesgos y beneficios económicos, sociales y ambientales que tendrá el uso del pesticida planificado. Esto se hará con el propósito de determinar si su uso pudiera ocasionar un efecto que tuviera repercusiones en el medio ambiente. Los factores a ser considerados en una evaluación de esta clase incluirán pero no estarán limitados a lo siguiente:

a. La situación del pesticida solicitado en los registros de USEPA;

b. La base para la selección del pesticida solicitado;

c. El grado al cual el uso del pesticida propuesto forma parte de un programa de control integrado de plagas;

d. El método o métodos propuestos de aplicación, lo cual incluye disponibilidad de equipo de aplicación apropiado y seguro;

e. Cualquier peligro toxicológico, agudo y a largo plazo, ya sea para los humanos o para el medio ambiente, que esté asociado con el uso propuesto y las medidas disponibles para minimizar este peligro;

f. La efectividad del pesticida solicitado para el uso propuesto;

g. La compatibilidad del pesticida propuesto con los ecosistemas incluidos y no incluidos en los objetivos;

h. Las condiciones en las cuales será utilizado el pesticida; lo cual deberá incluir clima, flora, fauna, geografía, hidrología y suelos;

i. La disponibilidad y efectividad de otros pesticidas o métodos de control que no sean químicos;

j. La capacidad del país solicitante para reglamentar o controlar la distribución, almacenaje, uso y eliminación del pesticida solicitado;

k. Las disposiciones hechas para la capacitación de las personas que lo utilizarán y aplicarán y

l. Las disposiciones emitidas para supervisar el uso y efectividad del pesticida.

En aquellos casos cuando la evaluación del uso del pesticida propuesto en el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente indique que su uso afectará seriamente el medio ambiente humano, la Resolución Inicial incluirá recomendaciones para la preparación de la Evaluación del Medio Ambiente o de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, según sea adecuado. En el caso que se decida aprobar el uso del pesticida planificado, el PP incluirá, al grado en que sea posible, estipulaciones que estén designadas a mitigar los efectos adversos potenciales del pesticida. Cuando la sección de evaluación del pesticida del Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente no indique que existe un riesgo potencial inmoderado con el uso del pesticida, deberá de todas formas prepararse la Evaluación del Medio Ambiente o la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente cuando por otra parte los efectos en el medio ambiente ocasionados por el proyecto requieran una mayor evaluación.

(ii) Cuando un proyecto incluya asistencia para la compra y/o uso de cualquier pesticida registrado en los Estados Unidos, para los mismos usos o para usos similares, y que su uso propuesto esté restringido por USEPA a causa del peligro que representa, se seguirán los procedimientos establecidos en el párrafo (b) (1) (i) de esta sección. Además, el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente incluirá una evaluación de los peligros de su utilización asociados con los usos restringidos de USEPA. El propósito de esto es asegurar que el plan de ejecución del PP incluya estipulaciones para que el gobierno beneficiario se dé cuenta de estos riesgos y proporcione, si fuera necesario, la asistencia técnica que sea necesaria para mitigar los daños. Si el uso del pesticida propuesto también estuviera restringido por otros motivos que no fueran su uso peligroso, se seguirán los procedimientos descritos en el párrafo (b) (1) (iii) de esta sección en lugar de los procedimientos incluidos en esta sección.

(iii) Si el proyecto incluyera asistencia para la compra y/o uso de:

a. Cualquier pesticida que no fuera uno registrado sin restricciones por USEPA, para el mismo o para usos similares, a causa del peligro de su utilización, o

b. Cualquier pesticida para el cual USEPA hubiera emitido una notificación de suposición disputable contra su reregistro, una notificación de cancelación o se hubieran intentado su exclusión.

La Resolución Inicial servirá de base para la preparación de la Evaluación del Medio Ambiente o para la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, según sea apropiado [Sección 216.6 (a)]. La Evaluación del Medio Ambiente o la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente incluirá pero no estará limitada a un análisis de los factores identificados en el párrafo (b) (1) (i) de esta sección.

(iv) No obstante las disposiciones de los párrafos (b) (1) (i) al (iii) de esta sección, si el proyecto incluye asistencia para la compra y/o uso de un pesticida para el cual USEPA ha iniciado una acción reglamentaria por causa o para el cual ha emitido una notificación de suposición disputable contra su reregistro, se discutirá con el gobierno solicitante la naturaleza de la acción o notificación; la cual deberá incluir los factores técnicos y científicos importantes y se incluirá en el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente y, si estuvieran preparado, en la Evaluación del Medio Ambiente o en la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente. Si USEPA inicia cualquiera de las acciones reglamentarias anteriores contra un pesticida después de su evaluación en un Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente, en una Evaluación del Medio Ambiente o en una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, la naturaleza de la acción será discutida con el gobierno beneficiario y considerada en una enmienda del Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente, de la Evaluación del Medio Ambiente o de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente, según sea apropiado.

(v) Si el proyecto incluye asistencia para la compra y/o uso de pesticidas y en el momento en que se prepara el Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente no puede identificarse el pesticida específico que será comprado, se seguirán los procedimientos descritos en los párrafos (b) (i) al (iv) de esta sección cuando se identifiquen los pesticidas específicos, antes de que se autorice su compra o uso. Cuando los pesticidas a ser comprados o utilizados no puedan ser identificados sino hasta después de que sea aprobado el PP, no se podrán comprar ni utilizar los pesticidas a menos que sea aprobado por escrito por el Administrador Asistente quien aprobó el PP (en el caso de proyectos autorizados al nivel de la Misión, por el Director de la Misión).

(2) Excepciones para los Procedimientos Sobre Pesticidas

Los procedimientos establecidos en el párrafo (b) (1) de esta sección no se aplican en los siguientes proyectos que incluyan asistencia para la compra y/o uso de pesticidas.

(i) Proyectos en situaciones de emergencias

Se considera que existen situaciones de emergencia cuando así lo determine por escrito el Administrador de A.I.D.:

a. Cuando haya ocurrido o sea inminente el brote de una plaga y

b. Cuando existan problemas graves de salud (de humanos o de animales) o surjan problemas económicos graves de no ser utilizado el pesticida propuesto y

c. Cuando no se disponga de tiempo suficiente antes de la utilización del pesticida para evaluar su uso propuesto de acuerdo con las estipulaciones de esta reglamentación.

(ii) En los proyectos donde A.I.D. sea donante minoritario, según lo define la Sección 216.1 (c) (12) de esta parte, en un proyecto de múltiples donantes.

(iii) En los proyectos que incluyan asistencia para la compra y/o uso de pesticidas para propósitos de investigación o evaluación en un campo limitado, con la supervisión del personal del proyecto. En estos casos, A.I.D. se asegurará que el fabricantes del pesticida proporcione la información toxicológica y del medio ambiente que sea necesaria para proteger la salud del personal de investigación y la calidad del medio ambiente local donde será utilizado el pesticida. Además, las cosechas tratadas no serán utilizadas para el consumo humano o animal, a menos que la Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) hubiera establecido las tolerancias apropiadas o la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial para la Salud (FAO/WHO por sus siglas en inglés) las hubiera recomendado. Esto deberá incluir la proporción y frecuencia de la aplicación, junto con los intervalos prescritos antes de la cosecha para que los residuos no excedan las tolerancias. Esta prohibición no se aplica a las cosechas para la alimentación de animales para propósitos de investigación.

(3) Asistencia Fuera de Proyectos. En muy pocas ocasiones A.I.D. podría proporcionar asistencia fuera de proyectos para la compra y uso de pesticidas. La asistencia en estos casos sería proporcionada si el Administrador de A.I.D. determinara, por escrito que: (i) existe una situación de emergencia según lo establece el párrafo (b) (2) (i) de esta sección o (ii) existe una situación urgente tal que al no proporcionarse la asistencia propuesta se estaría impidiendo seriamente el logro de la política exterior de los Estados Unidos o los objetivos del programa de asistencia al exterior. En este último caso, la decisión para proporcionar la ayuda estará basada, al máximo grado posible, en la consideración de factores establecidos en el párrafo (b) (1) (i) de esta sección; y al grado posible, en la historia de la efectividad y seguridad del uso del pesticida en el país beneficiario.

[43 FR 20491, del 12 de mayo de 1978 y su enmienda 45 FR 70245 del 23 de octubre de 1980]

216.4 Solicitantes Privados

Están sujetas a estos procedimientos las solicitudes privadas que buscan el financiamiento de A.I.D. para programas, proyectos o actividades; como por ejemplo las organizaciones privadas voluntarias (PVO por sus siglas en inglés) y las instituciones educativas y de investigación. Con excepción a lo que estipula la Sección 216.2 (b), (c) o (d); las propuestas preliminares de financiamiento que sean presentadas por solicitantes privados deberán estar acompañadas de un Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente o de información adecuada que permita la preparación de este Análisis. La Resolución Inicial será preparada por el Director de la Misión del país a que se refiere la propuesta, cuando la propuesta preliminar sea presentada a la Misión A.I.D. o por el oficial de A.I.D. quien aprueba la propuesta preliminar. En cualquiera de

los casos, se requiere la aprobación del Oficial de la Agencia del Medio Ambiente en la misma forma como lo requiere la Sección 216.3 (a) (2), se exceptúan los proyectos con PVOs aprobados por las Misiones A.I.D., con costos totales menores de $500,000. Posteriormente se aplicarán a los programas, proyectos o actividades presentadas por solicitantes privados, los mismos procedimientos establecidos en la Sección 216.3. Esto incluye, según sea apropiado, el alcance, la Evaluación del Medio Ambiente o la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente. Para propósitos de estos procedimientos, la propuesta final presentada para su financiamiento será tratada como PP. El Oficial de la División del Medio Ambiente notificará a los solicitantes privados con relación a los estudios u otra información previsible que A.I.D. pudiera requerir para tomar la acción necesaria.

[45 FR 70247, del 23 de octubre de 1980]

216.5 Especies en Peligro de Extinción

Es política de A.I.D. llevar a cabo sus programas de asistencia en una forma que aseguren la protección de las especies en peligro de extinción, así como su valioso habitat. El Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente de cada proyecto, programa o actividad que tenga repercusiones en el medio ambiente deberá específicamente determinar si el proyecto, programa o actividad afectará una especie en peligro de extinción o su valioso habitat. Si el proyecto, programa o actividad propuesta pusiera en peligro una especie en peligro de extinción o adversamente modificara su valioso habitat, la Resolución Inicial tendrá una Determinación Positiva y se deberá preparar una Evaluación del Medio Ambiente o una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente que presente las opciones o modificaciones que eviten o mitiguen dichos efectos en las especies o en su habitat.

[45 FR 70247, del 23 de octubre de 1980]

216.6 Evaluaciones del Medio Ambiente

(a) *Propósito General*

El propósito de la Evaluación del Medio Ambiente es proporcionar a las personas encargadas de la toma de decisiones, tanto del país anfitrión como de la Agencia, una completa exposición de los efectos de una acción propuesta que tenga repercusiones en el medio ambiente. Incluye opciones que evitan o minimizan los efectos adversos o aumenten la calidad del medio ambiente para que los beneficios esperados de los objetivos de desarrollo puedan ser sopesados con cualquier efecto adverso en el medio ambiente humano o cualquier compromiso de recursos que sea definitivo o irrecuperable.

(b) *Colaboración con la Nación Afectada para su Preparación*

La colaboración para obtener datos, llevar a cabo análisis y considerar las opciones ayudará a hacer conciencia en los países menos desarrollados sobre los problemas del medio ambiente relacionados con el desarrollo, así como fortalecerá la capacidad institucional natural para tratar estos problemas al nivel nacional. Al máximo grado posible las misiones, agencias y oficinas colaborarán con los países afectados en el desarrollo de las Evaluaciones del Medio Ambiente y en la consideración de las consecuencias en el medio ambiente, según se establece por este medio.

(c) *Contenido y Forma*

La Evaluación del Medio Ambiente estará basada en el alcance de la exposición y deberá incluir los siguientes elementos, según sea apropiado:

(1) Resumen

El resumen hará énfasis en las principales conclusiones; en las áreas de controversia, si existieran, y en los asuntos que deben ser resueltos.

(2) Propósito

La Evaluación del Medio Ambiente deberá brevemente especificar el propósito fundamental y la forma como la Agencia está respondiendo para proponer opciones, lo cual incluye la acción propuesta.

(3) Opciones Que Incluyan la Acción Propuesta

Esta sección deberá presentar los efectos que tenga en el medio ambiente la propuesta y sus opciones en una forma comparativa, de tal manera que se establezcan los temas en detalle y se dé una base clara para que las personas encargadas de la toma de decisiones puedan escoger entre las diferentes posibilidades. Esta sección deberá explorar y evaluar las opciones razonables, así como brevemente tratar las razones por las cuales fueron eliminadas aquellas opciones no incluidas en el estudio detallado; deberá prestar suficiente atención a cada opción considerada en detalle, lo cual incluya la acción propuesta; para que el personal encargado de la revisión pueda comparar sus méritos y evaluarlos; deberá incluir la alternativa de no tomar ninguna acción; deberá identificar la opción o opciones preferidas por la Agencia, si existiera más de una; deberá incluir las medidas apropiadas de mitigación que no hubieran sido consideradas en la acción propuesta o en sus opciones.

(4) Medio Ambiente Afectado

La Evaluación del Medio Ambiente deberá brevemente describir el medio ambiente del área(s) a ser afectada o establecida por la opción que está siendo considerada. Las descripciones no deberán ser más largas que lo que sea suficiente para comprender los efectos de las opciones. Los datos y los análisis de la Evaluación del Medio Ambiente deberán estar de acuerdo con la magnitud del efecto; resumiendo, consolidando o simplemente refiriendo los asuntos de menor importancia.

(5) Consecuencias en el Medio Ambiente

Esta sección es la base analítica para las comparaciones de acuerdo con el párrafo (c) (3) de esta sección. Incluirá los efectos en el medio ambiente de las opciones, lo cual comprende la acción propuesta; cualquier efecto adverso que no pueda ser evitado de llevarse a cabo la acción propuesta; la relación entre el uso del medio ambiente a corto plazo y el mantenimiento y mejora de la productividad a largo plazo; así como cualquier compromiso de recursos que sea definitivo e irrecuperable que se daría de llevarse a cabo la propuesta. No se deberá duplicar la exposición del párrafo (c) (3) de esta sección. Esta sección de la Evaluación del Medio Ambiente deberá incluir exposiciones sobre los efectos directos y su alcance; sobre los efectos indirectos y su importancia; sobre los posibles conflictos entre la acción propuesta y los planes de utilización de la tierra, las políticas y controles de las áreas relacionadas; sobre los requerimientos de energía y el potencial de conservación de diferentes opciones y las medidas de mitigación; sobre los requerimientos de recursos naturales o agotables y el potencial de conservación de diferentes condiciones y medidas de mitigación; sobre la calidad urbana; sobre los recursos históricos y culturales y el diseño del medio ambiente establecido, lo cual

incluye la reutilización y potencial de conservación de diferentes opciones y medidas de mitigación; así como sobre los medios para mitigar los efectos adversos en el medio ambiente.

(6) Lista de las Personas Responsables & Preparadores

La Evaluación del Medio Ambiente deberá dar los nombres y capacidades (experiencia, profesión) de las personas principalmente responsables de la preparación de la Evaluación del Medio Ambiente o de los documentos importantes que sirvan de base.

(7) Apéndice

Un apéndice podrá ser preparado.

(d) *Evaluación del Programa*

Podría ser conveniente llevar a cabo evaluaciones del programa para valorar los efectos en el medio ambiente de diferentes acciones separadas y su efecto acumulado en un país o área geográfica determinada, los efectos en el medio ambiente que son generales o comunes a cierta clase de acciones de la agencia u otras actividades que no son características específicas de determinado país. En estas circunstancias, A.I.D./ Washington preparará una programación única del programa y la enviará a las Misiones interesadas en el extranjero, a los países anfitriones y a las partes interesadas dentro de los Estados Unidos. Al grado en que sea posible, la forma y contenido de la Evaluación del Medio Ambiente del Programa será igual a las evaluaciones de los proyectos. Las evaluaciones del Medio Ambiente posteriores sobre acciones individuales e importantes se requerirán únicamente cuando dichas actividades de seguimiento o acciones posteriores puedan tener efectos que repercutan en el medio ambiente en países determinados donde los efectos no han sido debidamente evaluados en la Evaluación del Medio Ambiente del programa. Otras evaluaciones del programa sobre clases de acciones podrán ser llevadas a cabo como un esfuerzo para hacer excepciones categóricas o diseñar normas o criterios que eliminen o minimicen los efectos adversos de dichas clases de acciones, así como que mejoren el efecto en el medio ambiente que tenga dicha acción o reduzcan el papeleo o el tiempo dedicado a estos procedimientos. Las evaluaciones de los programas llevadas a cabo para establecer excepciones categóricas adicionales dentro de la Sección 216.2 (c) o establecer directrices que eliminen los serios efectos para las diferentes clases de acciones, estarán disponibles para comentarios del público antes que A.I.D. haga excepciones categóricas o que diseñe normas y criterios. Información sobre la disponibilidad de dicha documentación será publicada en el Registro del Gobierno de los Estados Unidos. Con la aprobación del Administrador, A.I.D. hará exclusiones categóricas adicionales y diseñará condiciones de acuerdo con los procedimientos usuales de la agencia.

(e) *Conferencias y Revisión*

(1) Cuando se preparan Evaluaciones del Medio Ambiente sobre actividades a ser llevadas a cabo en determinados países en vías de desarrollo o que estén dirigidas a estos países, el personal de A.I.D. y del país anfitrión celebraran conferencias tanto al inicio de las fases de preparación como cuando se logren resultados importantes a la terminación de la Evaluación, antes de que el proyecto sea autorizado.

(2) Las misiones estimularán al país anfitrión para que haga disponible la Evaluación del Medio Ambiente al público en general del país beneficiario. Si se preparan Evaluaciones del Medio Ambiente para actividades que no sean específicas del país, las evaluaciones serán enviados por el Coordinador del Medio Ambiente a las

Misiones de A.I.D. del exterior, así como también se enviarán para información, guía y comentarios de los gobiernos interesados. A la vez se harán disponibles en los Estados Unidos a las partes interesadas.

(f) *Efecto en Otros Países*

En situaciones cuando un análisis indique que los efectos potenciales podrían extenderse más allá de las fronteras nacionales de un país beneficiario y pudieran verse afectadas las naciones vecinas, A.I.D. instará al país beneficiario para que celebre conferencias con dichos países antes de la aprobación del proyecto. El propósito de estas conferencias será negociar arreglos que sean mutuamente aceptados.

(g) *Temas Confidenciales*

Las Evaluaciones del Medio Ambiente normalmente no incluyen temas confidenciales o que requiera control administrativo. Sin embargo, podrían ocurrir situaciones en que los aspectos del medio ambiente no pudieran ser debidamente discutidos sin incluir esta clase de temas. El manejo y la divulgación de temas confidenciales o requieran control administrativo se regirá por la Sección 9 del Código 22 del Reglamento del Gobierno de los Estados Unidos. Aquellas partes de la Evaluación del Medio Ambiente que no sean clasificadas o que requieran control administrativo estarán a disposición de personas fuera de la Agencia, según lo establece la Sección 212 del Código 22 del Reglamento del Gobierno de los Estados Unidos.

[45 FR 70247, del 23 de octubre de 1980]

216.7 Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente

(a) *Aplicabilidad*

Se preparará una Exposición del Efecto en el Medio Ambiente cuando las acciones de la Agencia afecten adversamente:

(1) El medio ambiente global o áreas fuera de la jurisdicción de cualquier país (por ejemplo, los océanos);

(2) El medio ambiente de los Estados Unidos o

(3) Otros aspectos del medio ambiente, según lo considere el Administrador.

(b) *Efectos en los Estados Unidos: Contenido y Forma*

La Exposición del Efecto en el Medio Ambiente relacionada con el párrafo (a) (2) de esta sección deberá cumplir con los Reglamentos del CEQ. Con relación a los efectos en los Estados Unidos, cuando estos procedimientos mencionan los términos medio ambiente y efecto importante tienen el mismo significado que en los Reglamentos del CEQ, en vez de como se definen en la Sección 216.1 (c) (12) y (13) de estos procedimientos.

(c) *Otros Efectos: Contenido y forma*

La Exposición del Efecto en el Medio Ambiente relacionada con los párrafos (a) (1) y (a) (3) de esta sección generalmente seguirá los Reglamentos del CEQ; sin embargo, tomará en cuenta las consideraciones especiales y preocupaciones de A.I.D. La circulación de estas Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente en borrador se harán antes de la aprobación del PP o del documento equivalente y los comentarios que dicha

circulación originen serán tomados en consideración antes de la aprobación final del proyecto, según lo describe la Sección 216.3 de estos procedimientos. Las Misiones también circularán el borrador de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente para información y comentarios de los gobiernos extranjeros afectados. Generalmente los borradores de las Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente estarán disponibles para comentarios por parte de las agencias del Gobierno de los Estados Unidos que, de acuerdo con la ley, tienen jurisdicción o cuentan con experiencia especial con relación a cualquier efecto relacionado con el medio ambiente; así como también estarán disponibles a organizaciones públicas y privadas y a personas individuales, durante un período que no será menor a cuarenta y cinco (45) días. Información sobre la disponibilidad de las Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente, en borrador, será publicada en el Registro del Gobierno de los Estados Unidos. Las divisiones y oficinas responsables presentarán estos borradores para ser circulados a través del Coordinador del Medio Ambiente quien será responsable de coordinar todas las comunicaciones con personas fuera de A.I.D. Cualquier comentario que reciba el Coordinador del Medio Ambiente será enviado a la división u oficina que originó la acción, para su consideración en el momento de que se tome la decisión definitiva y se prepare en final la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente. Todos estos documentos serán adjuntados a la Exposición final y aquellos comentarios que no hubieran sido considerados en el borrador de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente serán debidamente tratados en la Exposición final. Copias de la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente en final, con comentarios adjuntos, serán enviadas por el Coordinador del Medio Ambiente al CEQ; a todas las agencias del Gobierno de los Estados Unidos, de los estados o de las localidades; así como a las que hicieron comentarios importantes al borrador, lo cual incluye a los gobiernos extranjeros afectados. Cuando lo requieran situaciones de emergencia o cuando consideraciones de la política exterior hagan necesario que se tome una acción sin cumplir con las estipulaciones de la Sección 1506.10 del Reglamento del CEQ o cuando existan circunstancias trascendentales de costos para los Estados Unidos o para gobiernos extranjeros, la oficina que originó la acción notificará al Coordinador del Medio Ambiente quien consultará con el Departamento de Estado y con el CEQ para hacer cambios adecuados y modificar los procedimientos.

[45 FR 70249, del 23 de octubre de 1980]

216.8 Audiencias Públicas

(a) En la mayor parte de los casos A.I.D. podrá aprovechar la participación pública en el proceso de la exposición de los efectos, lo cual será posible a través de la circulación de las exposiciones en borrador y de la notificación de disponibilidad pública en las publicaciones del CEQ. Sin embargo, en algunos casos el Administrador podría llevar a cabo audiencias públicas sobre los borradores de las Evaluaciones del Efecto en el Medio Ambiente. Para decidir si una audiencia pública es apropiada o no, las divisiones junto con el Coordinador del Medio Ambiente deberán considerar:

(1) La magnitud de la propuesta en términos de los costos económicos, área geográfica involucrada, peculiaridad y cantidad del compromiso de los recursos relacionados;

(2) El grado de interés de la propuesta según conste en solicitudes del público y de autoridades del Gobierno de los Estados Unidos, de los estados y de las localidades; así como en solicitudes de y de personas individuales.

(3) La complejidad del tema y las probabilidades de que la información que sea presentada en la audiencia sea de ayuda para la agencia y

(4) El grado al cual se ha alcanzado la involucración pública a través de otros medios como audiencias públicas anteriores, reuniones con representantes y/o comentarios escritos sobre la acción propuesta.

(b) Si se llevan a cabo audiencias públicas, los borradores de las Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente a ser considerados deberán estar disponibles al público por lo menos quince (15) días antes de la fecha de la audiencia pública y un anuncio deberá ser publicado en el Registro del Gobierno de los Estados Unidos, el cual deberá proporcionar el tema, hora y lugar de la audiencia propuesta.

[41 FR 26913, del 30 de junio de 1976. Redeterminada por medio de 45 FR 70249, del 23 de Octubre de 1980]

216.9 Estudios Bilaterales y Multilaterales y Revisiones Breves Sobre Asuntos Relacionados con el Medio Ambiente

A pesar de cualquier contradicción en estos procedimientos, el Administrador podrá aprobar el uso de cualquiera de los siguientes documentos requeridos de acuerdo con estos procedimientos en substitución de las Evaluaciones del Medio Ambiente (sin embargo, por ninguna circunstancia podrá substituirse la Exposición del Efecto en el Medio Ambiente):

(a) Los estudios bilaterales o multilaterales sobre el medio ambiente, importantes o relacionados con la acción propuesta, preparados por los Estados Unidos y uno o más países extranjeros o por una asociación u organización internacional de la cual los Estados Unidos sea miembro o forme parte, o

(b) las revisiones breves de asuntos relacionados con el medio ambiente que incluyan análisis de resúmenes del medio ambiente u otros documentos apropiados.

[45 FR 70249, del 23 de octubre de 1980]

216.10 Registros e Informes

Cada división de la agencia mantendrá una lista actualizada de las actividades para las cuales se están preparando Evaluaciones del Medio Ambiente y Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente y para las cuales han sido emitidas Declaraciones y Determinaciones Negativas. Copias en final del Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente, de las exposiciones del alcance, de las Evaluaciones y Exposiciones del Efecto estarán disponibles a solicitud de las agencias interesadas del Gobierno de los Estados Unidos. La división responsable mantendrá registros permanentes (los cuales podrán ser parte de sus registros normales del proyecto) de las Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente, de las Evaluaciones del Medio Ambiente, del Análisis Inicial Sobre el Medio Ambiente en final, de la exposición del alcance, de la Determinación o Declaración que estarán disponibles al público de acuerdo con la Ley de Libertad de Información. Las personas interesadas podrán obtener información o conocer sobre la situación de las Evaluaciones del Medio Ambiente y de las Exposiciones del Efecto en el Medio Ambiente a través del Coordinador del Medio Ambiente de A.I.D.

[45 FR 70249, del 23 de octubre de 1980]

Apéndice 3

Aspectos Hidrológicos Básicos

ASPECTOS HIDRÓLOGICOS BÁSICOS

El colaborador principal de este capítulo fué:

William C. Ackerman
Profesor de Hidrología, Universidad de Illinois y
Jefe de la División de Investigación de Aguas del Estado de Illinois, U. S. A.

Este material fue adaptado de:

Manejo de Cuencas (Watershed Management)
Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas
Roma, 1962

ASPECTOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS

LA CUENCA HIDROLÓGICA

Una cuenca hidrológica es toda el área de terreno que vierte sus aguas a un sistema de corrientes aguas arriba de su desembocadura u otro lugar determinado de interés. La cuenca de una corriente no solamente tiene área, longitud y anchura, sino también una tercera dimensión, profundidad. Con excepción de laderas rocosas y áridas, la profundidad de una cuenca se extiende desde la cima de la vegetación al límite del estrato inferior.

A la circunscripción de los linderos que limitan la cuenca se le llama la divisoria. Esta línea determina los límites del área que contribuye con escorrentía superficial. La divisoria que separa el área que vierte escorrentía de aguas subterráneas puede coincidir con la división superficial o puede ser completamente diferente.

De todas maneras, toda la tierra es parte de alguna cuenca. Una cuenca puede ser tan pequeña como la huella del pie o tan grande como un continente, como el caso de las cuencas de ríos como el Mississippi, el Amazonas, el Congo, el Nilo o el Ganges. En efecto, prácticamente la mayor parte del manejo de cuencas se refieren a cuencas que varían en tamaño de quizás un acre a varios miles de millas cuadradas. Las cuencas más grandes se vuelven más complejas en todos los aspectos y para propósitos de estudio y análisis se subdividen en subcuencas más pequeñas y homogéneas.

Cada cuenca del mundo es única como la huella dactilar. No existen dos que sean exactamente iguales. Es fácil imaginarse que la cuenca de un bosque a una altura mayor del límite de las nieves perpetuas sea diferente a la cuenca seca y polvorienta de un país árido. Hasta dos cuencas que se encuentren a la par y que se vean iguales, en detalle son realmente diferentes.

Sin embargo, la generalización es posible a determinado grado ya que las mismas leyes físicas se aplican en todos lados. Con la interpretación de estas leyes y con conocimientos profundos de la cuenca y de su medio ambiente, es posible predecir con bastante exactitud el comportamiento hidrológico. Esto sugiere que las dimensiones de la cuenca y todos los factores importantes son esenciales para una interpretación exacta del comportamiento de la cuenca. Cuencas de importancia especial pueden ameritar un estudio individual detallado y esto a veces se lleva a cabo. Sin embargo, no todas las cuencas del mundo pueden ser estudiadas hidrológicamente en detalle debido a que son innumerables. Más bien, la respuesta está en la investigación generalizada. Últimamente, el hombre debe investigar cada territorio fisiográfico, cada región climática y cada clase de vegetal. Los resultados de dichas investigaciones pueden ser aplicados con confianza a otras cuencas dentro de límites razonables de homogeneidad.

LA CUENCA Y EL CICLO HIDROLÓGICO

A la circulación indefinida de la humedad de la tierra se le llama ciclo Hidrológico. A pesar de que para muchos es familiar en un sentido general, aquí se describe a grandes rasgos y en una forma comprensible para ubicar el manejo de cuencas dentro del extenso patrón de la naturaleza y definir los términos que frecuentemente se repetirán durante todo este curso.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, sin embargo, podemos pensar en él como que se inicia de la humedad atmosférica que se compone de vapor de agua, nubes y neblina. El vapor de agua es el estado gaseoso del agua y está presente en la atmósfera debido al proceso de evaporación en superficies de tierra y agua. Las nubes y la neblina se forman debido al enfriamiento y a la condensación del vapor de agua en pequeños núcleos en la atmósfera, como partículas de sal o polvo . Cuando las góticas resultantes de agua obtienen un tamaño suficiente, éstas caen en forma de lluvia. Si las gotas de lluvia pasan a través de zonas de temperaturas bajo cero, se vuelven granizo. Si la condensación ocurre a temperaturas bajo cero, se forma la nieve. Si la condensación del vapor de agua se forma directamente en una superficie más fría que el aire, se forma ya sea rocío o escarcha, dependiendo de si la temperatura está sobre o bajo cero cuando ocurre la condensación.

Una gran parte de la precipitación total cae directamente en los mares, en los grandes lagos y en otras extensiones de agua como ríos y estanques. Aquella que cae en el mar, junto al agua que regresa como escorrentía, mantienen el equilibrio que se demuestra por medio de la constante elevación del nivel del mar.

La lluvia o el desnieve primero humedece la superficie y luego penetra en los intersticios del suelo. A este proceso se le llama infiltración. Parte de la infiltración total penetra a las aguas subterráneas, parte es utilizada por la vegetación y transpirada de nuevo a la atmósfera y parte está sujeta a la evaporación como resultado de la elevación capilar. En terreno pendiente, con una capa delgada de tierra vegetal, el agua que se infiltra puede regresar a la superficie por medio del movimiento lateral.

Cuando la tasa de precipitación excede la cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo, generalmente ocurre lo que se llama escorrentía superficial. Después de llenar las depresiones de la superficie, este exceso de lluvia corre sobre la superficie de la tierra hasta llegar a una corriente determinada, a través de la cual corre para finalmente desembocar en el mar o en una extensión de agua interior.

Cuando el agua en su estado líquido es calentada por la energía solar o por otra forma de energía, ésta pasa a su estado gaseoso por medio del fenómeno llamado evaporación. Este proceso de evaporación ocurre en el agua, en superficies mojadas como en la vegetación, en la tierra y nieve.

Una de las funciones básicas dentro del proceso de vida de la vegetación se llama transpiración e incluye el proceso de absorción de agua de la tierra por medio de las raíces, utilizándola para su desarrollo y para mantener la vida y expeliéndola a la atmósfera por medio de sus poros.

Una parte de la precipitación que penetra en la superficie de la tierra como infiltración se irá al suelo. Si ésta agua no es absorbida por tierra carente de humedad o por rocas porosas, eventualmente alcanzará un nivel completamente saturado, la capa freática. La ladera y estructura que limita la extensión del agua subterránea puede ser tal que impida su brote inmediato; o la extensión de agua subterránea pueda interceptar el lecho de una corriente por donde será regresada a una extensión de agua superficial. Las aguas subterráneas también pueden pasar a través de capas porosas y alcanzar un nivel en que sean aprisionadas por suelos más cerrados y por consiguiente estén sujetas a presión. Si un pozo penetra a este nivel, éste puede ser artesiano y el agua que liberará de igual manera formará parte del agua superficial. La misma zona de presión puede estar en contacto con un lecho marino y desembocar el agua al mar.

Además, la humedad atmosférica con la cual se inició esta descripción del ciclo pueden seguir trayectorias de diferente duración y complejidad antes de que pueda completarse el ciclo.

OPORTUNIDADES Y RESTRICCIONES

El manejo de cuencas está siempre dirigido hacia objetivos específicos y un programa ha sido diseñado para lograr estos objetivos. Los propósitos pueden estar completa o parcialmente relacionados con la utilización de la tierra, como lo es la producción mejorada de cultivos o la reducción de la erosión. Hasta en dichos casos los factores hidrológicos son importantes ya que algunos elementos como la temperatura o la humedad disponible pueden realmente determinar si puede ser llevado a cabo el programa deseado. Además, aún cuando la utilización de la tierra sea el aspecto urgente, es importante conocer las consecuencias hidrológicas de cualquier cambio proyectado en el manejo de cuencas. Por ejemplo, los cultivos en fila en terrenos quebrados de áreas con intensas lluvias pueden provocar corrientes de baja calidad, tasas pico de grandes escorrentías y como resultado inundaciones y una excesiva erosión que finalmente lavará la tierra.

En algunos casos, un cambio en el régimen hidrológico podría ser el objetivo principal del manejo de cuencas. Estos cambios podrían incluir una reducción de las inundaciones, el aumento en el caudal de pequeñas corrientes de agua, el aumento de la disponibilidad de tierra húmeda, el aumento de los niveles del agua subterránea o la mejora de la calidad de agua para su abastecimiento. Cualquiera de estos objetivos pueden ser logrados en determinado grado, sin

embargo, no todos podrían ser mutuamente compatibles o estar de acuerdo con el programa deseado de utilización de la tierra.

Debe de recordarse que los factores más importantes que controlan el ciclo hidrológico son fuerzas y circunstancias de la naturaleza, para las cuales el hombre puede hacer muy poco. Estas incluyen la meteorología o clima que por siglos ha formado el terreno y ha determinado la clase y profundidad del suelo. Si el suelo es poco profundo, el hombre puede hacer muy poco para mejorar la capacidad de mantenimiento de humedad de la tierra. Si el terreno se congela en invierno, la infiltración de la humedad induda-blemente será insignificante. Si el terreno es montañoso, el hombre no puede volverlo plano.

La precipitación probablemente es el factor más importante de la hidrología cotidiana y esto en gran parte permanece fuera del control del hombre, aún cuando es cierto que estudios recientes mencionan la posibilidad de lograr pequeños aumentos en la precipitación por medio del bombardeo de nubes con hielo seco en circunstancias favorables de regiones montañosas, las futuras actividades meteorológicas tendrán que cambiar esto, ya que la realidad actual es que la precipitación debe ser aceptada en la forma como la proporciona la naturaleza. Las lluvias no pueden moverse de una estación a otra, tampoco pueden aumentarse o disminuirse.

Sin embargo, mucho puede hacerse con factores que están sujetos a manejo. Existe una variedad de vegetación para escoger, las prácticas de utilización de tierra pueden ser cambiadas y el agua puede ser almacenada por medio de la ingeniería para posteriormente ser llevada a otros lugares o utilizada durante otras estaciones del ano, cuando no se encuentre. El hombre puede cubrir el terreno con un manto vegetal que ayude a la infiltración y proteja el suelo por medio de la ingeniería, se puede hacer trabajos que encierren o contengan inundaciones.

LA FUNCIÓN DEL CLIMA

El clima es un término muy amplio y de mucho alcance que es tema de una ciencia separada llamada meteorología. El clima en la atmósfera baja de la zona interfacial, entre el aire y la tierra, tiene repercusiones importantes para el manejo de cuencas.

Entre los elementos del clima, el más importante es la precipitación. Este es el insumo de humedad de una cuenca que debe ser manejada y utilizada en forma beneficiosa. A la vez, la precipitación ocurre en diferentes formas algunas pueden ser vistas aquí como secundarias. Estas incluyen el rocío, granizo y la escarcha. Por consiguiente, esto deja a la lluvia y nieve como las formas más importantes de la precipitación. Con relación a la lluvia es importante conocer las cantidades, expresadas en pulgadas u otra medida de capacidad. También debe conocerse la duración de la lluvia, expresada en minutos, horas o días y su intensidad, expresada en pulgadas por hora.

Las tasas de precipitación son bastante variables. Pueden ser tan bajas que no permitan ser medidas con el equipo regular, en cuyo caso tienen poco efecto en la hidrología de la cuenca. Las tasas mayores de una pulgada por hora se consideran intensas. Las tasas superiores a 10 pulgadas por hora son poco frecuentes y en contadas ocasiones duran más de unos cuantos minutos.

La cantidad de la precipitación es bastante variable de un lugar a otro de la tierra, algunas zonas reciben normalmente menos de 10 pulgadas al año y otras más de 100. Aún en una misma región, la precipitación debe ser considerada como bastante variable. En regiones húmedas y templadas la precipitación anual puede variar hasta el 50 por ciento de lo normal, mientras que en regiones áridas y semiáridas la variación frecuentemente es varios cientos por ciento de lo normal. La precipitación sigue el patrón estacional típico de la localidad que varía sobre y bajo el promedio, con una mayor variabilidad asociada a los climas más áridos.

La lluvia se mide con pluviómetros, de los cuales existe una gran variedad. De preferencia, todos los pluviómetros deberían ser pluviógrafos para medir no solamente la cantidad sino la duración e intensidad. Esto es necesario en raras ocasiones y lo usual es que uno o más pluviógrafos se complementan con una cantidad más numerosa de pluviómetros, respaldados por notas y comentarios de los observadores con relación a la duración e intensidad de las lluvias. Un pluviómetro estándar frecuentemente es de 8 pulgadas de diámetro e incluye un tubo interior de una décima parte del área del perfil transversal. Para mayor facilidad y precisión en la medida, las cantidades recolectadas son por consiguiente ampliadas 10 veces. Sin embargo, cualquier recipiente rígido, con lados verticales, puede ser utilizado con una mínima pérdida de exactitud. Pluviómetros con diámetros tan pequeños como una pulgada han sido utilizados satisfactoriamente.

Los pluviómetros se sitúan en el campo abierto para que la vegetación o los edificios no interfieran o intercepten cualquier caída de agua.

La cantidad de pluviómetros necesarios para que razonablemente se muestre el promedio de lluvia en un área, como una cuenca, ha sido tema de estudio. No se puede precisar una cantidad exacta ya que ésta varía de acuerdo con las condiciones meteorológicas locales, con la topografía, con la exactitud deseada y con las limitaciones, tanto financieras como de otra índole. Sin embargo, cualquier cuenca que se esté estudiando o manejando debe contar por lo menos con un pluviómetro, de preferencia localizado en el centro geométrico del área. Una cuenca de 1,000 acres que esté bajo in-tenso estudio podría requerir para ser cubierta en forma adecuada aproximadamente tres pluviómetros. Grandes lechos de cuencas no requieren dicha cantidad de pluviómetros ya que las pequeñas variaciones en las lluvias se vuelven menos importantes, además de que un pluviómetro por 50 o 100 millas cuadradas podría estar indicado cuando uno conoce algo sobre los patrones de lluvia de la región. Por lo general es útil iniciar un proyecto con varios pluviómetros y reducir su número cuando se haya recolectado alguna información.

La precipitación pluvial se representa en gráficas y generalmente se publica por horas y días. Un período de 5 días, el "pente", se está comenzando a utilizar. Para propósitos de análisis, las cantidades generalmente se registran en mapas y se marcan líneas de igual valor. La intensidad pluvial durante períodos de minutos u horas puede ser representada como gráficas rayadas o la tasa puede ser marcada contra el reloj.

La unidad pluvial para el análisis hidrológico es la tempestad. Por lo que para muchos propósitos la lluvia y otros factores hidrológicos también se representan por días, semanas, meses, estaciones o años.

La precipitación finalmente está sujeta a la infiltración, a la escorrentía y a la evapotranspiración y como se tratará más adelante, durante estos procesos es afectada por muchos factores como son: la vegetación, el terreno, los suelos y la geología. Sin embargo, como se muestra a continuación, se puede generalizar en una forma cualitativa con relación a los efectos en las variaciones de la precipitación, en situaciones similares:

Mayores cantidades en la precipitación	=	Mayor escorrentía Mayor evapotranspiración Mayor infiltración
Mayor intensidad de la precipitación	=	Mayor escorrentía Menor evapotranspiración Menor infiltración
Mayor duración de la precipitación	=	Menor escorrentías Mayor evapotranspiración Mayor infiltración
Mayor precipitación en un área más grande	=	Mayor escorrentía Mayor evapotranspiración Mayor infiltración
Mayor precipitación en la estación fría (superior a la temperatura de congelación)	=	Mayor escorrentía Mayor infiltración Menor evapotranspiración
Mayor precipitación en la estación cálida	=	Menor escorrentía Mayor evapotranspiración Mayor infiltración

Junto con la precipitación, la temperatura es el segundo elemento del clima de importancia para el manejo de cuencas. La temperatura regula la germinación y el crecimiento de la vegetación, lo que a la vez influye en la hidrología. La temperatura del aire determina la forma de la precipitación, la cantidad de desnieve y a través de su efecto en la viscosidad, afectan la infiltración y escorrentía de la lluvia.

La temperatura es un elemento más conservador que la precipitación, ya que no varía tanto en tiempo y espacio. Por consiguiente, se requieren menos instrumentos para representar en forma adecuada las variaciones de la región, por lo menos con la falta de características fuertes de presión en la cuenca. Es conveniente que se tengan termógrafos, sin embargo, estos no son esenciales para la mayoría de los análisis hidrológicos. En la mayoría de casos servirán los termómetros máximos y mínimos que se leen diariamente.

Otros elementos del clima pueden mencionarse y podrían ser observados y correlacionados cuando se lleven a cabo estudios detallados de investigación. Estos incluyen la humedad relativa, la dirección y velocidad del viento y la radiación solar.

LA FUNCIÓN DE LA VEGETACIÓN

Se asume que la vegetación es parte indispensable del manejo de cuencas en cualquier clima donde exista suficiente humedad y temperatura para el crecimiento de las plantas. Las únicas excepciones de esto serían las áreas pavimentadas que están dedicadas a la minería y las extensiones de agua. La vegetación es esencial, ya que es a través de las plantas la tierra se vuelve productiva. En segundo lugar, por medio de su acción de resguardo del suelo contra el impacto de la lluvia. La vegetación en la única forma práctica para proteger a la tierra de la erosión. Finalmente, la vegetación es importante para el manejo de cuencas ya que es uno de los factores principales que el hombre puede manipular para su ventaja. El hombre también puede manejar directamente los suelos, sin embargo, calidades deseables de suelos pueden lograrse más rápidamente y con menos esfuerzos al que la vegetación establezca las condiciones convenientes en la superficie.

El primer efecto de la vegetación al inicio de una tempestad es interceptar una parte de la lluvia por medio del proceso del remojo de hojas y ramas, o una parte de la nieve por medio de su almacenaje. En vegetaciones densas como en bosques maduros, con un estrato superior compuesto de árboles y un estrato inferior de vegetación herbácea, esto podría significar media pulgada o más de precipitación por tempestad. Debido al movimiento del viento, una parte de esta humedad cae al suelo después de la precipitación. Esta precipitación atrasada, en realidad prolonga el período de lluvia en la superficie del suelo y tiende a aumentar la infiltración en la tierra. La humedad que permanece en las hojas se evapora normalmente en un día. Esta evaporación no debe necesariamente ser vista como una pérdida de la humedad ya que durante el período posterior a la lluvia, cuando el terreno está impregnado y la atmósfera baja también cuenta con mucha humedad, la radiación solar podría ser el factor limitante de la evaporación. Por con-siguiente, la evaporación de las superficies de las hojas probablemente se compense con la evaporación reducida de la tierra y con la transpiración de la vegetación.

La protección a la tierra contra el impacto directo de la lluvia es importante para mantener la estructura conveniente de migas o de tierra suelta formada por partículas individuales. El impacto directo también suelta las partículas de tierra, el primer paso dentro del proceso de erosión. La segunda importancia de la vegetación es proteger y dar sombra a la tierra, además de que previene la excesiva evaporación, promueve el desarrollo de organismos en el suelo que están en juego para descomponer materias orgánicas y convertirlas en abono y en humus.

La transpiración es la evaporación de la humedad de la superficie de las plantas, humedad que ha sido absorbida por medio de las raíces y utilizada dentro del proceso de desarrollo de la planta. Este proceso de la planta, el cual no se comprende completamente, raras veces representa menos de la tercera parte de la precipitación en áreas húmedas y realmente todo en áreas de pocas lluvias. Es muy poco lo que puede hacerse para modificar la transpiración de un tipo de vegetación en particular, sin embargo, existe la posibilidad de sustituir las plantas con otras de comportamiento diferente. La transpiración fluctúa dentro de un patrón estacional con tasas máximas que se logran durante la estación cálida de crecimiento cuando existe humedad abundante. Las tasas durante la estación fría podrían ser casi cero. Además del ciclo estacional, la transpiración varía según la profundidad del suelo y la humedad disponible. Cuando el nivel de humedad llega cerca del punto de marchitez de las plantas, el agua remanente es fuertemente mantenida por las partículas de tierra y no se encuentra fácilmente disponible para las raíces de la planta. Finalmente, la transpiración varía según las características de la raíz de la vegetación. Generalmente se considera que los bosques maduros tienen la mayor transpiración debido a que cuentan con grandes áreas de hojas y grandes sistemas de raíces que cada año extraen la humedad a grandes profundidades. Las plantas con raíces poco profundas, como algunas hierbas, cada año deben desarrollar nuevas raíces para extraer la humedad de regiones menos profundas que los árboles. La vegetación con raíces que se extienden en la tierra, de 10-20 pies o más se consideran profundas; de 5-10 pies, intermedias y de 2-5 pies, poco profundas.

Con un manejo conveniente de cuencas, la transpiración se lleva a cabo conjuntamente y no puede ser debidamente separada de otra evaporación. Esto incluye la evaporación de la humedad remanente de lluvias, así como aquella del propio suelo. Los estudios han mostrado que la evaporación de la tierra no se extiende a grandes profundidades y usualmente se limita a las 12 o 18 pulgadas superiores. Por consiguiente, la evaporación se alimenta de la humedad de las capas superiores que es suministrada por las lluvias periódicas. Por otra parte, la transpiración tiende a extraer la humedad dentro de los límites de la raíz, que a su vez podría estar limitada por la profundidad total del suelo o por su humedad.

Normalmente a la evaporación y transpiración se les considera juntas como evapotranspiración. En algunas localidades existen pruebas de que la evapotranspiración

podría estar limitada por la radiación solar y por consiguiente, si los procesos de las plantas están funcionando completamente, la evaporación del suelo podría ser poca. Por otra parte, durante la estación de inactividad, la transpiración podría ser insignificante y la evaporación podría estar limitada por la humedad disponible y por el calor.

Las tasas de evapotranspiración por lo general se miden diariamente en pulgadas, en condiciones óptimas, esto podría estar comprendido entre 0.2 a 0.3 pulgadas diarias, en zonas templadas y durante la estación de crecimiento cuando la transpiración es la característica dominante, alrededor de 0.15 pulgadas es normal, durante la estación de inactividad o en épocas cuando la tierra está cerca al punto de marchitez, la tasa podría ser casi cero.

La vegetación tiene un gran efecto en la infiltración. Esto fue definido al inicio del capítulo como la tasa a la cual la lluvia o el desnieve penetra en los intersticios del suelo. La influencia de la vegetación funciona en diferentes formas; al proteger la superficie del impacto, mantiene la importante estructura de migas o agregada que es esencial para una alta infiltración. En segundo lugar, las raíces abren canales en la tierra para la conducción del agua y su follaje forma una cubierta en la superficie de la tierra que retiene la humedad y es un factor importante dentro del proceso de formación de tierra vegetal. Finalmente, por medio del proceso de transpiración, la vegetación extrae la humedad de la tierra y establece un potencial de almacenamiento que se encuentra disponible cuando la humedad se infiltra. Obviamente, un suelo impregnado a cualquier nivel ya no puede absorber la humedad más rápido que el nivel de transmisibilidad en que se infiltran las aguas subterráneas.

Entre toda la vegetación natural, los bosques maduros tienen las tasas más altas de infiltración. Aún después de lluvias prolongadas de 0.30 a 0.50 pulgadas por hora, pueden mantenerse durante la etapa de crecimiento en un lugar con suelos profundos. Estas altas tasas pueden aproximares bastante a las tasas que se logran con un césped grueso que esté bien manejado y ligeramente comido por el ganado, aunque generalmente tienden a ser intermedias, entre 0.20 y 0.30 pulgadas por hora durante la etapa de crecimiento y más bajas en invierno. La cosecha de cultivos se asocian con tasas de infiltración más variables, debido a variaciones de la estación y a que no propician la mejor estructura de suelos y el mayor desarrollo de la capacidad de humedad de la tierra por medio del agotamiento. La tierra sin vegetación tiene la tasa más baja de infiltración debido al rápido cierre de la superficie y a la falta de capacidad de almacenaje de humedad. En la mayoría de los suelos estas tasas pueden ser generalmente de 0.10 pulgadas por hora o menos. Durante períodos cuando los suelos se congelan o están impregnados, todas las tasas de infiltración pueden aproximarse a cero, aún cuando existan pruebas de las ventajas que tienen los suelos de los bosques que se congelan en una forma de panal en lugar de en una forma sólida.

La infiltración y la escorrentía están estrechamente relacionadas y se complementan a un grado determinado. La escorrentía puede ser como lluvia en exceso que permanece después

de que se ha satisfecho la tasa de infiltración y/o la capacidad de almacenaje de humedad de la tierra. Los lugares con altas tasas de infiltración tienen bajas y frecuentemente escorrentías totales reducidas. De hecho, conclusiones de investigaciones indican que en bosques bajo optimas condiciones se pueden eliminar las escorrentías superficiales. El mecanismo de producción de escorrentías será discutido más ampliamente en las secciones subsiguientes.

LA FUNCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA

El agua se acumula en el suelo como retención superficial cuando llueve en exceso a la capacidad de infiltración de la tierra. Inicialmente dicha lluvia en exceso llena las depresiones de la superficie. Conforme se acumula un mayor exceso, se forma suficiente cantidad para causar un movimiento ladera abajo llamado escurrimiento o escorrentía superficial. La retención de la superficie generalmente es de 0.10 pulgadas o menos, de-pendiendo de la aspereza de la superficie, del método de cultivo y de la cantidad de mantillo o paja acumulada en la superficie y en la ladera. En ocasiones cuando es práctico hacer surcos de contorno o cuando se construyen terrazas de nivel para mantener la humedad, la retención puede ser considerablemente mayor y alcanzar el equivalente a una pulgada o más en toda la superficie. Después del período de lluvias, parte del agua retenida en la superficie se infiltrará y parte se evaporará.

La inclinación del terreno tiene un gran efecto en la velocidad con que corre el agua en la superficie de la tierra, las laderas con mucha pendiente dan una mayor velocidad. La escorrentía en laderas empinadas tiende a concentrarse más rápidamente en los cauces de corrientes y es causa principal de inundación, es especialmente junto a pequeñas corrientes. Esta mayor velocidad del escurrimiento superficial es a la vez un factor determinante para la erosión de la tierra. Con una mayor velocidad, la capacidad de la corriente del agua para arrastrar partículas de tierra aumenta más que proporcionalmente. A esto se debe que los terrenos quebrados sean muy susceptibles a la erosión y es uno de los factores más importantes que limitan los cultivos.

A pesar que la velocidad del escurrimiento superficial y que el potencial de erosión varía dependiendo de la ladera, el volumen de la escorrentía no varía. En otras palabras, no ha podido ser demostrado que las laderas empinadas cuenten con un mayor volumen de escorrentía. Esto posiblemente se explique en base a que los terrenos empinados cuentan con más superficie para infiltrar la lluvia que lo que indican los planos cartográficos, ya que estos son proyecciones horizontales. También la precipitación se mide en base a un plano horizontal, sin embargo, realmente se extiende en toda la superficie de la ladera empinada.

SUELOS Y PROCESOS HIDROLÓGICOS

El suelo es el verdadero corazón de la cuenca y el enfoque principal tanto de las influencias naturales como las manejadas por el hombre.

El suelo se puede considerar como pequeñas partículas de minerales, de materia orgánica, de humedad y de aire. La tierra se diferencia de la materia orgánica sin descomponer y de la materia original o roca madre en que mantiene las raíces de la vegetación. Las partículas de minerales provienen de las fuerzas físicas y químicas de la intemperización. La capa de materia orgánica y los elementos minerales son producto de la vida animal y vegetal que se ha entremezclado por medio de diferentes procesos, lo cual incluye la infiltración del agua. La humedad que es un elemento indispensable de la tierra, es suministrada por medio de la infiltración de la precipitación.

El suelo es una materia sumamente compleja y variable. Verticalmente varía de la superficie hacia abajo, también varía horizontalmente, ya que en unos cuantos pies de distancia existen diferencias. Los suelos a la vez varían con el tiempo, especialmente con relación a su contenido de humedad. Los siguientes párrafos describen las diferentes y más importantes características de los suelos que son de especial importancia para la hidrología y para el manejo de cuencas.

La profundidad total del suelo es de especial importancia ya que limita el volumen de la capacidad de almacenaje del agua. Los suelos poco profundos de menos de 12 pulgadas ofrecen oportunidades muy limitadas para el manejo efectivo de las cuencas.

Suelos completamente desarrollados como los que se encuentran en bosques maduros aún no explotados, están cubiertos por una capa de varias pulgadas de espesor de hojas y de otra materia de plantas sin descomponer. Debajo de esta se encuentra una capa de materia orgánica descompuesta o humus y de materia mineral. Este material es bastante liviano y muy permeable al paso del agua, llena de insectos y bacterias que descomponen los minerales, restos de vegetales y los vuelven tierra.

Bajo el manto de materia orgánica se encuentra el propio suelo, el cual consiste de capas distinguibles llamadas estratos. A estos estratos se les asignan letras del abecedario y cuando existen variaciones menores se les asignan números, por ejemplo A^1, A^2, B^1, B^2, C^1, C^2. El estrato A o suelo superior es normalmente el más fértil, flojo y permeable al paso del agua. En una dirección descendente, los estratos consecutivos por lo general se vuelven menos fértiles, contienen menos materia orgánica, son más com-pactos y cada vez son más impermeables al paso descendente del agua. Entre la última capa de suelo y la roca subyacente puede existir materia original que consista de partículas minerales desprovistas de materia orgánica. El Capítulo V describe en detalle la importancia de los diferentes suelos que son valiosos para el manejo de cuencas.

En áreas donde no existen bosques, generalmente no se encuentra presente la capa de la superficie de materia orgánica no descompuesta, sin embargo, si el suelo se formó en tierras de pastoreo, podría existir una capa profunda de alto contenido orgánico. Si la erosión hubiera estado activa, parte de la tierra vegetal superior pudo haberse perdido y parte del estrato B pudo haberse descubierto.

Al tamaño de las partículas de tierra se les llama textura. Estas partículas se dividen en tres amplias y muy reconocidas clases, siendo la arcilla la más fina, el limo la intermedia y la arena la más gruesa. Las tierras donde predominan las partículas finas tienen la mayor porosidad y capacidad de retención de agua, aunque mucha de esta humedad la mantienen fuertemente y no está fácilmente disponible. Dichas tierras son pesadas y compactas y no permiten fácilmente el paso del agua. Por otra parte, las tierras arenosas permiten el paso rápido del agua, sin embargo, tienen menos porosidad y menos capacidad de retención de agua.

Los valores generales de capacidad de retención de humedad en tierras con diferentes texturas, expresados en pulgadas de profundidad de agua por pie de profundidad de suelos, son los siguientes:

Arena fina	0.5 pulgada
Arcilla	4.5 pulgadas
Limo	2.5 pulgadas

A la forma y composición de las partículas de tierra se le llama estructura del suelo. Las partículas planas o redondas afectan mucho las características de paso y retención de la humedad. Otra característica de la estructura de los suelos se relaciona con la forma como las partículas individuales de tierra se agrupan juntas en forma de agregados, estos agregados se forman con la materia orgánica que une a las partículas individuales. Desde un punto de vista agronómico se desea la agregación, ya que hasta tierras arcillosas pesadas pueden cultivarse muy bien y ser resistentes a la erosión. También es de importancia hidrológica, ya que las partículas agregadas pueden superar los efectos de una textura fina y funcionar como un limo arenoso que permite el paso de agua libre. Los suelos arcillosos se comportan en forma diferente, dependiendo de si están mojados o secos y cuando están secos, de su tasa de contracción. Los suelos arcillosos con una leve tasa de contracción no se agrietan y al secarse se vuelven menos permeables. Los suelos arcillosos que se vuelven impermeables con la sequía algunas veces ocasionan las peores inundaciones.

Al porcentaje por volumen de la masa del suelo que no está ocupada por partículas sólidas se le llama porosidad. Este es el espacio disponible para el paso y almacenaje del agua, aire y obviamente, una característica de mucha importancia para la hidrología de una cuenca, la porosidad total del suelo es generalmente alrededor del 50 por ciento del volumen total. En parte esto incluye una porosidad capilar cuyas partículas de tierra mantienen fuertemente la

humedad contra la fuerza de gravedad. En los espacios mayores existe porosidad no capilar, que está inmediatamente disponible para el paso por gravedad del agua libre.

Al movimiento de agua descendente se le llama tasa de infiltración. Este término equivale a la tasa de penetración de humedad de la superficie. La tasa de filtración es una función de la textura y de las características de la estructura descritas anteriormente, así como del contenido de humedad en el momento. El contenido de humedad es un factor de especial importancia en suelos arcillosos que se dilatan, por consiguiente impiden el movimiento de la humedad cuando están mojados y cuando están secos se agrietan y permiten el paso inmediato del agua.

La disponibilidad de agua para las plantas se relaciona con la fuerza que las partículas de suelo guardan la humedad. La fuerza que requiere la raíz de una planta para extraer esta humedad puede ser expresada en libras por pulgada cuadrada o en unidades de presión atmosférica. Al nivel de humedad, cuando las plantas ya no la pueden extraer, se le llama punto de marchitez y ocurre aproximadamente a 15 unidades de presión atmosférica o 225 libras por pulgada cuadrada. A pesar de que la energía requerida al punto de marchitez es la misma para suelos de diferentes texturas, los suelos finos contienen mayor humedad residual que de otra manera no se encuentra disponible a las plantas. La humedad normal del suelo al punto de marchitez, como porcentaje del volumen, es de 2 a 5 por ciento para tierras arenosas y alrededor del 20 por ciento para tierras arcillosas.

Al máximo almacenamiento capilar que puede ser soportado contra la fuerza de la gravedad se le llama capacidad de retención de agua. A este nivel, las partículas de suelo mantienen la humedad con una fuerza de 1/3 de unidades atmosféricas o alrededor de cinco libras por pulgada cuadrada. La capacidad de retención de agua de un terreno arenoso puede ser alrededor del 10 por ciento de la humedad por volumen y de un terreno arcilloso aproximadamente el 40 por ciento. En esta forma puede verse que los terrenos arcillosos o de textura fina mantienen más humedad y también disponen de más humedad entre la capacidad de retención de agua y el punto de marchitez.

Cuando todos los poros en la tierra están completamente llenos de agua se dice que la tierra está saturada. La porción de agua en exceso y la capacidad de retención la misma que es soportada contra la fuerza de gravedad forma las corrientes de agua. Dependiendo de la carga hidráulica y de la porosidad del suelo, el agua en exceso se escurre después de estar temporalmente en depósito y se vuelve parte ya sea de escorrentías del subsuelo o subterráneas.

Durante o después de un período de lluvias o de desnieve, el agua penetra en la tierra por medio del proceso llamado infiltración. El agua continúa su filtración descendente detrás de un frente mojado u ola de humedad en superior a la capacidad de retención del agua. El movimiento descendente continúa mientras persista la humedad proporcionada desde arriba o hasta que alcance la capa freática, un suelo o capa de roca impenetrable. Sin embargo, no debe

pensarse que este movimiento descendente sea completamente regular. Además de la variante de los suelos anteriormente mencionada, existen canales como grietas, cuevas de gusanos y roedores y conductos dejados por raíces podridas. Cuando en determinada capa la tasa de penetración es inferior a la tasa de infiltración superior, el agua tienden a acumularse en exceso a la capacidad de retención de agua. Esta acumulación se mueve lateralmente y en forma descendente para volverse caudal de aguas del subsuelo.

GEOLOGÍA SUBYACENTE

Un asunto final e importante para las cuencas que debe ser investigado como parte de su planificación es la geología. En lo que a manejo se refieren, la roca subyacente por lo general forma la base de la cuenca. La geología afecta a la hidrología de la cuenca en dos formas muy importantes. Primero, la forma de las rocas subyacentes determinan si las aguas sub-terráneas coinciden con los límites de la cuenca según la configuración del terreno. Para todos los propósitos prácticos, dicha coincidencia es excelente, sin embargo, la roca subyacente puede no estar relacionada con la forma de la superficie, por lo general coinciden cuando los suelos son delgados y son residuales de rocas locales. Si la topografía muestra bastante erosión geológica o reciente y los suelos son gruesos, es muy difícil que coincidan. El segundo aspecto importante es si la roca subyacente es impenetrable al paso descendente del agua. En los casos cuando la roca esté agrietada o tenga muchas ranuras, podría ser que no guardara el agua. Las consecuencias son una falta de agua subterránea y falta de flujo de agua en la cuenca.

Un objetivo frecuente del manejo de cuencas es incrementar la infiltración de la precipitación para reducir la erosión y las inundaciones repentinas, mientras que se aumenta la humedad del suelo y se estabiliza el flujo de corrientes. Particularmente en dichos casos la geología asume importancia especial. Si la roca subyacente se inclina al contrario de la salida de la cuenca o si esta roca es penetrable, la escorrentía de la cuenca se reducirá seriamente y no se podrán incrementar las pequeñas corrientes. Esto se debe al hecho de que una escorrentía superficial reducida es resultado de una filtración más profunda, así como de una mayor humedad del suelo. Si la filtración profunda no forma parte de la escorrentía de la cuenca, el objetivo deseado no será alcanzado.

CAUCES DE CORRIENTES Y ESCORRENTÍA

Según se describió en la sección de topografía, el escurrimiento superficial podría continuar únicamente unos cuantos pies o tanto como cien pies o más antes de llegar a un cauce.

Estos cauces río arriba son generalmente corrientes irregulares que únicamente fluyen durante tormentas y periodos cortos, después de lluvias o de desnieve. Dichos cauces pequeños llevan principalmente escorrentía que es producto del escurrimiento superficial. Como tales, estas corrientes son demasiado variables en flujo y muy sensibles a la intensidad de la lluvia, al manto vegetal y a las condiciones del suelo.

Los nacimientos irregulares de agua pueden ser utilizados por medio de la construcción de presas. Un buen ejemplo de estos son los estanques agrícolas donde se guarda agua para darle de beber al ganado y para la irrigación.

En una dirección descendente, las corrientes pequeñas e irregulares se juntan y forman ríos, drenando áreas mayores, conforme aumente el área que contribuye, es probable que las corrientes fluyan continuamente. Una razón de esto es el mayor trayecto involucrado para el desagüe de la escorrentía superficial. Mientras que una corriente irregular podría fluir únicamente durante unos cuantos minutos o quizás una hora después de la lluvia, el período necesario para una escorrentía de un área de 1,000 millas cuadradas podría ser unos días o una semana. Lechos mayores de corrientes requieren varias semanas. Otra razón de la duración de flujos en corrientes mayores, especialmente en regiones húmedas, es que el agua del subsuelo y subterránea podrían también estar contribuyendo. Los flujos subterráneos brotan junto o sobre estratos de roca o zonas de suelos con materia bastante impenetrable. Dichos flujos también se encuentran bajo cuencas más pequeñas, sin embargo, no fluyen en cauces superficiales. Conforme las corrientes hagan más cauces descendentes, éstas tienden a interceptar tal cantidad de flujos subterráneos que posteriormente escapan a la corriente superficial en forma de filtraciones o manantiales, ya que el flujo subterráneo brota a bajas velocidades, después de una lluvia podría continuar contribuyendo a una corriente de uno a tres meses. Este derrame constante llena la brecha entre los períodos de lluvias y tiende a establecer tasas de flujo continuo aunque variable.

Por lo general, en regiones áridas no existen zonas de aguas subterráneas subyacentes por lo que dichas contribuciones no existen. Por consiguiente, tenemos el fenómeno de lechos agotados con quizás miles de millas cuadradas de áreas que se secan si las lluvias que las complementan no son frecuentes. Además de esto, si el lecho de la corriente está formado por arena y grava penetrable, la corriente puede escaparse a su estrato o a una hondonada que colinde con una masa de agua y realmente el flujo disminuirá en una dirección aguas abajo.

La escorrentía es producto de la precipitación, sin embargo, también es un residuo que queda después de que se han satisfecho las necesidades de la vegetación y del suelo. Por consiguiente, todos estos factores influyen en la cantidad de la escorrentía y por lo general, la escorrentía muestra un patrón estacional con distintas irregularidades relacionadas con los períodos de lluvias o de desnieve. Anualmente la escorrentía varía en más de 40 pulgadas en áreas húmedas de alta precipitación a menos de una pulgada en regiones áridas. Dentro de

estas tasas extremas, un área normal con 30 pulgadas de precipitación podría tener escorrentías de 8 a 10 pulgadas por año.

El flujo de la corriente o la escorrentía se muestra más comúnmente por medio del hidrograma, que es una gráfica continua del gasto de la corriente contra el tiempo. El hidrograma puede ser utilizado para representar el flujo total de una corriente o por medio de un análisis puede representar una porción del flujo como la escorrentía superficial, la escorrentía del subsuelo o la escorrentía subterránea. El hidrograma es aproximadamen te de forma triangular, con un brazo fuertemente empinado ascendente y un brazo descendente o de recesión más plano. Cada corriente tiene sus propias características hidrográficas que reflejan las variables de drenaje del cauce que influencian y alteran la escorrentía. Es difícil generalizar una expresión matemática para el brazo ascendente del hidrograma, sin embargo, la parte descendente subsecuente a la cresta representa las aguas de drenaje almacenadas en el cauce de la corriente del depósito de aguas subterráneas. El brazo de recesión tiene una fórmula característica que sigue la siguiente ecuación general:

$$Q = Q_0 K^{-t}$$

En la cual Q es la descarga de un instante; Q_0 es la descarga en el momento inicial; t es el intervalo de tiempo entre Q_0 y Q; K es una constante. La ecuación anterior es de suma utilidad para predecir los flujos futuros de la corriente durante los periodos de recesión, así como para calcular las características de almacenaje del cauce del río.

El flujo de la corriente es la única fase del ciclo hidrológico cuando el agua está guardada de tal manera que hace posible que su volumen sea medido en una forma bastante precisa. En el mejor de los casos, todas las demás medidas del ciclo hidrológico son únicamente muestras representativas. La medida del flujo de la corriente incluye dos pasos. Primero la medida de la altura del río, que es la altura del agua sobre algún nivel arbitrario pero determinado y segundo, la correlación de esta altura del río con la descar-ga. La medida de la descarga del río utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = A * V$$

En la cual Q es la descarga en pies cúbicos por segundo, A es el área de la sección transversal del flujo de la corriente en pies cuadrados y V es la velocidad media de la corriente en pies por segundo. Los lugares de descarga se determinan con la medida de la velocidad con un metro común, así como el área de la sección transversal del flujo de la corriente. El resultado de esto es la descarga del río, valor que se representa gráficamente contra la altura actual del río. Los lugares gráficamente representados de dichas medidas de altura y descarga en toda su

extensión definen una relación parabólica que es la curva de gastos en la estación. Con esta curva de gastos y con registros periódicos o continuos de la altura del río, es posible desarrollar un registro continuo del gasto de descarga del río. La descarga del río durante periodos de tiempo representa el volumen de la escorrentía.

Apéndice 4

Muro de Contención de Malla de Alambre Soldado: Guía para la Construcción

USOS DE GEOTEXTILES PARA ESTABILIZAR Y CONSTRUIR CARRETERAS SOBRE SUBRASANTE DE SUELOS BLANDOS.

Autor: Ing. J. Roberto Montalvo, MSCE.
Polyfelt Américas, USA

1. INTRODUCCION

La causa mayor de fallas en carreteras construidas sobre subrasante de suelos blandos es el drenaje pobre y la pérdida de capacidad de carga de la base estructural del pavimento. Esto es debido a la contaminación de los agregados por el continuo bombeo de suelos finos de la subrasante hacia la base granular durante la etapa de construcción de la misma y a través de la vida útil del pavimento. Este tipo de fallas son más frecuentes en areas de suelos finos, húmedos o saturados, con un alto grado de sensibilidad al remoldeado.

Uno de los usos más importantes de geotextiles es la estabilización y construcción de carreteras sobre subrasante de suelos blandos y con problemas de drenaje. Las funciones principales del geotextil en este tipo de aplicación son las siguientes [1]:

a. Separación,
b. Filtración y Drenaje,
c. Refuerzo.

Este artículo describe las funciones, beneficios, y principios de diseño usando geotextiles en la estabilización y construcción de caminos sobre subrasante de suelos blandos.

2. PRINCIPIOS DE DISEÑO Y BENEFICIOS USANDO GEOTEXTILES EN CARRETERAS.

La metodología para estabilizar subrasante de suelos blandos usando una combinación de geotextiles y agregados está muy bien establecida. El geotextil se coloca entre el material granular de base y la subrasante ("separación") para evitar la contaminación y al mismo tiempo mantener la integridad de la base estructural del pavimento. Por consiguiente, el geotextil debe retener las partículas de suelos muy finos manteniendo una alta permeabilidad y permitiendo el drenaje ("filtración y drenaje") de las aguas acumuladas en la base ó en la subrasante del pavimento. Con el tiempo, un drenaje adecuado del pavimento mantiene o aumenta la capacidad estructural de la subrasante.

Una función secundaria del geotextil en carreteras, es el refuerzo. El geotextil introduce un miembro de refuerzo debajo de la capa granular el cual actúa como medio de restricción de los agregados. Esta función de refuerzo provee dos beneficios:

1. El geotextil reduce los esfuerzos cortantes en la capa inferior de la base granular los cuales de otro modo hubieran sido transferidos a la subrasante.

2. El geotextil provoca un aumento del módulo de elasticidad de la capa granular debido a la restricción y confinamiento en la capa inferior de la base. Esto provoca la reducción de esfuerzos hacia la subrasante.

Además, el geotextil puede actuar como una membrana en tensión y directamente soportar las cargas vehículares. Sin embargo, el efecto de membrana en tensión solo se producirá si las cargas vehículares producen roderas muy pronunciadas en la subrasante. Esta situación no es muy frecuente o permitida en el diseño y construcción de carreteras de primera categoría. Giroud, Ah-Line y Bonaparte (1984) [2] demostraron que a menos que la profundidad de las roderas producidas por las cargas vehículares sean de 10 - 15 cm, el efecto de las mismas son insignificantes.

Actualmente no existe una forma quantitativa de evaluar el aumento en la capacidad estructural del pavimento cuando se introduce un geotextil como medio separador, filtrante, y de drenaje. Sin embargo, de forma qualitativa, el uso de geotextiles para estabilizar carreteras sobre subrasante blandas nos dirigen a varios beneficios en el costo y funcionamiento de las misma, los cuales incluyen:

1. Reducción de la intensidad de los esfuerzos y la penetración de agregados de la base o sub-base hacia la subrasante.

2. Prevención de la migración de finos desde la subrasante hacia la base o sub-base.

3. Prevención de la contaminación de la base o sub-base (artículo 2) lo cual permite la utilización de materiales granulares con una densificación más abierta, y por consiguiente ayuda al drenaje del pavimento.

4. Reducción del espesor de la excavación requerida para remover el material pobre o de baja capacidad de carga en la subrasante del pavimento.

5. Reducción de la cantidad de materiales requeridos para estabilizar la subrasante.

6. Reducción los daños o disturbios de la subrasante durante la etapa de construcción, lo que resulta en una mejor base de apoyo para la capa estructural del pavimento o superior subrasante.

7. Si asentamientos ocurren, el geotextil ayuda a mantener la integridad y uniformidad del pavimento. El geotextil no previene los asentamientos de la subrasante pero su uso puede resultar en asentamientos más uniformes (Boutrup y Holts, 1983 [3].

8. En areas de transición, de corte a relleno, el uso de geotextiles asiste en la reducción de asentamientos diferenciales.

9. Los geotextiles pueden también ser usados como capa de rompimiento del ascenso de aguas por capilaridad.

Geotextiles agujados, no tejidos son comúnmente usados para la estabilización de carreteras debido a su alto grado de permeabilidad y la capacidad de drenaje en el plano de los mismos.

3. METODO DE DISEÑO

Todas las carreteras, permanentes o temporales, caminos vecinales o forestales, etc. derivan su soporte estructural de la base/sub-base construida sobre la subrasante. Por lo tanto, la funciones del geotextil son similares para cualquier tipo de caminos. Sin embargo, debido a que los requerimientos para el funcionamiento son diferentes, existe una diferencia esencial en la filosofía de diseño a utilizar. La diferencia principal se refiere a la aceptación de roderas a través de la vida útil del pavimento en carreteras temporales o caminos vecinales sin impedir su funcionamiento. Por su puesto, en el diseño de carreteras permanentes o de primera categoría roderas no son permitidas.

3.1 Carreteras Permanentes ó Principales.

El diseño de la estructura del pavimento en este tipo de carreteras consiste en los pasos siguientes:

1. Evaluar la necesidad del geotextil basándonos en la capacidad de carga de los suelos de la subrasante (e.g.CBR < 3) y usando las experiencias en el funcionamiento de otras carreteras con suelos similares.

2. Determinar los requerimientos estructurales del pavimento usando la "Guía de Diseño Estructural de Pavimentos de la AASHTO, 1972" [5] sin darle ningún valor estructural al geotextil o usar el método de diseño aplicable a su país ó región.

3. Después de determinar el espesor de las distintas capas, estructurales del pavimento, evalúe si el método de diseño usado incluye una cantidad adicional de agregados para estabilizar la subrasante debido a la posibilidad de contaminación o pérdida del valor estructural de la base por la mezcla de suelos finos procedente de la subrasante. Si una cantidad adicional ha sido añadida, reduzca un 50% esta cantidad adicional e incluya un geotextil en la línea de separación de la base o sub-base y la subrasante (FHWA, 1989)[1].

4. Determinar la cantidad adicional de agregados requerida en la base ó

subbase para estabilizar la subrasante y para permitir las actividades de construcción. El espesor adicional es determinado usando el procedimiento desarrollado por Stewart's, et al (1977) para el diseño de caminos forestales temporales [4]. Un criterio de profundidad de roderas de 7.5 cm es usado en sus análisis. Comparar el espesor de la capa geotextil/agregado requerido con la cantidad reducida del agregado necesario para la estabilización de la subrasante, paso #3, y seleccionar el espesor más grande el cual se suma al espesor requerido por el diseño estructural del pavimento.

5. Basado en la actividades de construcción previstas, las propiedades mecánicas del geotextil son determinadas. Estas deben cumplir con los criterios de resistencias al funcionamiento desarrollado por AASHTO M288-90, Tablas 4.1 y 4.2 [1].

6. Basado en los conocimientos de los suelos de la subrasante, e.g. granulometría y clasificación, permeabilidad, etc., los requerimientos hidráulicos del geotextil son determinados de acuerdo con el método presentado en el manual de diseño con geotextiles del FHWA [1] y presentado posteriormente en este documento.

3.1.1 Espesor de las Capas del Pavimento

La estructura del pavimento flexible es un sistema de capas de distintos espesores y por lo tanto debe diseñarse de esta manera. Los espesores de las capas del pavimento son calculados en función del valor estructural (SN), "Método de Diseño AASHTO, 1972" [5], y el coeficiente del material de cada capa (a_i).

$$SN \leq \sum a_i \cdot D_i$$

Para un pavimento de dos capas:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2$$

donde:

SN = valor estructural del pavimento.

a_1, a_2 = coeficientes de los materiales usado en la capa de rodadura y de la base ó sub-base, respectivamente.

D_1, D_2 = Espesores de las capas de rodadura y de base ó sub-base, respectivamente.

Para determinar el Valor Estructural (SN) usando el método AASHTO, Figura 1, los siguientes valores son requeridos:

a. El valor de soporte del suelo (S) ó el CBR.
b. El factor regional (R).
c. El índice de servicio del tipo de camino (P_i).
d. El número total de repeticiones de las cargas vehículares equivalente a un eje de un camión sencillo de 80 KN (EAL).

3.2 Caminos Vecinales ó Temporales - Espesores Requeridos para la estabilización de la subrasante.

El método presentado es para el diseño y construcción de caminos vecinales ó temporales y/o para la determinación del espesor mínimo sobre la capa de la subrasante. Este método de diseño fue desarrollado por Stewart, et.al. [4]. El espesor sobre la capa subrasante/geotextil es determinado en función de las cargas vehículares y producto $c.N_c$. El factor de capacidad de carga del suelo (N_c) para diferente roderas del pavimento y condiciones del tráfico son:

	Roderas (cm.)	Tráfico (EAL)	Factor (N_c)
No Geotextil	<5	>1000	2.8
	>10	<100	3.3
Con Geotextil	<5	>1000	5.0
	>10	<100	6.0

El valor "c" es la cohesión del suelo.

Las Figuras 2 y 3 presentan curvas de diseño para eje sencillo y combinados [4].

Este método de diseño es también usado para determinar el espesor mínimo que permite el tráfico de equipos de construcción sin daño al geotextil. Este valor es comparado con el determinado usando el número estructural requerido y anteriormente computado. El mayor espesor se tomará como el espesor de diseño.

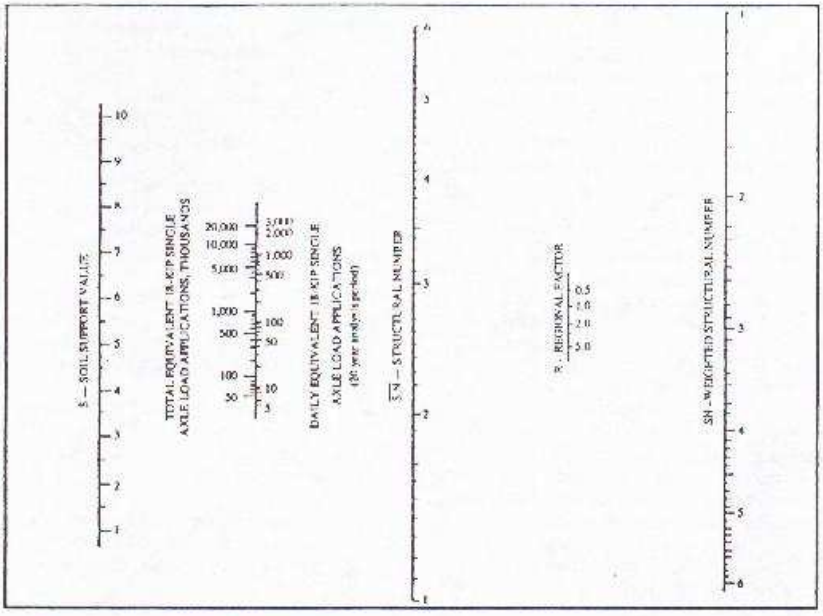


Figura 1 - Valor o Número Estructural (SN) para Carreteras de Primera Categoría, P_t = 2.5

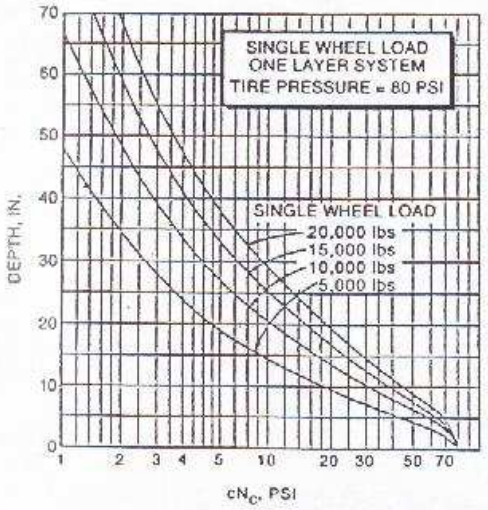


Figura 2 Curvas de Diseño del Espesor Camiones de Eje Sencillo [4].

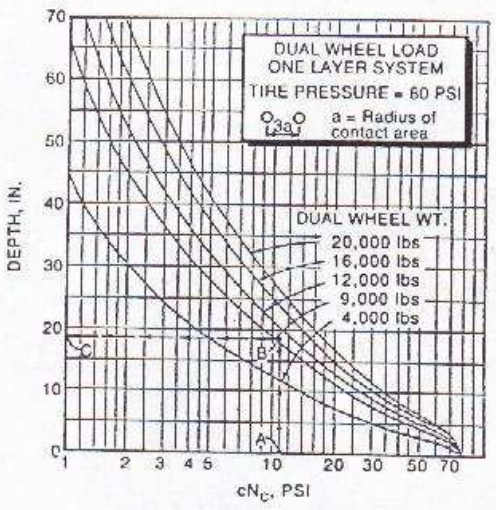


Figura 3 Curvas de Diseño del Espesor Camiones de Eje Combinados [4].

4.0 SELECCION DEL GEOTEXTIL

Para que el geotextil funcione apropiadamente en la estabilización de carreteras, debemos cuidadosamente considerar las propiedades requeridas del mismo. El geotextil seleccionado para esta aplicación debe cumplir ó exceder las propiedades mecánicas, hidráulicas, y de envejecimiento, requeridas por el diseño.

4.1 Requerimientos Mecánicos - Criterios de Severidad.

La selección inapropiada del geotextil puede resultar en fallos del mismo durante la construcción ó en el período inicial de la vida útil del pavimento, especialmente cuando se utilizan agregados angulares y de tamaños excesivos. Esto regularmente arruina las funciones de separación y filtración del geotextil. Por consiguiente, el geotextil debe tener suficiente resistencia a los esfuerzos en la instalación y esfuerzos permanentes a través de la vida útil del pavimento.

La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de América (FHWA) ha desarrollado guías para determinar los requerimientos mínimos del geotextil [1]. Estos requerimientos mínimos están incorporados en las especificaciones para geotextiles de AASHTO, M288-90. Tablas 4.1 y 4.2 presentan las propiedades mecánicas mínimas del geotextil en función del nivel de severidad de los equipos de construcción, agregados, y condiciones de la subrasante.

Estas recomendaciones reconocen la habilidad de los geotextiles agujados, no tejidos de alta elongación para deformarse cuando sometidos a las cargas vehículares, los cuales los hacen menos susceptibles al desgarre que los geotextiles tejidos en la etapa de construcción. Por consiguiente, los requerimientos mecánicos de los geotextiles no tejidos son menores que para los geotextiles tejidos considerando las mismas condiciones en la etapa de construcción.

Cuando el equipo de construcción y las condiciones de campos no pueden ser cuidadosamente controlados, los geotextiles clasificados para alta severidad deben usarse. Geotextiles con esfuerzos moderado deben solamente usarse cuando el ingeniero del proyecto tiene un buen control de calidad de las actividades de campo o para aplicaciones menos críticas.

En construcciones típicas de carreteras, regularmente se utilizan agregados de 5 - 10 cm. de tamaño máximo, la selección del geotextil está controlada por los requerimientos hidráulicos.

Tabla 4.1 Clase de Severidad en la Construcción [1].

Construction Survivability Ratings (Task Force 25, 1989)						
SITE SOIL CBR AT INSTALLATION	< 1		1 - 2		> 3	
EQUIPMENT GROUND CONTACT PRESSURE (PSI)	> 50	< 50	> 50	< 50	> 50	< 50
COVER THICKNESS (IN)[1] (COMPACTED)						
4[2,3]	NR	NR	H	M	M	M
6	NR	NR	H	H	M	M
12	NR	H	M	M	M	M
18	H	M	M	M	M	M

H = HIGH
M = LOW
NR = NOT RECOMMENDED

[1]Maximum aggregate size not to exceed one half the compacted cover thickness.
[2]For low volume unpaved roads (ADT < 200 vehicles).
[3]The four-inch minimum cover is limited to existing road bases and not intended for use in new construction.

Tabla 4.2 Requerimientos Mecánicos del Geotextil [1]

Construction Survivability				
SEPARATION/STABILIZATION				
	High Survivability Level		Medium Survivability Level	
	Woven	Non-woven	Woven	Non-woven
Grab Strength ASTM D-4632	≥270 lbs	≥180 lbs	≥180 lbs	≥115 lbs
Elongation ASTM D-4632	<50%	≥50%*	<50%	≥50%*
Puncture Strength ASTM D-4833	≥100 psi	≥75 psi	≥70 psi	≥40 psi
Tear Strength ASTM D-4533	≥100 lbs	≥75 lbs	≥70 lbs	≥40 lbs

*Values of geotextile elongation do not imply the allowable consolidation properties of the subgrade soil. They must be determined by a separate investigation, but are intended to show that for fabrics with elongation (<) 50%, a higher strength is required.

4.2 Requerimientos Hidráulicos

Las características hidráulicas del geotextil deben garantizar el paso libre del agua y al mismo tiempo retener las partículas más pequeñas del suelo.

Separación - Criterio de Retención. La función principal del geotextil en la estabilización de caminos es la separación de los agregados y el suelo de la subrasante. El geotextil debe retener los suelos de la subrasante y prevenir la migración de los finos hacia la base estructural del pavimento. Por lo tanto, un criterio de retención similar al requerido para filtración y drenaje con materiales granulares bien graduados, debe ser

usado para controlar el movimiento de los finos, Tabla 4.3 [1].

Drenaje y Filtración - Criterios de Permeabilidad y Bloqueo. La subrasante debe drenar el exceso de agua a través del geotextil. Sino, se desarrollaran altas presiones hidráulicas en la subrasante durante ó después de la construcción del camino, lo cual podría influir en la pérdida de capacidad de carga de la subrasante ó migración de finos hacia la base estructural del pavimento.

Tabla 4.3 Criterio de Retención (FHWA)

Suelos	Flujo Uniforme	Flujo Dinámico
<50% finos (tamiz #200)	$AOS \leq B.D_{85}$	
	$C_u \leq 2$ o ≥ 8: $B=1$	
	$2 \leq C_u \leq 4$: $B=0.5C_u$	
	$4 \leq C_u < 8$: $B=8/C_u$	$AOS \leq D_{85}/2$
>50% finos		
Tejidos:	$AOS \leq D_{85}$	$AOS \leq D_{85}/2$
No Tejidos:	$AOS \leq 1.8D_{85}$	
AOS(geotextil)	≤ 0.3 mm (tamiz #50)	

Nota: 1. Cuando el suelo protegido tiene granos desde 25 mm hasta tamaños más finos del tamiz #200, use solamente la granulometría de los suelos que pasan el tamiz #4 para seleccionar el geotextil. 2. La selección del geotextil debe estar basada en el requerimiento más grande de la apertura de poros (AOS, tamiz más pequeño).

El grupo de Fuerza 25 (Task Force 25, FHWA) recomienda que el geotextil debe ser más permeable que el suelo de la subrasante. Sin embargo, este criterio asume que el geotextil va a ser parcialmente o totalmente bloqueado por las partículas de suelos que están reteniendo. Numerosos estudios demuestran que si bloqueo del geotextil ocurre, la permeabilidad del mismo se reduce una magnitud ó la permeabilidad del sistema es igual a la permeabilidad del suelo de la subrasante. El mismo bloqueo del geotextil puede ocurrir bajo condiciones hidráulicas dinámicas que son anticipadas en la capa de contacto del geotextil y el suelo. Si esto ocurre, la permeabilidad del geotextil debe ser 10 veces más alta que la del suelo. Para estructuras permanentes, se recomienda una permeabilidad mínima de 0.1 cm/s. Para agregados de drenajes pobres, se recomienda que la permeabilidad en el plano del geotextil debe ser igual a la permeabilidad horizontal requerida.

La filtración esta relacionada al tamaño de poros requeridos para reducir el potencial del geotextil al bloqueo. Este requerimiento es comúnmente olvidado en las especificaciones para geotextiles usado en la estabilización de caminos, sin embargo es una consideración muy importante debido a que influye en el funcionamiento a largo plazo del pavimento. El método de diseño apropiado debe relacionar la características de los poros del geotextil a los tamaños de las partículas de los finos de la subrasante, de tal modo que el geotextil retenga la fracción gruesa de estos finos dejando pasar las partículas más pequeñas, las cuales son la que regularmente bloquean el geotextil. El grupo de Fuerza 25, FHWA [1] recomienda que el geotextil debe tener una apertura aparente de poros (AOS) menor de 0.3 mm para suelos finos con más del 50% pasando el tamiz #200. Este criterio puede ser aumentado a 0.6 mm para suelos finos con fracciones gruesas.

5.0 COLOCACION DEL GEOTEXTIL.

5.1 Preparación

El terrero debe ser limpiado y nivelado, como se indican en los planos y especificaciones. Remueva todos los objetos angulosos, rocas grandes, troncos, etc.

5.2 Colocación del Geotextil

1. El geotextil debe ser colocado sobre la subrasante en la dirección del tráfico de construcción lo más uniformemente como sea posible evitando los grandes pliegues (con excepción de las curvas y esquinas). Paneles continuos deben ser solapados en la dirección de colocación del material. El solape mínimo es de 30 cm, como presentado en los planos y especificaciones. Paneles continuos del geotextil pueden ser conectados usando máquinas de coser ó calentar, siempre y cuando la unión cumplas con los mínimos requisitos a la resistencia a la tensión (Grab).

2. En curvas, el geotextil debe ser doblado ó cortado y solapado en la dirección del giro. Los mínimos requerimientos del solape deben ser cumplidos. Doblados en el geotextil deben ser grampado ó asegurado con pasadores cada 12.5 cm de centro a centro.

5.3 Colocación del Material

El agregado debe ser depositado retrocediendo el camión hacia el geotextil cerca de la orilla ó sobre agregados ya depositado. La primera capa de agregados debe ser distribuida y nivelada hasta que el espesor de esta capa es de 30 cm ó el espesor de diseño, si es menos de 30 cm. Un espesor compactado mínimo de 15 cm debe mantenerse en todos los casos.

5.4 Compactación del Material

La compactación de la primera capa debe ser realizada con pasadas del tractor distribuidor y nivelador y seguido por Rodillos compactadores hasta alcanzar la compactación especificada. Los vehículos de construcción que crean roderas en la superficie del pavimento mayores de 7.5 cm no deben ser permitidos. Todas roderas que ocurren durante la etapa de construcción deben ser llenado con más agregados y compactado hasta alcanzar la densidad especificada. La construcción de la capa inicial debe ser conducida de una forma paralela a la alineación de la carretera sin permitir maniobra de giro. Paradas abruptas y arrancadas deben ser evitadas donde sea posible.

5.5 Reparación de Daños

Hoyos, desgarres, u otros daños en el geotextil, determinado por el ingeniero de campo, deben ser reparados inmediatamente. El material de relleno debe ser removido del area dañada una distancia razonable para permitir el solape con nuevo geotextil y debe extenderse un metro en toda la dirección del perímetro del area deteriorada. El espesor de agregado removido debe ser re-emplazado y compactado a la densidad especificada.

6.0 CONCLUSIONES

El procedimiento presentado en este artículo es para el diseño de caminos usando geotextiles para la estabilización de subrasante de suelos blandos. El método considera que la primera capa de agregados es para estabilizar la subrasante y es computada usando procedimientos desarrollado por el departamento de foresta de los Estados Unidos para caminos vecinales ó temporales de acceso a areas forestales. Asumimos que el geotextil proporciona no valor estructural y por lo tanto no reduce el espesor de la sección estructural del pavimento flexible. El ahorro de agregados es logrado por la reducción en el espesor de los agregados necesarios para estabilizar la subrasante. Además, el uso del geotextil proporciona un mejor drenaje de las aguas acumuladas en la capa de la base/subrasante, manteniendo la integridad de la base y el valor estructural de la misma.

REFERENCIAS

1. Christopher, B.R. and Holtz, R.D. (1989), "Geotextile Design and Construcción Guidelines", STS Consultants Ltd. and Geoservices, Inc., Report to Federal Highway Administration, Contract No. DTFH-86-R-00102, Washington, D.C.

2. Giroud, Ah-Line and Bonaparte (1984), "Design of Unpaved Roads in trafficked Areas with Geogrids", Proceedings of the Symposium on Polymer Grid Reinforcement, ICE, London.

3. Boutrup, E. and R.D. Holtz (1983), "Analysis of Embankments of Soft Ground Reinforced with Geotextiles", Proceedings of the Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, helsinki, Vol. 2, pp. 469-472.

4. Stewart, J., R. Williamson and J. Mohney (1977), "Guidelines for Use of fabrics in Construction and Maintenance of Low-Volume Roads", USDA, Forest Service, Portland, Oregon. Also published as Report No. FHWA-TS-78-205.

5. "AASHTO "Interim Guide For Design of Pavement Structure", Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, 1972.

Apéndice 5

Usos de Geotextiles para Estabilizar y Construir Carreteras sobre Subrasante de Suelos Blandos

MURO DE CONTENCION DE MALLA DE ALAMBRE SOLDADO
Guía Para La Construcción

MURO HILFIKER
3900 Broadway • P.O. Box 2012
Eureka, California, E.U. 95502-2012
(707) 443-5093
Para llamar gratis en California (800) 762-7967
Para llamar gratis en E.U. (800) 762-8962
FAX (707) 443-2891

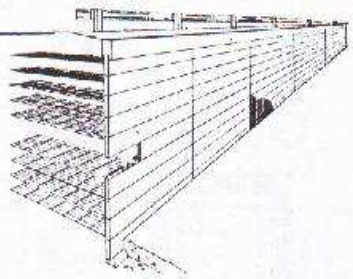
HILFIKER-TEXAS, CORP.
637 West Hurst Boulevard
Hurst, Texas, E.U. 76053
(817) 268-1044
Para llamar gratis en E.U. (800) 634-1913
FAX (817) 282-0694

Los Muros Hilfiker de Malla de Alambre Soldado están protegidos por las siguientes patentes: patente número 4,117,686; 4,329,089; 4,505,621 y otras pendientes.

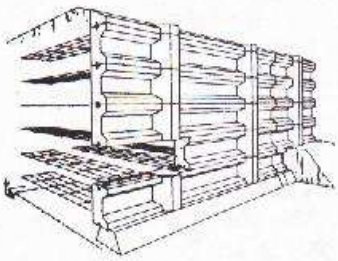
Muros de Contención Hilfiker
Otros Productos

Nuestro diseño mas nuevo de escama o tablero de concreto prefabricado es el

Terraplén de Tierra Reforzado (Cara Lisa).



El Terraplén de Tierra Reforzado Cara Lisa presenta una variedad de posibilidades para la arquitectura, tanto como su acabado fino que satisfacerán casi cualquier requisito de especificación. La escama estándar es de 2.9 metres cuadrados (31.25 pies cuadrados) [3.81m (12.5') de largo por 762mm (2.5') de alto.] También producimos escamas especiales, las cuales pueden variar de 535mm a 1.83m (1.75' a 6.0') en altura para ajustarse a diferentes requerimientos en muros. Esto, combinado con el voladizo de la base en la parte trasera de la escama, permitirá rangos de construcción rápidos, además de una compactación mejorada en la cara del muro.

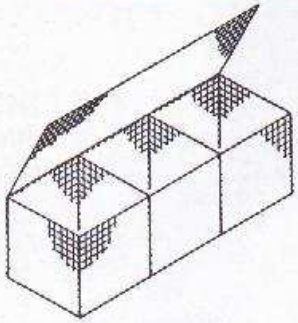


Terraplén de Tierra Reforzado (Escama de Sombra).

El Terraplén de Tierra Reforzado Escama de Sombra es una estructura compósita de tierra. Las mallas soldadas refuerzan el suelo, dando la fuerza de tensión para que este suelo compactado sea una estructura estable. Las escamas de concreto retienen el relleno y ofrecen un aspecto agradable. La malla de 152mm x 610mm (6' x 24') permite el uso de una amplia variedad de suelos como relleno gracias a la resistencia de la malla. Las partes del muro son diseñadas específicamente para una construcción fácil y rápida. Todos los componentes del muro se juntan sin herramienta ni cerrojos, y las partes son estables inmediatamente después de su instalación. Las escamas estándar se pueden colocar atraves de un radio mínimo de 45.72 metres (150 pies). Para un radio mas chico o para muros con ángulos, se fabrican terminaciones de escamas con ángulos. La escama estándar es de 3.81m de largo por 610mm de alto (12.5' a 2.0').

Gaviones ArtWeld

Gaviones ArtWeld son ensamblados en la fábrica con malla de alambre soldado de 76mm x 76mm (3" x 3"), y son enviados doblados. Los tamaños convencionales están disponibles desde 7.32m x 1.83m x 914mm (24' x 6' x 3'), y los tamaños especiales también se pueden proveer. Se puede cortar la malla a cualquier tamaño o forma sin perder la fuerza estructural. Comparado con los gaviones convencionales, el diámetro de alambre mas grande y la estructura soldada le da mas fuerza, una vida mas larga y una instalación mas fácil. Los amarres en espiral usados en los ensambles en el campo son rápidos y fáciles de hacer.



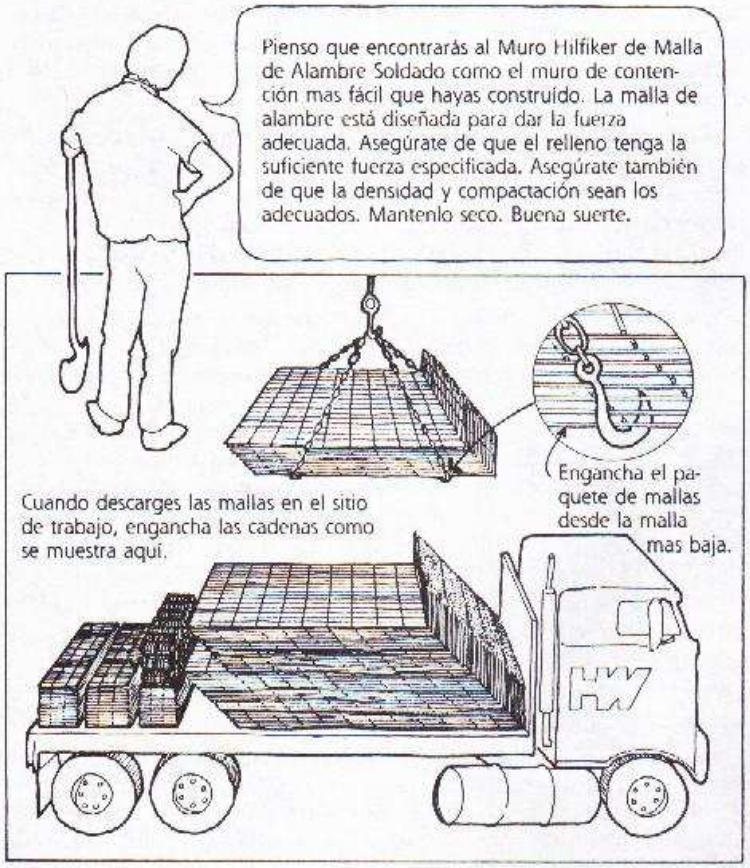
El Muro de Contención de Malla de Alambre Soldado es una estructura compósita de tierra. Las mallas de alambre soldado refuerzan la tierra, proveyendo la fuerza de tensión necesaria para que esta tierra compactada sea una estructura estable.

El espaciamiento de 152mm x 229mm (6" x 9") en el tejido de la malla de refuerzo permite el uso de una amplia variedad de tierras para relleno y por esta razón el muro de malla de alambre soldado tiene una superior resistencia al punto de falla. Usualmente, se pueden usar materiales de la localidad encontrados en la excavación o cerca del sitio de trabajo como materiales de relleno en el **Muro de Malla de Alambre Soldado.**

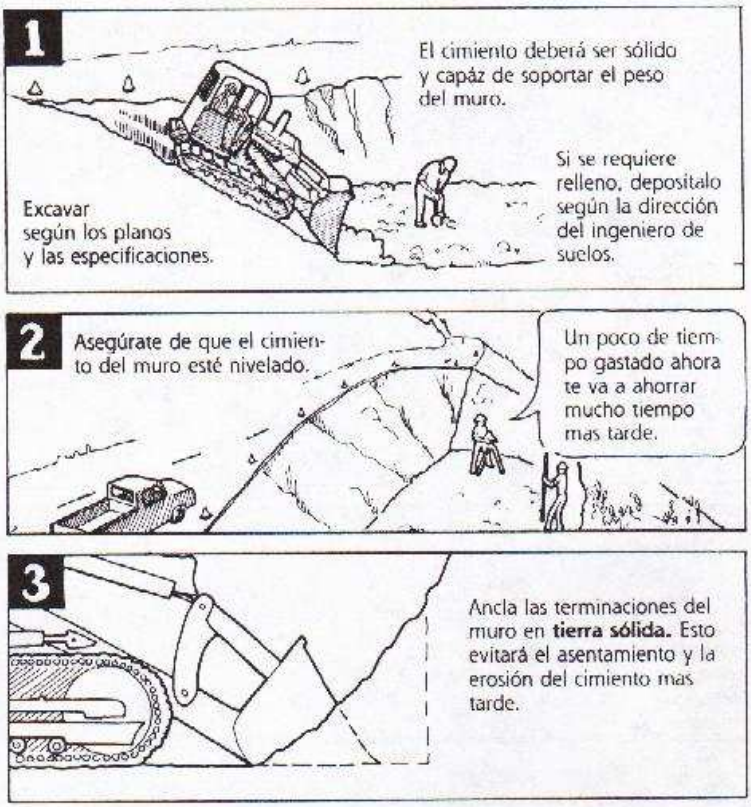
Las tierras de grano fino con un porcentaje alto de arcillas no tienen la fuerza y son mas difíciles de compactar que un relleno mas granular y con mejor drenaje. Si tu proyecto requiere el uso de un relleno de grano fino, las mallas de refuerzo tienen que ser diseñadas para compensar la falta de fuerza de esta tierra. Hay que proteger el relleno de saturación de agua con un sistema adecuado de drenaje. El contratista también tiene que proteger el relleno contra las lluvias durante la construcción. Podrá haber resultados desastrozos si el material del relleno se satura con agua. También, es muy importante la compactación del relleno para que el muro no se asiente. Se recomienda una compactación de 90 a 95 porciento para muros que soportan caminos de pavimiento, vías de ferrocarril, y edificios. Si el relleno no es compactado según las recomendaciones de Hilfiker podrá haber algún asentamiento. Instalado en una manera correcta, el **Muro de Contención de Malla de Alambre Soldado** es una estructura excepcionalmente fuerte, elástica y económica.

Se pueden diseñar **Muros de Malla de Alambre Soldado** como muros inclinados, verticales o voladizos. Si tienes algunas preguntas sobre el diseño, por favor contacta a **Muros de Contención Hilfiker.** Nos gustaría diseñarte un muro de contención especialmente para tu proyecto.

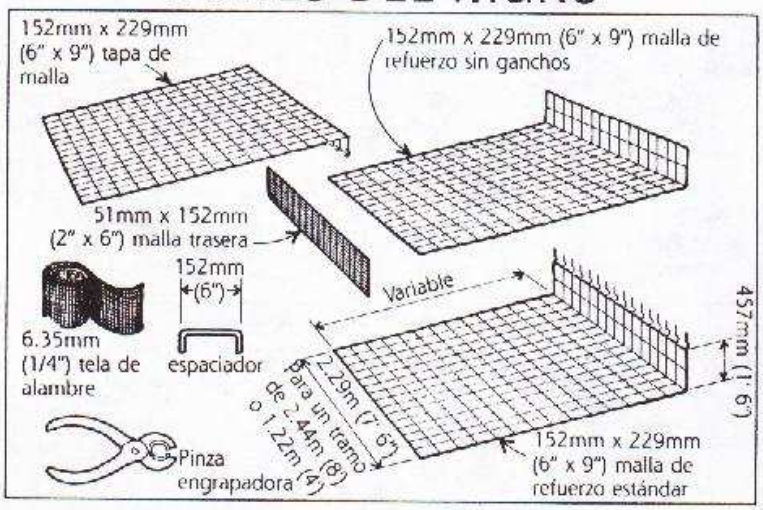
.5M-TP
Edición #1 – Mars 1992


Pienso que encontrarás al Muro Hilfiker de Malla de Alambre Soldado como el muro de contención mas fácil que hayas construído. La malla de alambre está diseñada para dar la fuerza adecuada. Asegúrate de que el relleno tenga la suficiente fuerza especificada. Asegúrate también de que la densidad y compactación sean los adecuados. Mantenlo seco. Buena suerte.
Engancha el paquete de mallas desde la malla mas baja.
Cuando descarges las mallas en el sitio de trabajo, engancha las cadenas como se muestra aquí.

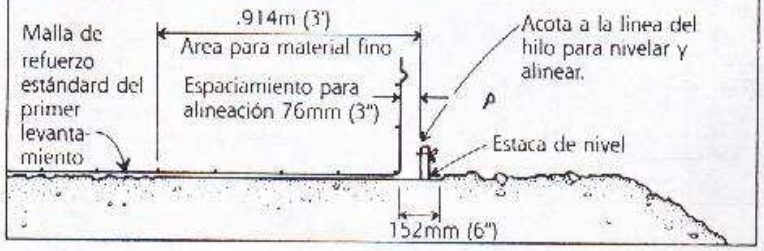
EXCAVACION


1
El cimiento deberá ser sólido y capáz de soportar el peso del muro.
Si se requiere relleno, depositalo según la dirección del ingeniero de suelos.
Excavar según los planos y las especificaciones.
2
Asegúrate de que el cimiento del muro esté nivelado.
Un poco de tiempo gastado ahora te va a ahorrar mucho tiempo mas tarde.
3
Ancla las terminaciones del muro en **tierra sólida.** Esto evitará el asentamiento y la erosión del cimiento mas tarde.

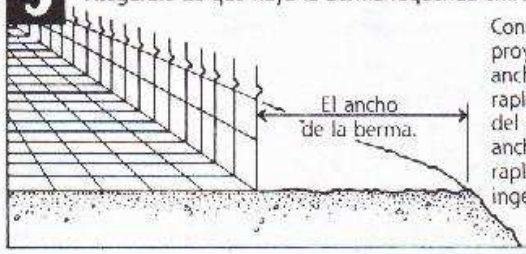
PARTES DEL MURO



4 Debes estar especialmente cuidadoso al preparar el nivel del cimiento y colocar el primer levantamiento correctamente.



5 Asegúrate de que haya la berma requerida enfrente del muro.



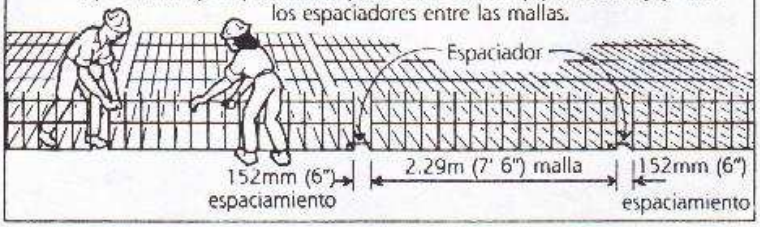
Consulta los planos del proyecto para saber el ancho mínimo del terraplén. Si las condiciones del campo no te dan el ancho mínimo del terraplén, consúltalo con el ingeniero del proyecto.

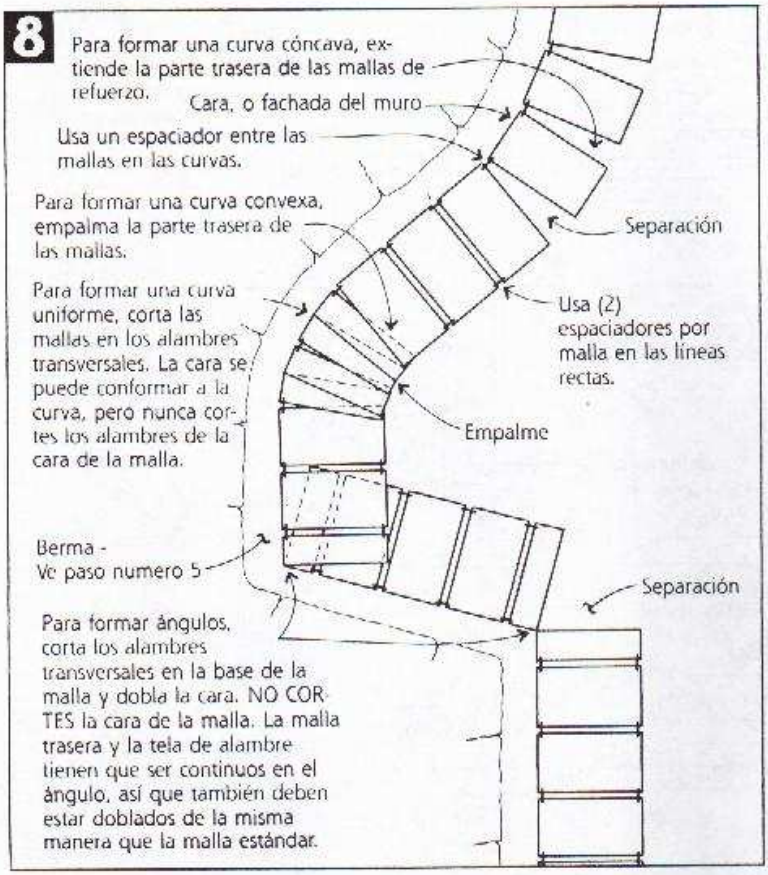
6 Puedes cortar las mallas según las necesidades de excavación.

Corta solamente los alambres transversales.

No disminuyas la longitud de las mallas.

7 Sigue tus planos cuidadosamente especialmente en cuanto a la profundidad de la base y el calibre del alambre. Cada malla mide 2.29m (7' 6") o 1.15m (3' 6") de ancho para cubrir 2.44m (8') o 1.22m (4'). Usa los espaciadores entre las mallas.

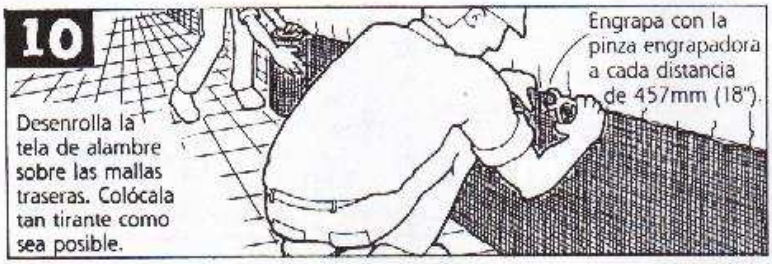



8
Para formar una curva cóncava, extiende la parte trasera de las mallas de refuerzo.
Cara, o fachada del muro
Usa un espaciador entre las mallas en las curvas.
Para formar una curva convexa, empalma la parte trasera de las mallas.
Separación
Para formar una curva uniforme, corta las mallas en los alambres transversales. La cara se puede conformar a la curva, pero nunca cortes los alambres de la cara de la malla.
Usa (2) espaciadores por malla en las líneas rectas.
Empalme
Berma - Ve paso numero 5
Separación
Para formar ángulos, corta los alambres transversales en la base de la malla y dobla la cara. NO CORTES la cara de la malla. La malla trasera y la tela de alambre tienen que ser continuos en el ángulo, así que también deben estar doblados de la misma manera que la malla estándar.

9 Coloca las mallas traseras detrás de la cara de las mallas reforzadas.

Las mallas traseras son de 2.44m (8') de ancho. Se extienden de centro a centro de las caras de las mallas de refuerzo.

10



Desenrolla la tela de alambre sobre las mallas traseras. Colócala tan tirante como sea posible.

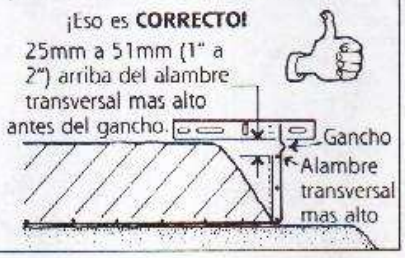
11 Rellena hasta el gancho. Compacta cuidadosamente o se asentará.

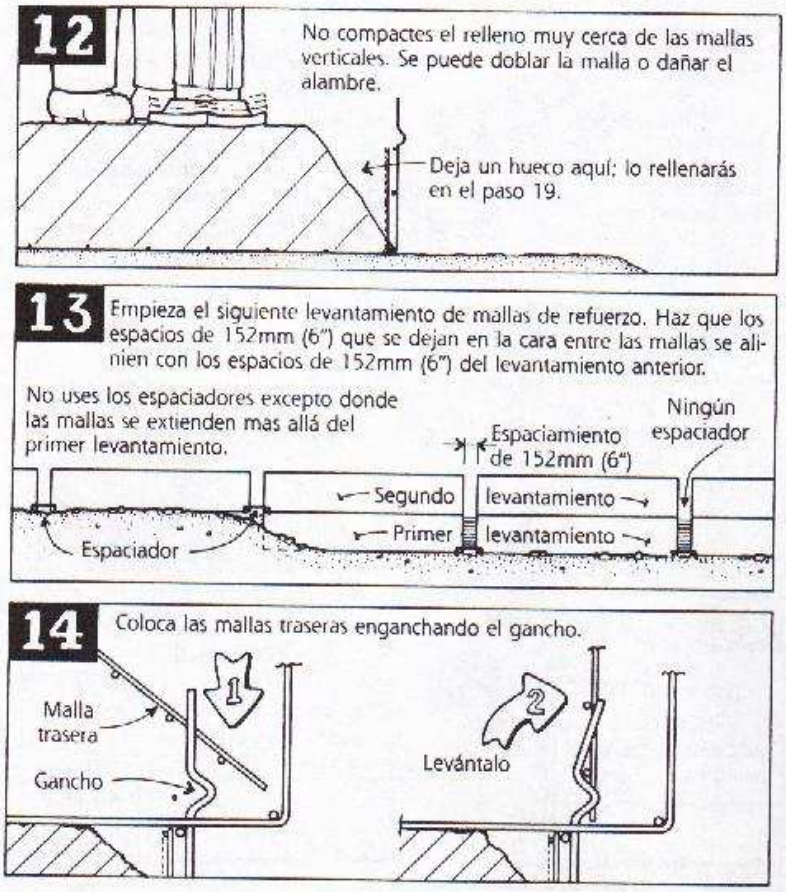
¡Eso es **INCORRECTO!**

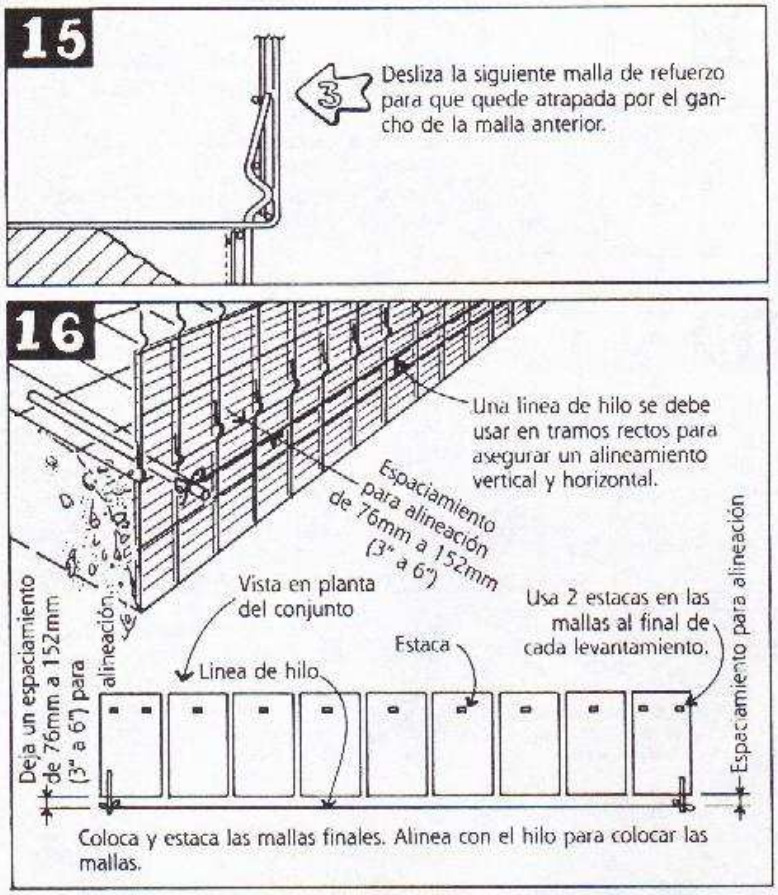
Si no se rellena o si no se compacta suficientemente, en el futuro va a pandearse.

¡Eso es **CORRECTO!**

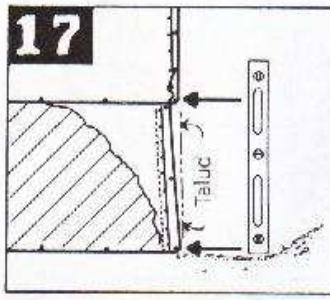
25mm a 51mm (1" a 2") arriba del alambre transversal mas alto antes del gancho.




12
No compactes el relleno muy cerca de las mallas verticales. Se puede doblar la malla o dañar el alambre.
Deja un hueco aquí; lo rellenarás en el paso 19.
13
Empieza el siguiente levantamiento de mallas de refuerzo. Haz que los espacios de 152mm (6") que se dejan en la cara entre las mallas se alinien con los espacios de 152mm (6") del levantamiento anterior.
No uses los espaciadores excepto donde las mallas se extienden mas allá del primer levantamiento.
Espaciamiento de 152mm (6")
Ningún espaciador
Segundo levantamiento
Primer levantamiento
Espaciador
14
Coloca las mallas traseras enganchando el gancho.
Malla trasera
Gancho
1
2
Levántalo


15
Desliza la siguiente malla de refuerzo para que quede atrapada por el gancho de la malla anterior.
16
Una linea de hilo se debe usar en tramos rectos para asegurar un alineamiento vertical y horizontal.
Espaciamiento para alineación de 76mm a 152mm (3" a 6")
Vista en planta del conjunto
Usa 2 estacas en las mallas al final de cada levantamiento.
Estaca
Linea de hilo
Deja un espaciamiento de 76mm a 152mm (3" a 6") para alineación
Espaciamiento para alineación
Coloca y estaca las mallas finales. Alinea con el hilo para colocar las mallas.

17



Ajusta el talud de la malla anterior al jalar o empujar la malla de encima después de que se enganche.

El nivel se coloca contra la base de los alambres verticales.

Cuando se tenga el talud requerido estaca las mallas como se muestra en el paso 16.

18

Empieza el relleno. No operes equipo pesado encima de las mallas sin tierra.

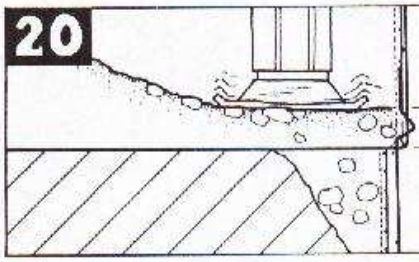
Instala la tela de alambre como se muestra en el paso 10.

Cuando las mallas están cargadas con el relleno, puedes quitar las estacas.

19

Descarga el relleno para que caiga atravez de la malla de la base hasta que se rellenen los huecos del levantamiento anterior. Usa relleno que pueda pasar atravez de la malla de 152mm x 229mm (6" x 9"). Si deseas, puedes usar piedra de 19mm (3/4") para rellenar esta área.

20

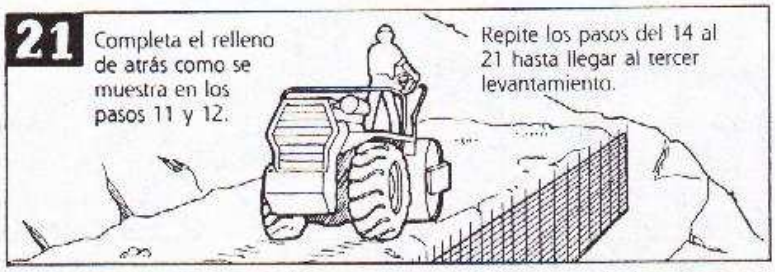


Usa un apisonador manual para compactar detrás de la cara del muro.

Mantén un colchón de relleno de 51mm a 76mm (2" to 3") debajo del apisonador para proteger el alambre.

21

Completa el relleno de atrás como se muestra en los pasos 11 y 12.

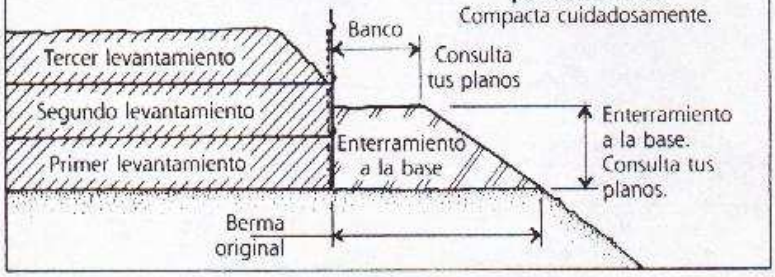


Repite los pasos del 14 al 21 hasta llegar al tercer levantamiento.

22

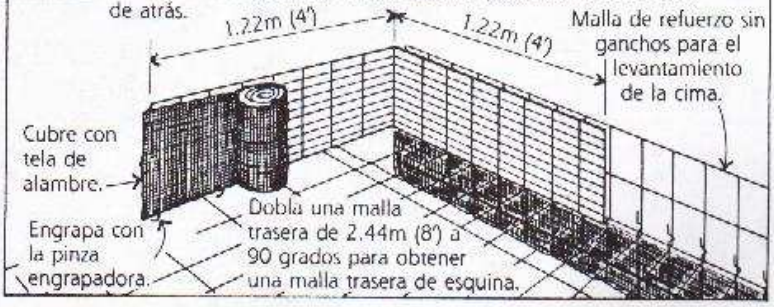
Cuando rellenes el tercer levantamiento, coloca un enterramiento en la base del muro.

¡IMPORTANTE!
Compacta cuidadosamente.

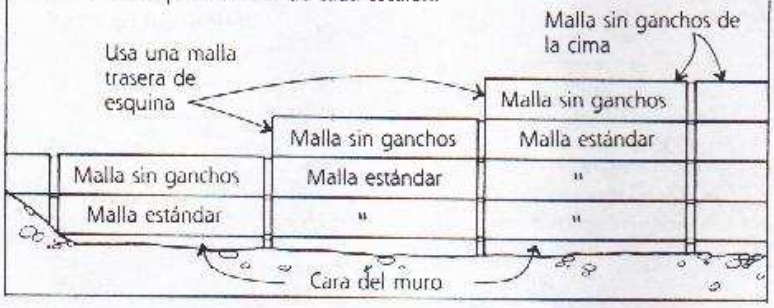


Continúa los pasos del 13 al 21 hasta que llegues a los levantamientos de la cima del muro.

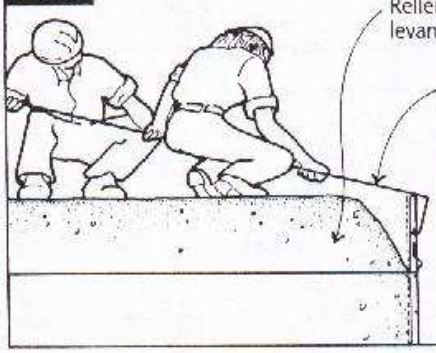
23 Las terminaciones de los levantamientos de la cima requieren mallas traseras dobladas en las esquinas para confinar el relleno de atrás.



24 Si tu muro está escalonado hasta la cima, usa una malla trasera de esquina al final de cada escalón.



25 Completa el levantamiento final.

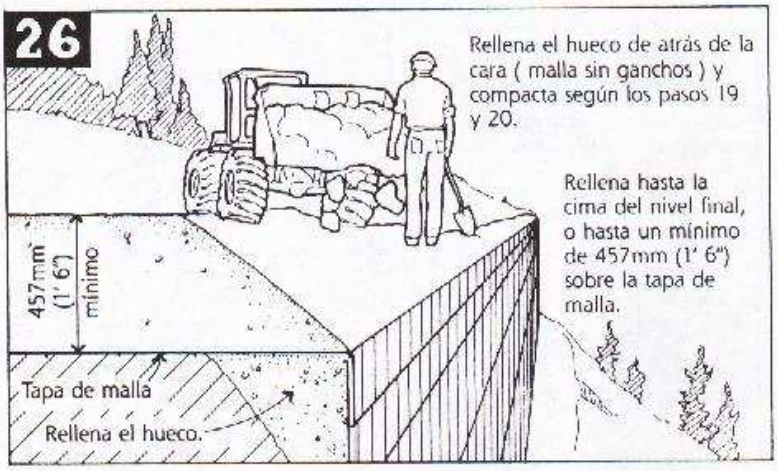


Rellena hasta arriba del último levantamiento. Compáctalo.

Ladea la tapa de malla enganchando con los ganchos de enfrente el alambre de enmedio de la malla de abajo.

Acuesta la tapa de malla sobre el relleno. Establece el talud y coloca las estacas. Empieza a cubrir el relleno de atrás.

26



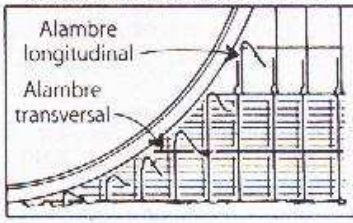
Rellena el hueco de atrás de la cara (malla sin ganchos) y compacta según los pasos 19 y 20.

Rellena hasta la cima del nivel final, o hasta un mínimo de 457mm (1' 6") sobre la tapa de malla.

MODIFICACIONES PARA SITUACIONES ESPECIALES

Alcantarilla atravez de la cara del muro

Si una alcantarilla o un tubo grande pasa atravez de la cara del muro, hay que acomodarse, cortando las mallas.



De acuerdo a la superficie de abajo de la curva, corta los alambres transversales de la cara de la malla. Luego dobla los alambres longitudinales para acomodarse a la curva. Corta la malla trasera y la tela de alambre acomodándolas a la curva.

En la superficie de arriba de la curva, los alambres transversales de la base de las mallas se cortan y se doblan según se muestra aquí. NO CORTES los alambres longitudinales. Corta y acomoda las mallas traseras y la tela de alambre.

Es posible que haya un espaciamiento grande en la cima de la curva. Corta la malla trasera y la tela de alambre acomodándolas a la curva. Para cerrarlo, también se pueden usar rocas grandes o concreto en bolsas.

Apéndice 6

Normas para el Control de Sedimentación en los Caminos Madereros Secundarios

NORMAS PARA EL CONTROL DE SEDIMENTO EN LOS CAMINOS MADEREROS SECUNDARIOS

Por

Paul E. Packer
Investigador Forestal
Division of Watershed Management Research
Intermountain Forest Range Experiment Station

y

George F. Christensen
Chief, Branch of Watershed Management
Division of Watershed and
Multiple Use Management
Northern Region

Intermountain Forest and Range Experiment Station
Ogden, Utah

and

Northern Region
Missoula, Montana

FOREST SERVICE U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

CONTENIDOS

Página

INTRODUCCION A6-5

1. FACTORES QUE AFECTAN LA EROSIÓN DE LAS SUPERFICIES DE LOS CAMINOS MADEREROS Y AL MOVIMIENTO DE SEDIMENTO A6-5

   1.1. Cinco Factores que Afectan la Erosión de las Superficies de los Caminos Madereros A6-6

   1.2. Siete Factores que Afectan el Movimiento de Sedimento Abajo a los Hombros de los Caminos Madereros A6-7

2. NORMAS PARA EL ESPACIAMIENTO DE DESAGÜES TRANSVERSALES Y PARA DETERMINAR EL ANCHO DE LAS FRANJAS PROTECTORAS A6-9

   2.1. Normas para el Espaciamiento de los Desagües Transversales A6-9

   2.2. Normas para Determinar el Ancho de las Franjas Protectoras A6-10

   2.3. Normas Complementarias para Evaluar Factores de las Cuencas que No Pueden Ser Directamente Medidos A6-11

3. LA FORMA PARA UTILIZAR ESTAS NORMAS PARA CONTROLAR LA EROSIÓN Y EL FLUJO DE SEDIMENTO A6-13

   3.1. Ubicación de los Caminos Madereros A6-13

   3.2. Medidas para Fortalecer el Control de Sedimento A6-15

   3.3. El Control de Sedimento en los Caminos Existentes A6-17

4. INSTALACIÓN DE DISPONSITIVOS PARA CONTROLAR LA EROSIÓN Y EL FLUJO DE SEDIMENTO A6-19

   4.1. Medidas para Desviar las Aguas de la Superficie de un Camino A6-19

   4.2. Protección a Pendientes de Relleno y a Pendientes Naturales No Estable A6-20

5. QUINCE REGLAS CLAVES PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN LOS CAMINOS MADERERO A6-21

CONTENIDOS

Página

LISTA DE TABLAS

1. Grupos de suelos forestales por orden de (1) disminución del grueso y aumento de la porosidad en las superficies del caminos y (2) principal materia original en cada grupo A6-23

2. Espaciamiento requerido de los desagües transversales para evitar erosión en canales o de cárcava mayores de 2.5 centímetros en caminos secundarios A6-23

3. Ancho requerido de la franja protectora desde la línea central del camino para evitar que el sedimento llegue a lugares que requieran protección A6-24

4. Distancias máximas de hombro del camino a la primera obstrucción para caminos de 3.7, 4.3, y 5 metros de ancho, por declive de pendientes alto y baja A6-25

5. Obstrucciones que generalmente se encuentran en pendientes debajo de caminos por clase de vegetación, declive de la pendiente, sistema de explotación forestal y método de limpieza a ser utilizado después de la explotación forestal A6-26

LISTA DE FIGURAS

1. Erosión en canal en la superficie de un camino, debajo de un desagüe transversal A6-27

2. Movimiento ladera abajo del sedimento desde un desagüe transversal de un camino A6-28

3. Factores que ocasionan erosión en la superficie del camino A6-29

4. Factores que afectan la distancia del movimiento de sedimento ladera abajo A6-30

5. La influencia de la edad de un camino a la efectividad de obstrucciones para detener el sedimento A6-31

6. Desviaciones de agua: A-pendientes onduladas; B-desagües transversales construidos A6-32

7. Instalación de un desagüe abierto A6-33

8. Desnivel hacia afuera de un camino A6-34

9. Especificaciones para bordillo A6-35

10. Bordillos y salidas de desagüe para proteger los rellenos A6-36

INTRODUCCIÓN

This appendix is a translation of a field manual developed by the USDA-Forest Service in the western United States to improve conditions in areas where timber harvesting is taking place. Although it refers to "logging roads", "timber harvesting", and "timber sales", the information presented can be applied to any secondary, rural road system. Thus, this field manual is very applicable to rural access roads programs in Central America. It is being reproduced with permission of the USDA-Forest Service.

In any rural road program, it is a primary objective to protect the surrounding watersheds. Clear, pure water is necessary for household and agricultural uses and for many processes in manufacturing. Sediment in streams, which could be caused from road construction or maintenance activities, scours some stream channel sections and fills others, causing flood damage to urban centers, agriculture land, and transportation systems. It damages aquatic habitats, fills reservoirs, canals, and irrigation ditches. To assure long-term sustainable production and development, sediment must be prevented from entering stream channels.

Measurements and observations indicate that as much as 90 percent of the sediment produced by erosion on timber sale and other modified areas is from roads. Damage to soil and water can be largely prevented by conscientious applications of specific guides for design, location, construction, and maintenance of forest roads. This field manual contains such guides to help the field technician in locatiing and designing secondary roads and installing water control structures in a way that will reduce erosion and prevent sedimentation of streams.

Application of this manual is most valuabe during the phase of road location and design. Information presented here can also be applied during maintenance activities for controlling erosion and preventing sedimentation of existing secondary roads.

1. FACTORES QUE AFECTAN LA EROSIÓN DE LAS SUPERFICIES DE LOS CAMINOS MADEREROS Y AL MOVIMIENTO DE SEDIMENTO

Recientes investigaciones llevadas a cabo por la "Intermountain Forest and Range Experiment Station" indican que las superficies de caminos madereros secundarios se deterioran más rápidamente cuando se permite que la erosión producida por la escorrentía alcance profundidades mayores de 2.5 centímetros (Figura 1).

La distancia que el agua corre cuesta abajo sobre la superficie de un camino antes de provocar erosiones de profundidades mayores de 2.5 centímetros determina los espaciamientos necesarios de los desagües transversales en las superficies de los caminos para evitar la erosión. El ancho necesario de las franjas protectoras debajo de los caminos para controlar el sedimento

lo determina la distancia que el sedimento se mueve ladera abajo desde las salidas de los desagües transversales (Figura 2).

Los principales factores que erosionan las superficies de los caminos y que afectan el movimiento del sedimento pueden ser controlados. Por consiguiente, al utilizar determinadas medidas preventivas durante la construcción de caminos, la explotación forestal y posteriormente, también se puede controlar la severidad de la erosión en las superficies de los caminos y la distancia en que el sedimento se mueve ladera abajo.

1.1. Cinco Factores que Afectan la Erosión de las Superficies de los Caminos Madereros

1. Tamaño de las Partículas de Suelo

Entre más grande sea la proporción del material vegetal grueso (mayor de aproximadamente 0.25 centímetro de diámetro) en la superficie del camino, menor será la posibilidad que la escorrentía del desnieve o de las fuertes lluvias lo erosionen. Por consiguiente, el espaciamiento de los desagues transversales puede ser mucho mayor en superficies que principalmente contienen partículas gruesas, a lo que sería necesario en superficies con partículas finas.

Los más importantes suelos forestales de la región nórdica han sido clasificados en seis grupos, los cuales se basan en la proporción de partículas gruesas y de agregados estables a la humedad que se encuentran en las superficies de los caminos, mayores de 0.25 de centímeteros (Tabla 1). El Tabla 1 también incluye el materia original de donde se derivan las principales clases de suelos de cada grupo, lo cual le servirá en el futuro como una guía para seleccionar el grupo de suelo adecuado y para determinar el espaciamiento de los desagües transversales, así como el ancho de las franjas protectoras.

2. Declive del Camino

Ya que la escorrentía no erosiona caminos debidamente nivelados, estos caminos no requieren desagües transversales. Sin embargo, conforme se aumenta el grado de inclinación, crece el peligro de la erosión y por consiguiente los desagües transversales deben ser construidos a una menor distancia. Al diseñar caminos con poco declive se reduce la cantidad de desagües transversales necesarios.

3. Posición Topográfica

Entre más cerca se encuentre un camino de la cima de la ladera de una montaña, menor será la posibilidad de que se lave su superficie durante la escorrentía ocasionada por el desnieve

o por fuertes aguaceros. Sin embargo, si el camino se encuentra cerca del fondo de la ladera de una montaña, los desagües transversales tendrán que ser construidos más juntos.

4. Orientación

Los caminos en pendientes orientadas hacia el norte tienden a sufrir menos erosión que aquellos en pendientes orientadas hacia el sur. Por lo general estos requieren menos desagues transversales.

5. Declive de la Ladera

Entre más empinada sea una ladera a través de la cual se construirá un camino, más espaciados tendrán que estar los desagües transversales.

1.2. Siete Factores que Afectan el Movimiento de Sedimento Abajo a los Hombros de los Caminos Madereros

1. Espaciamiento de los Desagües Transversales

Cuando los desagües transversales se encuentren a una mayor distancia, el sedimento de estos desagues transversales fluirá a una mayor distancia pendiente abajo sobre los hombros del camino.

2. Espaciamiento de las Obstrucciones

El sedimento fluye a una mayor distancia hacia abajo de los rellenos de los caminos y de las pendientes debajo de los rellenos cuando se encuentran más espaciadas las obstrucciones en el suelo (trozos, rocas, matorrales, etc.). Entre más juntas se encuentren las obstrucciones, más reducido será el ancho de las franjas protectoras entre los caminos y corrientes.

3. Clases de Obstrucciones

Distintas clases de obstrucciones en rellenos y en pendientes debajo de rellenos reducen en diferentes cantidades el flujo del sedimento cuesta abajo. Las obstrucciones que detienen el flujo del sedimento, por efectividad decreciente, incluyen:

a. Hondonadas que se forman con árboles caídos o tirados por el viento o superficies sinuosas.

b. Trozos mas grueso de 10 centímetros.

c. Rocas mayores de 10 centímetros de ancho en la superficie de la tierra.

d. Arboles y tocones.

e. Ramas y matorrales.

Esta lista comparativa es importante ya que le muestra que puede reducir el ancho de las franjas protectoras debajo de los caminos, al colocar obstrucciones efectivas como trozos y rocas a distancias relativamente cerca.

4. Distancia a la Primer Obstrucción

Entre más cerca posible se coloque una obstrucción a la salida del desagüe transversal, menor será la distancia que se moverá el sedimento. Si la primera obstrucción se encuentra en la salida del desague transversal, la franja protectora podrá ser relativamente angosta.

5. Densidad de la Vegetación en la Pendientes de Relleno

Conforme disminuye la densidad de la vegetación, el sedimento se mueve a mayor distancia pendiente abajo. Por consiguiente, las pendientes de relleno del camino deberán sembrarse lo antes posible con vegetación protectora.

6. Tamaño de las Partículas de Suelo

El tamaño del material en la primera 2.5 centímetros de la superficie de suelo mineral en las pendientes adyacentes a los caminos madereros es de importancia. Entre más pequeñas sean las partículas de suelo, más lejos se moverá el sedimento.

En cada uno de los seis grupos de suelos (Tabla 1), la proporción de partículas gruesas y de agregados (mayores de 0.25 centímetros de diámetro) en las laderas naturales adyacentes a los caminos es menor a lo que es el caso en las superficies de los caminos. Esto se debe a que la escorrentía ocasionada por la lluvia y por el desnieve lava más el suelo fino de las superficies descubiertas del camino. El orden de disminución de grueso de los suelos de estos grupos, cuando se encuentran en pendientes adyacentes a los caminos, es también el orden para aumentar la distancia con que fluye el sedimento cuesta abajo:

Grupos 2 y 5	Gruesa
Grupo 4	Mediano Grueso
Grupos 1 y 3	Mediano Fino
Grupo 6	Fino

La diferencia entre este orden de disminución de grueso y el orden con que estos grupos de suelos se muestran en la superficie de los caminos probablemente se deba a diferencias en las características físicas de las partículas y de los agregados, de acuerdo con su forma y angularidad, que afectan la facilidad de su movimiento en las superficies de los caminos.

7. Vida de los Caminos

Después de 1 a 3 años de construido un camino, ligeramente se aumenta la distancia en que se mueve el sedimento cuesta abajo. Conforme la vida del camino se aumenta a 4 y 5 años, el sedimento se mueve a una mayor distancia cuesta abajo. El repentino aumento de la distancia en que se mueve el sedimento durante el cuarto y quinto año se debe a la saturación de la capacidad de almacenaje de sedimento de las obstrucciones (Figura 5). Esta relación indica que cuando el ancho de una franja protectora es decisivo para prevenir daños a una corriente ocasionados por el sedimento, la franja puede ser reducida si el agua de los desagües transversales es desviada hacia otras obstrucciones existentes o si después del tercer año de construido el camino se colocan nuevas obstrucciones.

2. NORMAS PARA EL ESPACIAMIENTO DE DESAGÜES TRANSVERSALES Y PARA DETERMINAR EL ANCHO DE LAS FRANJAS PROTECTORAS

Los dos siguientes cuadros le ayudarán a determinar el espaciamiento requerido entre los desagües transversales y el ancho de las franjas protectoras para controlar el sedimento, siempre que usted posea algunos conocimientos básicos con relación a las cuencas y a las características de diseño de caminos.

2.1. Normas para el Espaciamiento de los Desagües Transversales

El Tabla 2 incluye el espaciamiento requerido, por clase de suelo y grado de inclinación del camino, para que los desagües transversales detengan el 83 por ciento de la escorrentía en las superficies de los caminos, antes de que la escorrentía ocasione una erosión mayor a 2.5 centímetros. Las instrucciones siguientes al Tabla 2 le permitirán ajustar el espaciamiento de los desagües transversales de acuerdo a diferencias de orientación, posición topográfica e inclinación de la ladera sobre el camino.

Si los caminos son construidos en cuencas donde se deba garantizar la máxima calidad del agua, la seguridad de que la escorrentía no ocasionará una erosión mayor a una centímetro podría aumentarse del 83 a aproximadamente el 97 por ciento al reducir a 13.7 metros el

espaciamiento mostrado en el Tabla 2. Cuando la combinación de suelos y las características topográficas requieran un espaciamiento de desagües transversales a una distancia menor a los 9.1 metros, no deberán construirse caminos madereros, a menos que éstos sean revestidos con grava o con roca triturada.

INSTRUCCIONES

Utilice las siguientes instrucciones para determinar el espaciamiento de los desagües transversales en otras posiciones de la ladera, en diferentes orientaciones y lados de la ladera con pendientes menores del 80 por ciento.

1. Si el camino está localizado en el tercio medio de la pendiente, disminuya en 5.5 metros el espaciamiento mostrado en el Tabla 2; si está en el tercio inferior de la pendiente, dismunúyalo 11 metros.

2. Si el camino está localizado con orientación al este u oeste, disminuya en 2.4 metros el espaciamiento para los desagües transversales mostrado en el Tabla 2; si el camino se encuentra en una pendiente sur, disminúyalo 4.9 metros.

3. Por cada 10 por ciento de disminución del declive de la pendiente de la ladera de una gradiente del 80 por ciento, disminuya en 1.5 metros el espaciamiento para desagües transversales mostrado en el Tabla 2.

2.2. Normas para Determinar el Ancho de las Franjas Protectoras

De preferencia, un camino maderero deberá estar localizado lo más lejos posible de las corrientes de agua o de otros sitios que requieran protección para que el sedimento del camino no los alcance. Para lograr esta protección, los planificadores de caminos dejan una franja de tierra entre el bordillo de la pendiente de relleno y el sitio a ser protegido. Los anchos mínimos necesarios para lograr esta protección varían de acuerdo a las diferentes clases de obstrucciones debajo de los caminos, al espaciamiento de estas obtrucciones, a la relativa estabilidad de los suelos, a la distancia entre desagües transversales, a la distancia entre las salidas de los desagües transversales y la primera obstrucción, a la densidad de la vegetación de la pendiente de relleno y a la periódica renovación de la capacidad de almacenamiento de sedimento de las obstrucciones.

Los anchos mínimos necesarios para detener el 83 por ciento del sedimento que fluye de los lugares donde los suelos son relativamente firmes (aquellos que pertenecen a los grupos de materia original Nos. 2 y 5 del Tabla 1) aparecen en el Tabla 3. Estos anchos representan el ancho total de las franjas protectoras debajo de la línea central del camino. Las instrucciones posteriores al Tabla 3 muestran las diferentes medidas para cada tipo de suelo, el espaciamiento de los desagües transversales, las distancias a la primera obstrucción y la densidad de la

vegetación de la pendiente de relleno.

INSTRUCCIONES

Las siguientes instrucciones deberán utilizarse para determinar el ancho de las franjas protectoras de los grupos de suelos diferentes al No. 2 y 5, los espaciamientos mayores de 9.1 metros para los desagües transversales, las distancias a la primera obstrucción mayores de cero y las densidades de vegetación de la pendiente de relleno mayores de cero (véase el ejemplo en la página 12):

1. Si el suelo pertenece al Grupo 4, aumente en 1.5 metros el ancho de la franja protectora mostrado en este Tabla. Si el suelo es de los Grupos 1 o 3, auméntelo 3 metros; si es del Grupo 6, auméntelo 7.3 metros.
2. Aumente 0.3 metros al ancho de la franja protectora por cada 3 metros de aumento superior a 9.1 metros en el espaciamiento de los desagües transversales (véase el Tabla 2).
3. Aumente 1.2 metros al ancho de la franja protectora por cada 1.5 metros de aumento en la distancia a la primera obstrucción.
4. Disminuya 0.3 metros al ancho de la franja protectora por cada 10 por ciento de aumento, superior a una densidad de cero, de la vegetación de la pendiente de relleno.

Cuando se proponga la construcción de un camino maderero cerca del cauce de una corriente, la seguridad de que el sedimento no llegará a la corriente se podrá incrementar al 95 por ciento al aumentar en 9.1 metros el ancho de la franja protectora mostrado en el Tabla 3.

2.3. Normas Complementarias para Evaluar Factores de las Cuencas que No Pueden ser Directamente Medidos

Con la construcción vial yüo las actividades de explotación forestal cambiarán algunos de los factores de las cuencas que afectan el ancho requerido de las franjas protectoras en los lugares donde serán ubicados los caminos madereros. La importancia que estos factores probablemente tengan después de la construcción del camino yüo de la explotación forestal tendrá que ser estimada. Las siguientes normas han sido elaboradas para ayudarle con estas estimaciones.

1. Densidad de la Vegetación en las Pendientes de Relleno

La cantidad de plantas y humus de la vegetación en las pendientes de relleno no pueden ser medidas en el momento cuando se están planificando los caminos. Por consiguiente, deberá

estimarse la densidad que se espera de la vegetación después que sea construido el camino. Las investigaciones han mostrado que la vegetación de las pendientes de relleno de la mayor parte de los caminos madereros de la región nordica permanece dispersa por muchos años. Por consiguiente, una estimación de densidad cero de la vegetación en las pendientes de relleno aparentemente es segura ya que garantizará que se le dé el ancho adecuado a las franjas protectoras. Si en el mismo año de su construcción las pendientes de relleno deben ser sembradas, protegidas para que no se evapore la humedad y abonadas, densidades de vegetación mayores de cero podrían justificarse para ser utilizadas con la Instrucción 4 del Tabla 3.

2. Distancias a las Primeras Obstrucciones

Generalmente en las pendientes de relleno se encuentran pocas obstrucciones principales al flujo de sedimento. Cuando estas pendientes sean principalmente de suelo floja, la distancia a la obstrucción más próxima depende de la gradiente de las pendientes sobre y debajo del camino y del ancho del camino. Las distancias más largas que se esperan para la primera obstrucción en el 97 por ciento de los casos aparecen en el Tabla 4.

3. Espaciamiento de Obstrucciones

Las diferentes técnicas a ser utilizadas en las pendientes debajo de los caminos, después de que sean establecidas y marcadas las líneas centrales, podrían cambiar en forma significativa el espaciamiento de las obstrucciones. Si los bosques de estas pendientes van a ser explotados, el espaciamiento anticipado de las obstrucciones no puede ser medido antes de la explotación forestal. El desperdicio de la explotación forestal podría dejarse intacto o podría ser eliminado por medio de cualquiera de los diferentes métodos que incluyen su apilamiento y/o quema. El grado de apilamiento y quema generalmente varía de acuerdo con la persona que está llevando a cabo la explotación forestal, con las condiciones climáticas y con otros factores. Por consiguiente, los espaciamientos promedio más grandes encontrados en aproximadamente el 97 por ciento de los casos, para cada una de las seis clases usuales de obstrucciones en los lugares del estudio, fueron seleccionados como espaciamientos seguros para las obstrucciones ya que raramente serán excedidos. Estos espaciamientos incluyen:

Obstrucciones	Espaciamiento
Depresiones y elevaciones	5
Troncos	9
Rocas	9
Arboles y tocones	11
Desechos de la tala y maleza	11
Vegetación herbácea	12

4. Clases de obstrucciones

Las clases de obstrucciones que permanecen en las pendientes debajo de los caminos madereros dependen de las características de relieve de la superficie, de las condiciones de la vegetación original, así como de la técnica de explotación forestal y de limpieza posterior a la explotación que se aplique en la pendiente. Por ejemplo, las pendientes poco pronunciadas (con una inclinación de alrededor del 25 por ciento) generalmente se caracterizan por una topografía ondulada o sinuosa con depresiones que atrapan una gran cantidad de sedimento. Las pendientes más pronunciadas cuentan con menos ondulaciones y sus depresiones tienen mucho menos capacidad para detener y almacenar el sedimento.

En las pendientes boscosas los árboles son las principales obstrucciones al movimiento del sedimento. Cuando los bosques de estas pendientes son explotados, las obstrucciones principalmente incluyen trozos, tocones y restos de ramas. La roza de fuego de los desechos madereros elimina la mayor parte de las ramas y únicamente deja los trozos y tocones. Al apilar con un tractor y quemar se elimina la mayor parte de las ramas y de los trozos y únicamente quedan los tocones como obstrucciones principales al flujo de sedimento.

El Tabla 5, diseñado para ayudarle, incluye las diferentes clases de obstrucciones que generalmente se encuentran en pendientes bajas donde se han explotado bosques y se han aplicada técnicas posteriores a la explotación forestal.

3. LA FORMA PARA UTILIZAR ESTAS NORMAS PARA CONTROLAR LA EROSIÓN Y EL FLUJO DE SEDIMENTO

Las normas establecidas en la sección anterior no pueden ser substituidas por el buen criterio o por la experiencia en el diseño y ubicación de caminos madereros. Las normas son simplemente herramientas de trabajo que le ayudarán a tomar algunas decisiones que son necesarias. Se asume que cualquier persona que utilice estas normas conoce debidamente las diferentes situaciones de la construcción de caminos que podrían ocasionar serios problemas de erosión; por consiguiente, deberá estar alerta y consciente para evitar la mayor parte de ellos. Estas normas podrían ser de suma utilidad para ubicar los caminos, intensificar las medidas de control de sedimento en los caminos nuevos y controlar el flujo de sedimiento de los caminos ya existentes.

3.1. Ubicación de los Caminos Madereros

Cuando se utilizan estas normas para ubicar un camino, también proporcionan una lista para determinar si alguna parte del camino podría estar demasiado cerca de un lugar bajo que

requiera ser protegido del sedimento. El siguiente ejemplo muestra la forma como podrían ser utilizadas estás normas con relación a determinadas condiciones. A la vez que muestra la posible flexibilidad de su utilización.

1. Determinación del Espaciamiento Necesario para los Desagues Transversales

Asuma que un camino propuesto con un desnivel del 4 por ciento está siendo ubicado entre dos puntos, en una pendiente orientada hacia el sur y formada por suelos de arcilla dura. Además, asuma que la ubicación propuesta atraviesa la tercera parte de la pendiente baja, la cual tiene un declive del 40 por ciento sobre su ubicación. Los suelos de arcilla dura se clasifican dentro del Grupo 1 (Tabla 1). En el 83 por ciento de los casos de suelos del Grupo 1 se requiere un espaciamiento de 24.4 metros para prevenir una erosión mayor de una centímetro de profundidad en la superficie del camino ocasionada por las corrientes de agua (Tabla 2).

Sin embargo, esto no significa que se instalen desagües transversales a una distancia de 24.4 metros sin tomar en consideración otras circunstancias. Obviamente, si el camino muestra una constante filtración, si existen señas de arrastraderos o si el desagüe transversal cae en una sección profunda del relleno, el buen criterio requerirá que se altere el espaciamiento.

2. Determinación del Ancho de las Franjas Protectoras

Además de las suposiciones anteriores hechas con relación al camino propuesto, asumanos que el camino tenga 4.3 metros de ancho, una pendiente del 30 por ciento debajo de la línea central y que se extienda a través de un bosque de madera que será talado, donde posteriormente se hará una roza de fuego a las ramas. La determinación del ancho necesario de la franja protectora requerirá los siguientes pasos preliminares.

Paso 1. Lo primero que debe determinarse es la clase de obstrucción al flujo de sedimiento necesaria para dicho lugar. El Tabla 5 muestra que en este caso los trozos son la principal clase de obstrucción.

Paso 2. El mayor espaciamiento promedio que puede dársele a estos trozos es de 2.7 metros (lista en página 9).

Paso 3. En estas condiciones, la franja protectora deberá ser de 21.6 metros de ancho (Tabla 3).

Paso 4. Sin embargo, deberán hacerse ajustes de acuerdo a la clase de suelos del lugar, la cual es del Grupo 1. La Instrucción 1 posterior al Tabla 3 muestra que 3 metros deberán ser agregados al ancho que aparece en el cuadro; esto significa un ancho total de 25 metros.

Paso 5. Deberán hacerse mayores ajustes al espaciamiento de 24.4 metros de los desagües transversales. La Instrucción 2 del Tabla 3 indica que se agreguen 1.5 metros adicionales, lo cual hace un total de 26.5 metros de ancho.

Paso 6. La distancia más larga del hombro del camino a la primera obstrucción es de 5.8 metros en un camino de 4.3 metros, con un 40 por ciento de pendiente superior y un 30 por ciento de pendiente inferior (Tabla 4); esto requiere que se agreguen 4.9 metros al ancho de la franja (Instrucción 3 del Tabla 3), lo cual hace un ancho total de 31 metros. Este ancho de la franja protectora desde la línea central deberá detener el movimiento cuesta abajo de sedimento desde los desagües transversales de esta sección del camino.

3.2. Medidas para Fortalecer el Control de Sedimento

Frecuentemente los caminos están localizados cerca de corrientes. Al ser estos caminos terminados podría encontrarse que determinados tramos están más cerca de las corrientes que el ancho necesario de las franjas protectoras para detener el movimiento de sedimento. En estas condiciones, podría recomendarse el uso de cualquiera o de todas las medidas intensivas para detener, en una forma más segura, el sedimento dentro de estas franjas protectoras angostas.

Continuando con el ejemplo anterior de localización de caminos, para el cual el ancho estimado y requerido de la franja protectora debajo de la línea central del camino es de 31 metros, asumamos que la distancia real de la línea central a la orilla de la corriente es de únicamente 15.2 metros. El movimiento predecible de sedimento puede ser controlado dentro de esta franja protectora de 15.2 metros si se utilizan las siguientes medidas intensivas para su control.

Paso 1. Puede reducir la distancia a la primera obstrucción, de 5.8 metros a cero, haciendo excavaciones o colocando trozos en las salidas de los desagües transversales con el propósito de aminorar el movimiento de todo el sedimento y de atrapar parte de él. Esto disminuirá en 4.9 metros el ancho necesario de la franja protectora; es decir, para un ancho de 26.5 metros de la línea central (Tabla 3, Instrucción 3).

Paso 2. Recuerde que los anchos de las franjas protectoras incluidos en el Tabla 3 son para caminos en los cuales no se piensa mantener una capacidad de almacenamiento de sedimento por lo menos mayor a 3 años. Por consiguiente, el ancho de la franja protectora de este ejemplo puede reducirse otros 7.3 metros, o a 19.2 metros, con la instalación de nuevas obstrucciones o la renovación de la capacidad de almacenamiento de las obstrucciones existentes cuando el camino tenga más de 3 años.

Paso 3. El espaciamiento entre las obstrucciones podrá ser reducido colocando trozos adicionales a los que ya se encuentren en el suelo. La reducción de la distancia entre las obstrucciones, de 2.7 a 0.6 metros, reducirá en 4.3 metros el ancho necesario de la franja protectora (Tabla 3); es decir a 14.9 metros de la línea central.

Con la utilización de la siguiente ecuación podrá calcular la cantidad total de obstrucciones requeridas para cualquier distancia promedio:

$$N = 1 + \left[\frac{(P - \frac{R}{2}) - I}{OS} \right]$$

en la cual N = número de obstrucciones necesarias

P = ancho de la franja protectora desde la línea central

R = ancho del camino

I = distancia del hombro del camino a la primera obstrucción

OS = distancia promedio entre obstrucciones

La cantidad total de trozos (N) necesarios para lograr en este ejemplo obstrucciones a una distancia de 0.6 metros, después de que la distancia de la primera obstrucción ha sido reducida a cero es

$$1 + \frac{(49 - 7) - 0}{2} = \mathbf{22\ trozos}$$

El número exacto de trozos adicionales necesarios podrá ser determinado después que el camino sea construido y en el momento en que sean localizados los desagues transversales; en seguida podrán ser contada la cantidad de trozos en el suelo. En estas condiciones, la ubicación de la línea central del camino propuesto a 15.2 metros de la corriente estaría segura si se pusieran en práctica todas las medidas de control.

Si fuera necesario, el ancho de la franja protectora debajo de la línea central de este ejemplo podría reducirse aún más aplicando las medidas adicionales para el control de sedimento.

Paso 4. Reduzca el espaciamiento de los desagües transversales de 24.4 a 9.1 metros. Esto reducirá otros 1.5 metros el ancho requerido de la franja protectora; es decir a 13.4 metros (Tabla 3, Instrucción 2).

Paso 5. Extienda la protección para que no se evapore la humedad y el abono y cubra con vegetación el relleno de la pendiente lo antes posible. Por ejemplo, una densidad de la vegetación del 70 por ciento reducirá el ancho requerido de la franja en otros 2.1 metros, es decir a 11.3 metros (Tabla 3, Instrucción 4).

Paso 6. Reduzca el ancho del camino de 4.3 a 3.7 metros. Esto reduce en un pie el ancho requerido de la franja, o sea 11 metros.

Poco puede hacerse para prevenir que el sedimento llegue a la corriente si la línea central del camino está a menos de 11 metros de la corriente. La mejor solución en este caso sería volver a establecer la línea central del camino a más de 11 metros de la orilla de la corriente. Si esto no es posible, entonces utilice estas medidas para disminuir el ancho de la franja protectora de 31 a 11 metros; por lo menos en esta forma se reducirá bastante la cantidad de sedimento que llegará a la corriente.

3.3. El Control del Sedimento en los Caminos Existentes

Cuando los caminos madereros se han ubicado y construido sin la ayuda de normas de localización y construccion, las normas desarrolladas en este estudio podrían ser utilizadas para determinar si con las franjas protectoras debajo de estos caminos, podría ser debidamente controlado el sedimento de los desagües transversales. Esto puede determinarlo calculando el ancho requerido de la franja de acuerdo a la cuenca existente y a las condiciones del camino, para posteriormente comparar este ancho con el ancho real de la franja existente. El siguiente ejemplo ilustra el uso de estos principios.

Asuma que un camino maderero de 4.9 metros ha sido construido en un suelo loess, con un desnivel del 2 por ciento y que atraviesa una pendiente orientada hacia el norte y ubicada 30.5 metros sobre una pequeña corriente. Asuma además que la gradiente de la pendiente sobre y debajo del camino es del 60 y del 50 por ciento respectivamente y que la pendiente baja está cubierta por un denso bosque que aún no está programado para corte.

Paso 1. Note que el suelo loess está incluido en el Grupo 6 (Tabla 1).

Paso 2. Utilice del Tabla 2 para un desnivel del camino del 2 por ciento, grupo de suelo 6, posición baja de una tercera parte de la pendiente y 60 por ciento de declive alto de la pendiente. Esta combinación requiere un espaciamiento de desagües transversales no menor a 14.9 metros.

Paso 3. Marque los lugares de los desagües transversales teniendo cuidado de asegurarse que hasta donde sea posible desagüen en secciones firmes de relleno, sobre o bajo las cuales existan obstrucciones de árboles en pie. Individualmente considere los lugares donde serán construidos e instalados los desagües transversales.

Paso 4. Determine la distancia a la primera obstrucción en cualquiera de dos formas. Una es estimar esta distancia (del Tabla 4), la cual para las condiciones del camino y de la pendiente asumida en este ejemplo es de 8.5 metros. La otra es medir o estimar la distancia a lo largo de una sección transversal de 0.6 metros de ancho, orientada directamente ladera abajo del lugar marcado para la salida del desagüe transversal hacia la obstrucción principal más cercana. Para este ejemplo asuma que la distancia a la obstrucción más cercana sea de 4 metros.

Paso 5. Determine el espaciamiento entre obstrucciones en cualquiera de dos formas. Una es seleccionar el espaciamiento máximo aproximado (tabulación en la página 9); en este ejemplo es de 3.4 metros para los árboles. La otra forma es extender la sección transversal de 0.6 metros de ancho a través de la franja protectora existente hasta la orilla de la corriente, anotando el número de árboles encontrados a lo largo de la sección transversal. Posteriormente podrá calcularse el espaciamiento promedio de árboles utilizando la ecuación:

$$OS = \left[\frac{(T - I)}{N - 1} \right]$$

en la cual OS = espaciamiento de la obstrucción

T = largo total de la sección transversal cuesta abajo del hombro del camino

I = distancia a la obstrucción inicial desde el hombro del camino

N = número de obstrucciones en la sección transversal

Si en este ejemplo se asume que la última opción fue seleccionada y si se cuentan 12 árboles dentro del largo total de la sección transversal, el espaciamiento promedio (OS) es calculado como (100-13)/11 = 8 pies.

Paso 6. Cuando los árboles sean la principal clase de obstrucción, deje independientemente un promedio de 8 pies, la franja protectora deberá ser de 29 metros de ancho (Tabla 3).

Paso 7. A esto sume 7.3 metros ya que el suelo pertenece al Grupo 6 (Tabla 3, Instrucción 1).

Paso 8. El espaciamiento de desagües transversales de 49 pies (declive 2) requiere se agreguen 0.6 metros al ancho de la franja protectora del Tabla 3 (Instrucción 2).

Paso 9. Si la distancia a la primera obstrucción es de 13 pies (Paso 4), deberá agregarse 3 metros al ancho que aparece en el Tabla 3 (Instrucción 3).

Paso 10. Ahora estime la densidad de la vegetación de la pendiente de relleno cuesta abajo de los lugares marcados para las salidas de los desagües transversales. Asuma aquí que para un desagüe transversal en particular la densidad de la vegetación de la pendiente de relleno es del 50 por ciento. Esta densidad de vegetación permite una reducción de 1.5 metros en las distancias estándar del Tabla 3 (Instrucción 4).

Paso 11. Note que los aumentos mostrados en los Pasos anteriores del 6 al 10 dan como resultado un ancho de la franja protectora de 38 metros, desde la línea central del camino en el desagüe transversal en particular.

En vista que el ancho real de la franja protectora es 26 pies más angosto que el ancho requerido, probablemente no prevenga que todo el sedimento llegue a la corriente. Por consiguiente, en este lugar se requieren medidas intensivas de control similares a las descritas anteriormente (páginas 12-14) para reducir la distancia del probable movimiento de sedimento a menos de 30.5 de ancho de la franja actual.

4. INSTALACION DE DISPOSITIVOS PARA CONTROLAR LA EROSIÓN Y EL FLUJO DE SEDIMENTO

Los caminos madereros requieren medidas mecánicas o la construcción de sistemas para reducir la erosión de sus superficies y pendientes de relleno. Algunas de estas medidas previenen la acumulación de grandes cantidades de agua en las superficies de los caminos, desviándola a intervalos específicos. Otras, al evitar que el agua alcance estas pendientes o al desviarla de la superficie del camino hacia suelos firmes o cauces de corrientes, previenen la erosión en pendientes de relleno y en pendientes naturales no firmes debajo de los caminos. A continuación se incluyen especificaciones generales para estas instalaciones.

4.1. Medidas para Desviar las Aguas de la Superficie de un Camino

1. Pendientes Onduladas

El método preferido para installar desagües en las superficies de caminos es la construcción en su superficie de pequeñas ondulaciones, conforme el camino se va construyendo (Figura 6A). A esto se le llama "ondulando la rasante". Al construir pendientes onduladas es esencial que éstas sean verdaderamente ondulaciones con pendientes opuestas al lado bajo del camino. Las bases de los desagües de las ondulaciones deberán ser ligeramente hacia abajo, del pie del corte del camino hacia el hombro del relleno.

2. Desagües Transversales

Otro método efectivo para desviar las aguas de la superficie de los caminos es construir desagües transversales en sus superficies, inmediatamente después de la explotación forestal y antes de las primeras lluvias o del primer invierno. En caminos donde pasan autos de pasajeros, los desagües transversales deberán ser diseñados para que permitan el paso de autos modernos a velocidades de 10 a 15 millas por hora. Los desagües transversales con las siguientes especificaciones satisfacen este requisito (Figura 6-B):

1. Excavación en la superficie del camino a una profundidad mínima de 15 centímetros junto al corte del talud y de 20 centímetros al hombro del camino, con una pendiente adversa definida en el lado hacia abajo o cuesta abajo del desagüe transversal.

2. Material excavado extendido en la superficie del camino abajo del desagüe transversal, a una profundidad no mayor de 8 centímetros.

3. Extensión total del ancho del camino para que las aguas de los desagües fluyan ladera abajo del pie del corte del talud al hombro del camino.

4. Unión del corte del talud en la parte superior con el desagüe transversal.
5. Eje del desagüe transversal formando un ángulo de no menos de 30 grados con una línea a través del camino, perpendicular a la línea central.

3. Desagües Abiertos

Los desagües abiertos son esencialmente desagües transversales, construidos de madera o de lámina de metal (Figura 7). Deberán ser instalados de acuerdo con las mismas especificaciones generales utilizadas para los desagües transversales regulares. Los desagües abiertos son adecuadas para ser usados en caminos secundarios de acceso, sin embargo, no son adecuadas para caminos para halar trozas.

4. Desniveles Hacia Afuera

Estos desniveles hacia afuera son sencillamente inclinaciones uniformes a través de la superficie de los caminos que descienden desde el corte del pie del camino hasta su hombro (Figura 8). Todos los caminos con desniveles hacia afuera deben desviar las aguas de las secciones bajas para prevenir su acumulación durante la epoca de lluvia. De preferencia, los desniveles hacia afuera únicamente deben utilizarse en caminos de contorno.

4.2. Protección a Pendientes de Relleno y a Pendientes Naturales No Estable

1. Bordillos

Los bordillos son diques de barro o de tierra firme, que se construyen a lo largo de los hombros de los caminos, con el propósito de prevenir que el agua de la superficie desagüe en las pendientes de relleno o en pendientes naturales no firmes. Estos bordillos no deben ser removidos o danados cuando se da mantenimiento a los caminos o cuando se quita la nieve. Los bordillos deberán ser construidos por lo menos de 76 centímetros de ancho en su base, 20 centímetros de alto y 15 centímetros de ancho en su parte superior (Figura 9).

2. Salidas de Desagües

Las salidas de desagües son canales, abiertos o cerrados, que llevan las aguas cuesta abajo desde las salidas de las estructuras de desagües de superficies de los caminos hasta los

cauces de corrientes, a través de pendientes de relleno o de otras áreas no firmes (Figura 10). Su propósito al desviar el agua de las superficies de los caminos es prevenir la erosión en las pendientes no firmes que se encuentran debajo de los caminos. Pueden ser construidas con tubería de hierro galvanizado, tubería de hierro galvanizado partida a la mitad, piedras, manpostería, tierra firme o con madera tratada. Es importante construir un zampeado de piedras o de concreto en la parte más baja de las salidas del desagüe para detener el agua y prevenir que se excave el cauce de la corriente.

5. QUINCE REGLAS CLAVES PARA REDUCIR LA EROSION EN LOS CAMINOS MADEREROS

Ubicación y Diseño

1. Siendo todos los otros factores iguales, los caminos ubicados en pendientes orientadas hacia el sur y el occidente requieren medidas más intensivas para prevenir la erosión que aquellos en pendientes orientadas hacia el norte y oriente.
2. Mantenga los caminos a bastante distancia de las corrientes.
3. Planifique caminos de poca pendiente.
4. Construya los caminos más angostos posibles, que funcionen y sean seguros.
5. Construya estructuras de desagüe de agua como parte del construcción del camino.

Construcción y Mantenimiento

6. Termine la nivelación y los desagües de todas las secciones de los caminos recién construidos antes de que comiencen las lluvias.
7. Revista la superficie de todos los caminos construidos en terrenos altamente erosivos.
8. No permita, si puede evitarlo, que el punto bajo del cambio de pendiente ocurra en un relleno profundo.
9. Deje bordillos en todos los rellenos profundos.
10. Deje bordillos en todas las subidas de caminos, con excepción de las salidas de los desagües.
11. Instale tubos de bajada de descarga sobre rellenos y pendientes naturales poco firmes.
12. Al dar mantenimiento a un camino, deje intacto el pie del corte del talud y los bordillos.

13. Cuando sea necesario, cambie el espaciamiento de las estructuras de los desagües transversales en una forma suficiente que permita que las aguas se viertan a áreas firmes.

14. Installe desagües de desvío en caminos con desniveles hacia afuera.

15. Amontone en el derecho de vía al pie del talud del relleno los trozos y ramas que no sean comerciales.

Tabla 1. Grupos de suelos forestales por orden de (1) disminución del grueso y aumento de la porosidad en las superficies del caminos y (2) principal materia original en cada grupo.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
——— Disminuyendo el grosor y aumentando la porosidad del suelo en la superficie del camino ———					
•Sedimentos duros	•Basalto	•Granito	•Limo glacial	•Andesita	•Loes
arcilla (dura)	•Basalto	•Arenisca	•Arcilla (suave)	•Andesita	
pizarra	porfido	•Gneis		porfido	
argilita	•Cuarcita	•Esquisto		•Piedra Caliza	
•Riolita	•Conglomeración	•Arena		(suave)	
•Riolita porfida					
•Piedra Caliza	•Cascajo				

Tabla 2. Espaciamiento requerido de los desagues transversales para evitar erosión en canales o de cárcava mayores de 2.5 centímetros en caminos secundarios.[1]

Pendiente del Camino	Grupo de suelo donde se localiza o construye el camino					
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Porcentaje	Espaciamiento de desagues transversales (metros)					
2	51.0	46.9	41.8	41.1	32.0	29.0
4	46.3	42.4	37.2	36.6	27.4	24.4
6	43.9	39.9	34.7	34.1	25.0	21.9
8	41.8	37.8	32.6	32.0	22.9	19.8
10	39.0	35.0	29.9	29.3	20.1	17.4
12	36.3	32.3	27.1	26.9	17.4	14.6
14	32.9	29.0	23.8	23.2	14.0	11.3

[1] La tabla está basado en una ubicación de camino en la tercera parte alta de la pendiente, con una orientación hacia el norte y con una pendiente del <80 por ciento.

Tabla 3. Ancho requerido de la franja protectora desde la línea central del camino para evitar que el sedimento llegue a lugares que requieran protección.[1]

Espaciamiento de Obstrucciones	Obstrucciones					
	Depresiones o Elevación	Troncos	Piedras	Arboles y Tocones	Ramas y Matorrales	Vegetación Herbácea
Pies	Ancho de la Franja Protectora (metros)					
1	16.2	16.8	17.1	17.7	18.0	18.6
2	16.8	17.7	18.6	19.5	20.4	21.3
3	17.4	18.6	19.8	21.3	22.9	24.1
4	17.7	19.5	21.3	23.2	25.0	26.8
5	18.0	20.1	22.6	24.6	27.1	29.3
6		20.7	23.5	26.2	29.0	31.7
7		21.3	24.4	27.7	31.1	34.1
8		21.6	25.3	29.0	32.6	36.3
9		21.9	25.9	30.2	34.4	38.4
10				31.4	36.0	40.5
11				32.3	37.2	42.4
12						44.2

[1] Las cdatos en esta tabla suponen terrenos de los Grupos 2 y 5, espaciamiento de los desagües transversales de 9 metros, cero distancis de la salida del desague transversal a la primera obstrucción, cero desnidad de la vegetación de la pendiente de relleno y ningúno plan para el mantenimiento de la capacidad de la obstrucción para detener o atrapar sedimento.

Tabla 4. Distancias maximas de hombro del camino a la primera obstrucción para caminos de 3.7, 4.3 y 5 metros de ancho, por declive de pendientes alta y baja.[1]

Declive Pendiente Baja Porcentaje	Declive Pendiente Alta (porcentaje)											
	1 - 20			21 - 40			41 - 60			61 - 80		
	3.7	4.3	4.9	3.7	4.3	4.9	3.7	4.3	4.9	3.7	4.3	4.9
10	4.6	4.6	4.6	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5.2	5.2	5.2	5.2
20	4.9	4.9	4.9	4.9	5.2	5.5	5.2	5.5	5.8	5.5	5.8	6.1
30	4.9	5.2	5.5	5.2	5.8	6.1	5.8	6.1	6.7	6.1	6.4	7.0
40	4.9	5.5	6.1	5.5	6.4	7.0	6.4	7.0	7.6	6.7	7.3	7.9
50	5.2	5.8	6.7	5.8	6.7	7.6	6.7	7.6	8.5	7.3	8.2	9.1
60	5.2	6.1	7.0	6.1	7.3	8.2	7.3	8.2	9.4	7.9	8.8	10.1
70	5.5	6.4	7.6	6.7	7.9	8.8	7.9	8.8	10.4	8.5	9.8	11.0
80	5.5	6.7	8.2	7.0	8.5	9.8	8.5	9.8	11.3	9.4	10.7	12.2

[1] A espararse en el 97 por ciento de los casos.

Tabla 5. Obstrucciones que generalmente se encuentran en pendientes debajo de caminos por clase de vegetación, declive de la pendiente, sistema de explotación forestal y método de limpieza a ser utilizado después de la explotación forestal.

Vegetación de la Pendiente Baja	Declive de la Pendiente Baja	Tratamiento	Limpieza Posterior a la Explotación Forestal	Obstrucciones[1] en Pendientes Bajas[2]
Boscoso - cubierto con malezas	<25	Ninguno	Ninguno	D-T-S
	<25	Tala	Ninguno	D-L-S-SL-S
	<25	Tala	Roza de Fuego	D-L-S-H
	<25	Tala	Apilado con tractor y quemado	D-S-B-H
	>25	Ninguno	Ninguno	T-S
	>25	Tala	Ninguno	L-S-SL-B
	>25	Ninguna	Rosa de Fuego	L-S-H
	>25	Tala	Aplicado con tractor y quemado	S-B-H
Boscoso - rocoso	<25	Ninguno	Ninguno	D-R-T
	<25	Tala	Ninguno	D-L-R-S-SL
	<25	Tala	Roza de Fuego	D-L-R-S-H
	<25	Tala	Apilado con tractor y quemado	D-R-S-H
	>25	Ninguno	Ninguno	R-T
	>25	Tala	Ninguno	L-R-S-SL
	>25	Ninguna	Rosa de Fuego	L-R-S-H
	>25	Tala	Aplicado con tractor y quemado	R-S-H
Boscoso sin maleza o roca	<25	Ninguno	Ninguno	D-T
	<25	Tala	Ninguno	D-L-S-SL
	<25	Tala	Roza de Fuego	D-L-S-H
	<25	Tala	Apilado con tractor y quemado	D-S-H
	>25	Ninguno	Ninguno	T
	>25	Tala	Ninguno	L-S-SL
	>25	Tala	Rosa de Fuego	L-S-H
	>25	Tala	Aplicado con tractor y quemado	S-H
Con maleza sin bosque	<25	Ninguno	Ninguno	D-S-H
	>25	Ninguno	Ninguno	S-H
Rocoso sin bosque	<25	Ninguno	Ninguno	D-R-H
	>25	Ninguno	Ninguno	R-H
Herboso sin bosque	<25	Ninguno	Ninguno	D-H
	>25	Ninguno	Ninguno	H

[1] D = Depressiones; L = Troncos; T = Arboles; S = Toccones; R = Roca; SL = Desechos de Tala; B = Maleza; H = Vegetación Herbácea.

[2] En orden decreciente de efectividad para detener el sedimento.

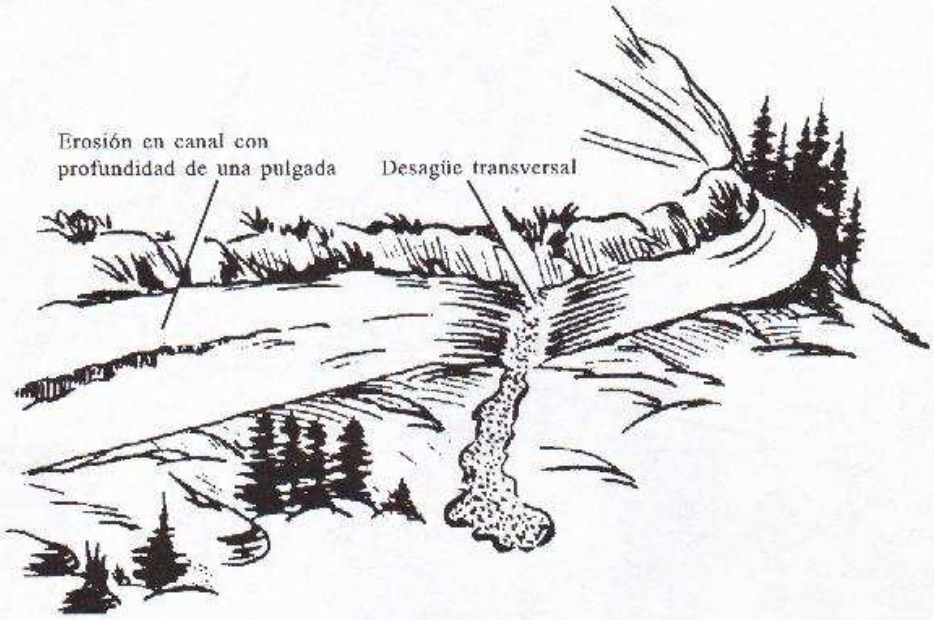


Figura 1. Erosión en canal en la superficie de un camino, debajo de un desague transversal.

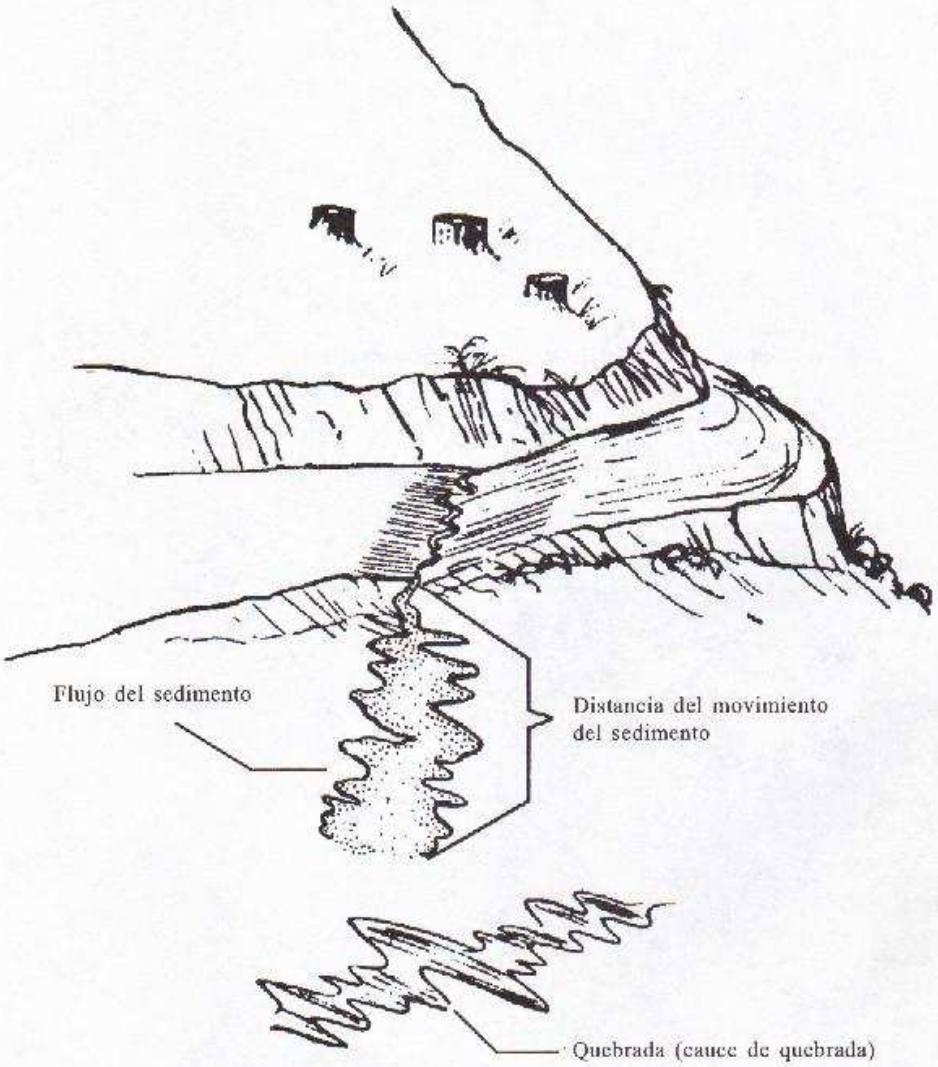


Figura 2. Movimiento ladera abajo del sedimento desde un desagüe transversal de un camino.

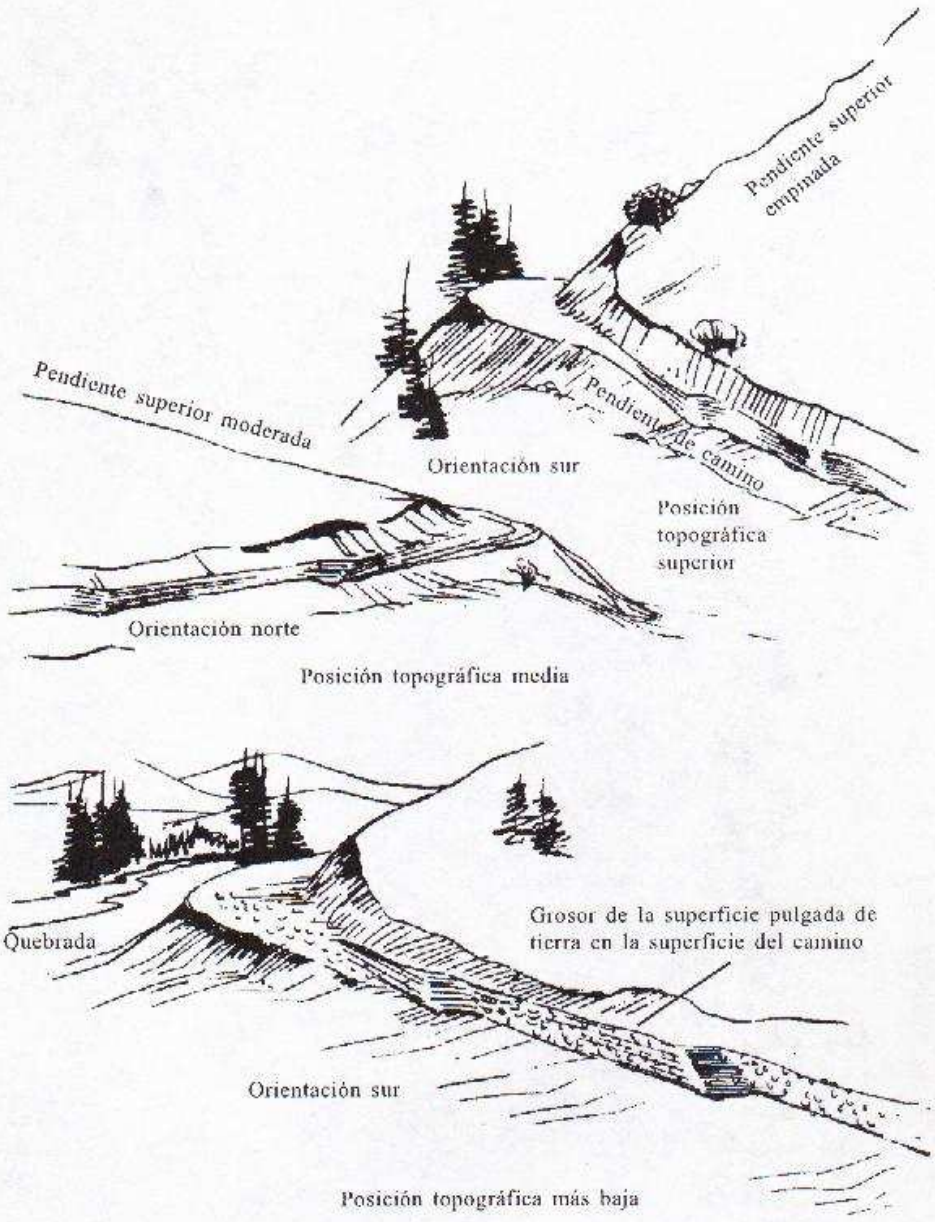


Figura 3. Factores que ocasionan erosión en la superficie del camino.

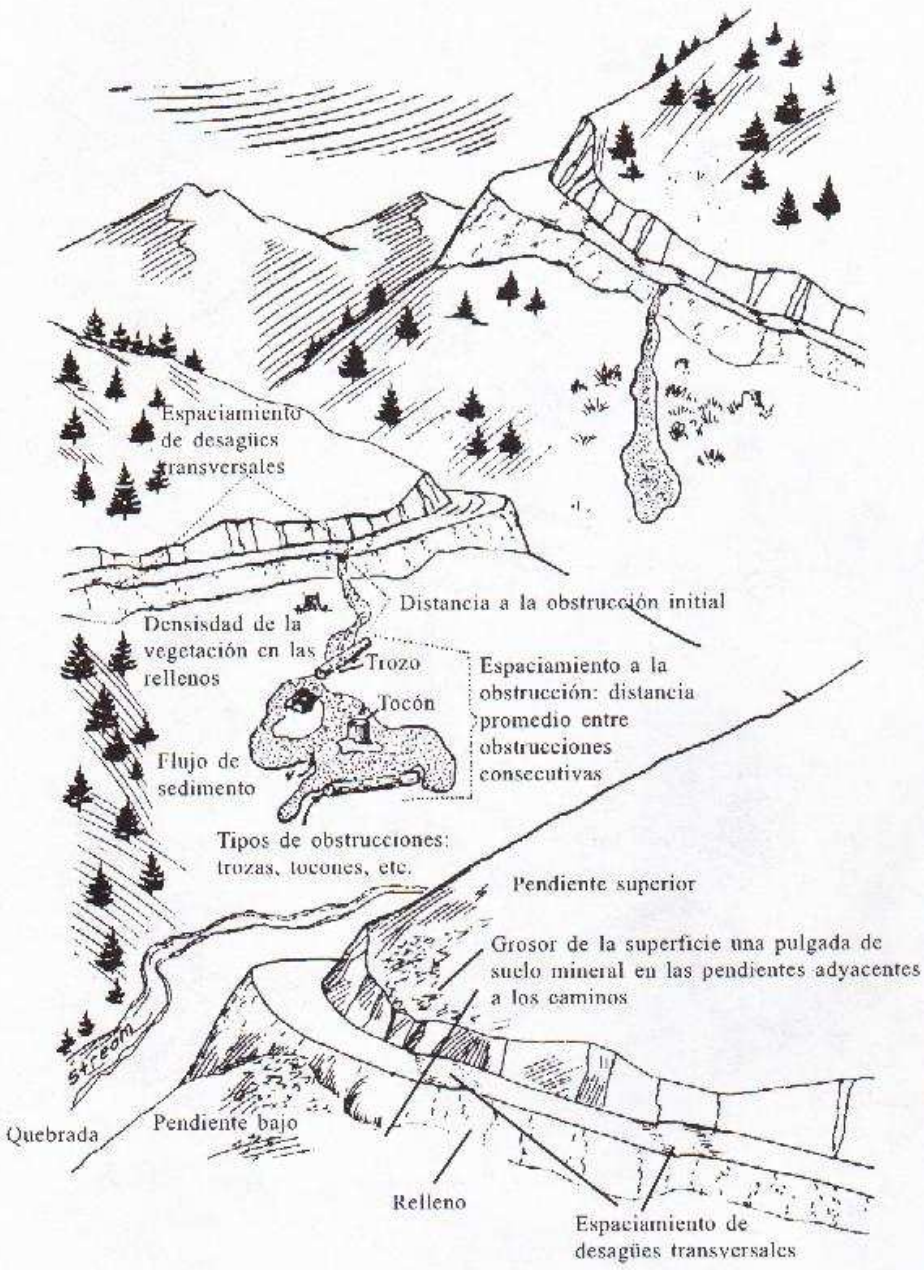


Figura 4. Factores que afectan la distancia del moviemiento de sedimento ladera abjajo.

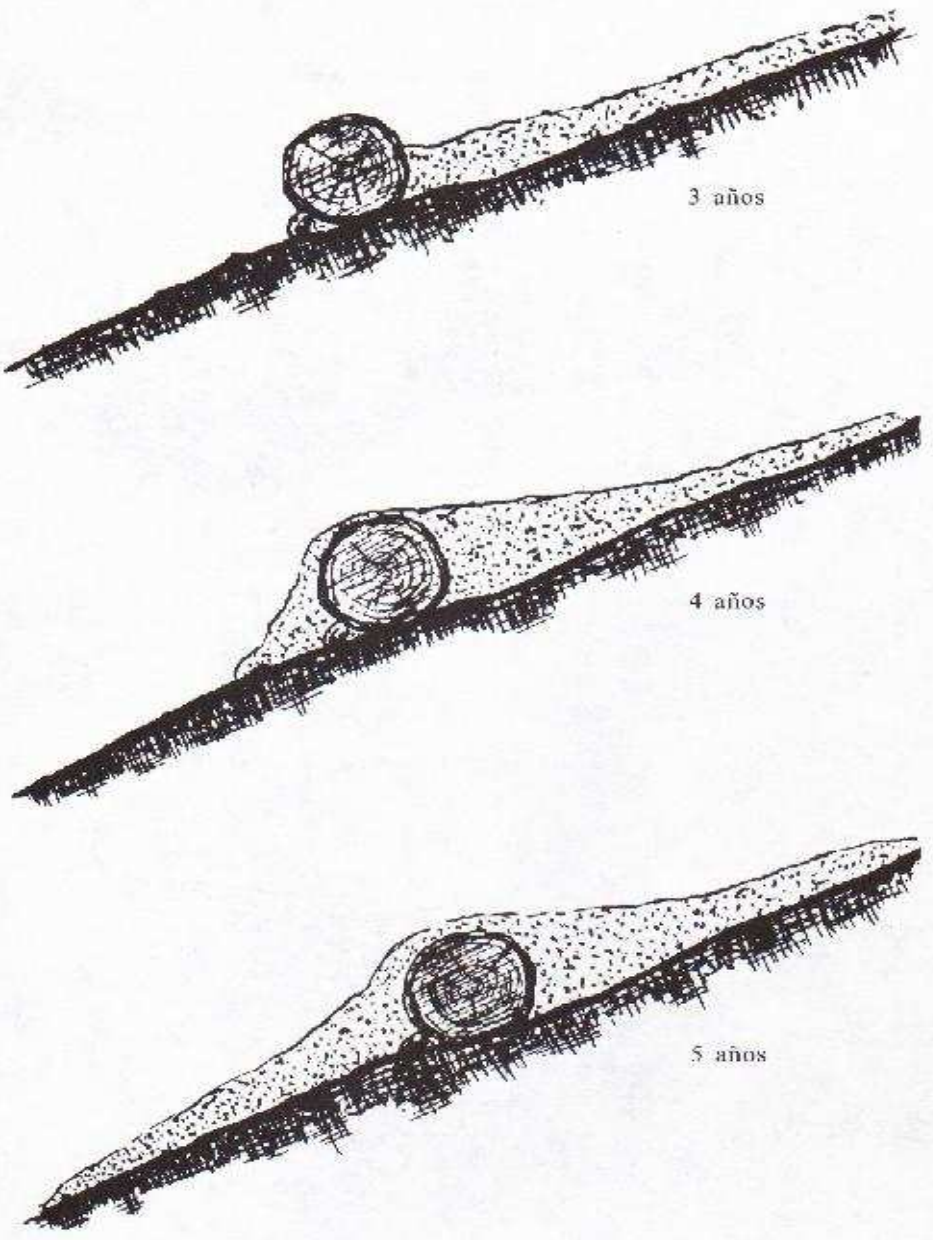
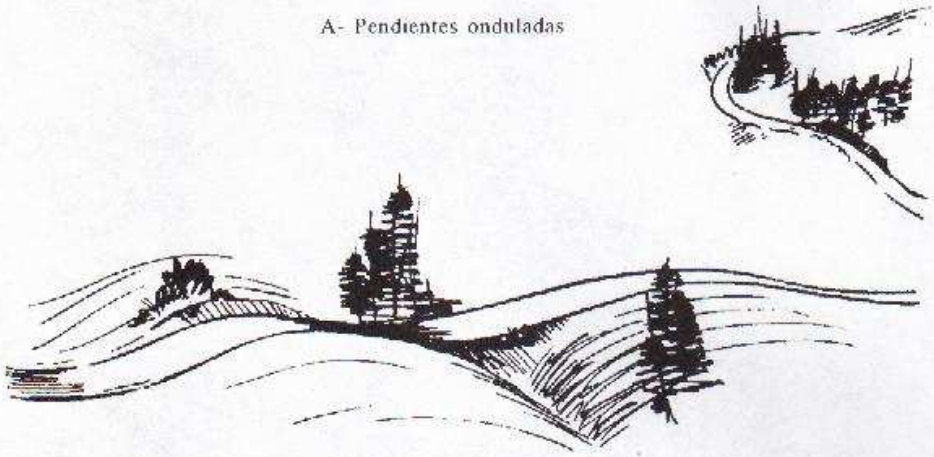


Figura 5. La influencia de la edad de un camino a la efectividad de obstrucciones para detener el sedimento.

A- Pendientes onduladas



B- Desagües transversales construidos

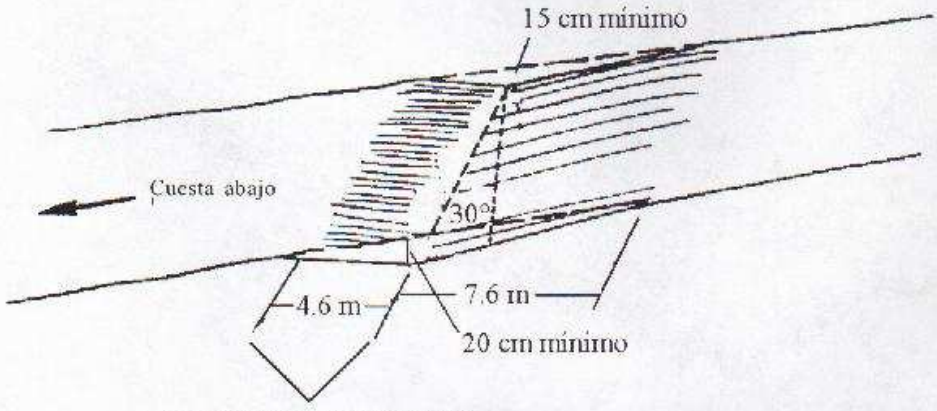


Figura 6. Desviaciónes de agua: A-pendientes onduladas; B-desagüas transversales construidos.

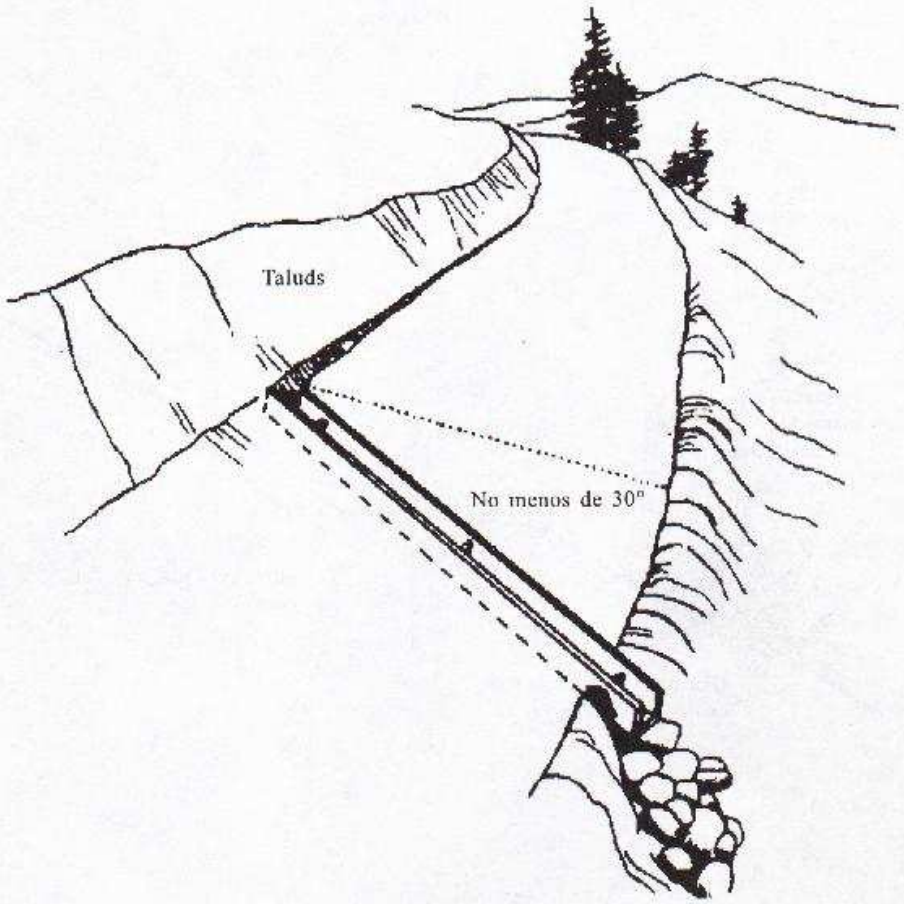


Figura 7. Instalación de un desagüe abierto.

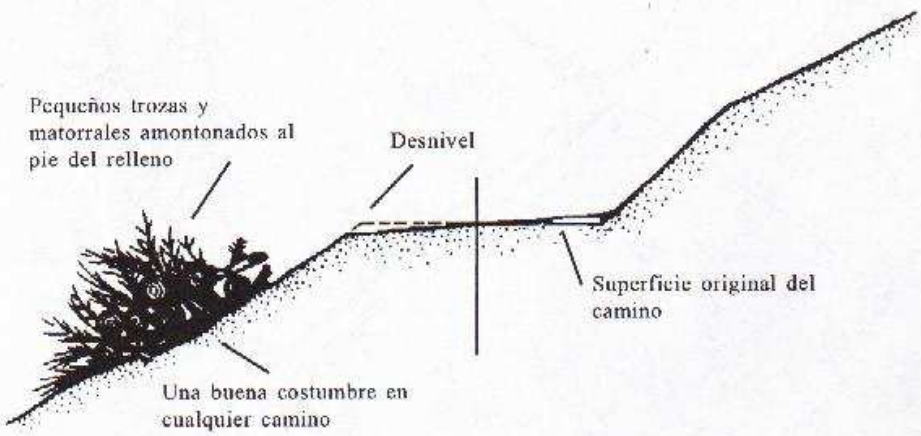


Figura 8. Desnivel de peralta para afuera de un camino.

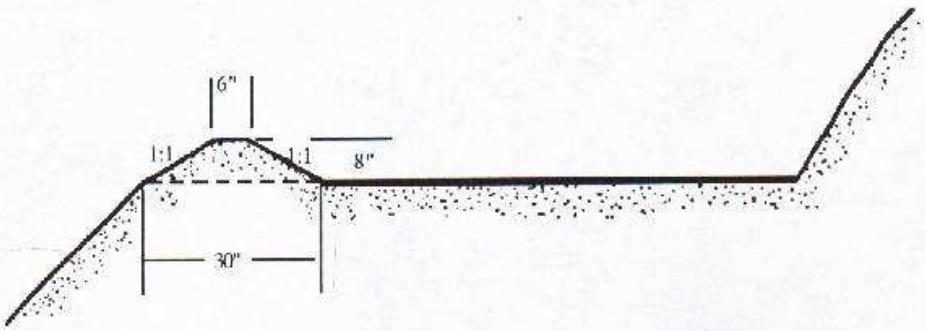


Figura 9. Especificaciones para bordillo.

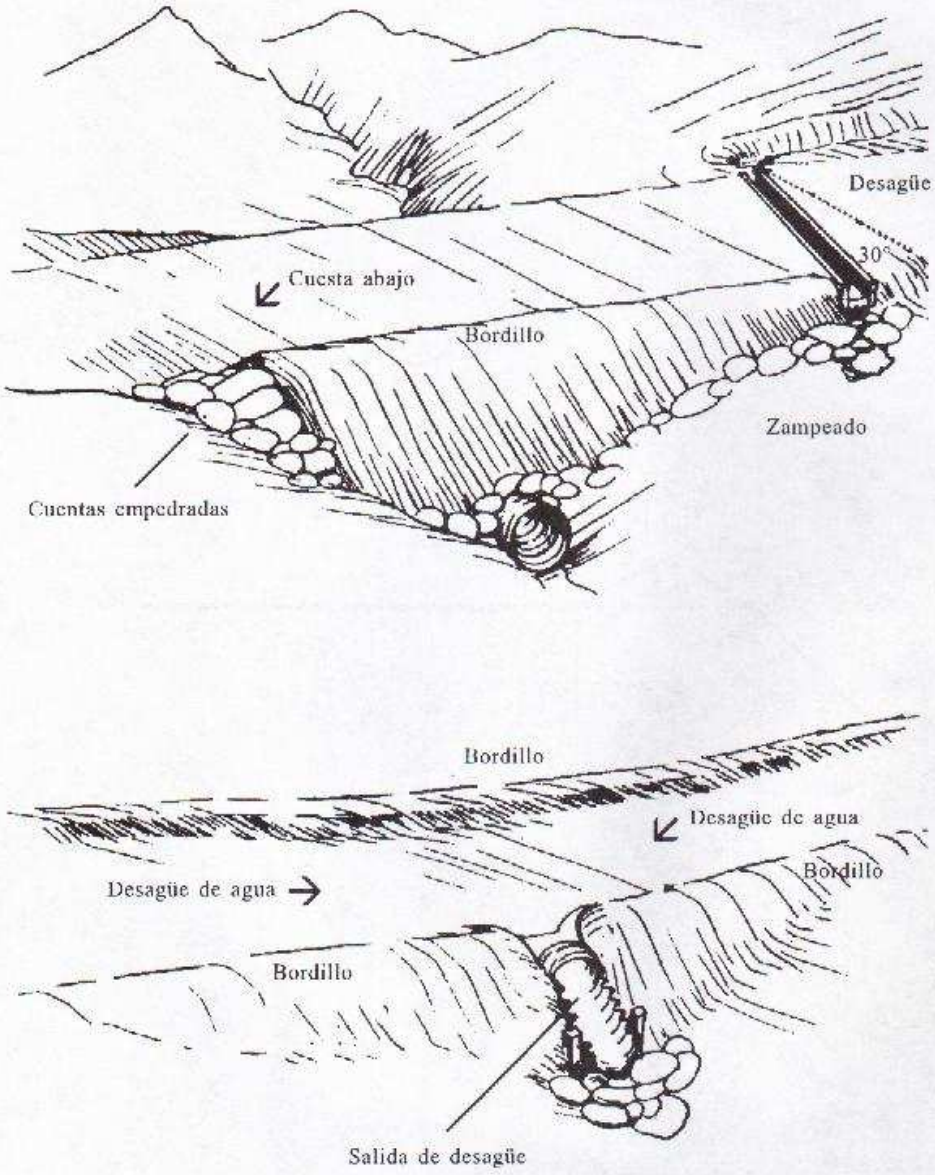


Figura 10. Bordillos y salidas de desagüe para proteger los rellenos.

Apéndice 7

Factores de Conversión

FACTORES DE CONVERSIÓN

a convertir de (to convert from)	multiplica por (multiply by)	a obtener (to obtain)
Length (Longitud)		
mile (milla)	1.609	kilometers (kilómetros)
foot (pie)	0.3048	meters (metros)
inch (pulgada)	25.4	millimeters (millimetros)
yard (yarda)	0.914	meters (metros)
Area (Área)		
square foot (pie cuadrado)	0.0929	square meter (metro cuadrado)
square yard (yarda cuadrado)	0.836	square meter (metro cuadrado)
acre (acre)	0.405	hectare (hectárea)
acre (acre)	4,046.00	square meter (metro cuadrado)
Volume (Volumen)		
cubic yard (yarda cúbico)	0.765	cubic meter (metro cúbico)
cubic foot (pie cúbico)	0.0283	cubic meter (metro cúbico)
gallon (galón)	3.785	liters (litros)
pints (pintas)	0.473	liters (litros)
Weight (Peso)		
ton (tonelada) (2,000 lbs)	907.18	kilograms (kilogramos)
pound (libra)	0.454	kilograms (kilgramos)
ounce (onza)	28.328	grams (gramos)
Pression (Presión)		
pounds/inch^2 [psi] (libras/pulgada^2)	0.0703	kilograms/centimeter^2 (kilogramos/centímetro^2)
pounds/foot^2 [psf] (libras/pie^2)	4.88	kilograms/meter^2 (kilogramos/metro^2)
pounds/inch^2 [psi] (libras/pulgada^2)	6.89	KN/meter^2 = kilo pascal (KN/metro^2 = kilo pascal)
pounds/foot^2 [psf] (libras/pie^2)	47.88	N/meter^2 (pascal) N/metro^2 (pascal)
tons/foot^2 [tsf] (toneladas/pie^2)	95.76	KN/meter^2 (KN/metro^2)

Force (Fuerza)

pound (libra)	4.448	N (Newton)
kilogram	9.806	N (Newton)

Velocity (Velocidad)

miles/hour (millas/hora)	1.609	kilometers/hour (kilómetros/hora)
feet/second (pie/segundo)	18.288	meters/minute (metros/minuto)
feet/second (pie/segundo)	0.3048	meters/second (metros/segundo)

Permeability (Permeabilidad)

feet/day (pie/día)	0.000352	centimeters/second (centímetros/segundo)
feet/day (pie/día)	0.305	meters/day (metros/día)

Unit Weight [density] (Peso Unitario [densidad])

pounds/foot^3 (pfc) (libras/pie^3)	16.02	kilograms/meter^3 (kilogramos/metro^3)

Flow (Flujo)

feet^3/second (pie^3/segundo)	0.0283	meters^3/second (metros^3/segundo)

Miscellaneous (Miscelánea)

gallon/yard^2 (galón/yarda^2)	4.53	liters/meter^2 (litros/metro^2)

Nota: Para convertir de unidades metricos a unidades americano, dividir el valor metrico por el mimos factor dado.