

Índice

Anexo IV - Prácticas Recomendadas para Caminos Rurales . 3

Objetivos de las prácticas recomendadas	3
Mejores prácticas de gestión	4
Planificación	5
Materiales	7
Control de erosión	9
Factores clave de costos.....	10
Análisis ambiental	11
Aspectos clave del mantenimiento	12
Prácticas recomendadas en mantenimiento	13
Hidráulica.....	14
Control en entradas y salidas	25
Alcantarillas	32
Vados.....	44
Puentes.....	49
Estabilización de taludes	52
Materiales	60
Control de erosión	67

Anexo IV - Prácticas Recomendadas para Caminos Rurales

En el presente Anexo se presenta una serie de recomendaciones extraídas del *Manual "Ingeniería de Caminos Rurales"* de Gordon Keller y James Sherard.

Objetivos de las prácticas recomendadas

Los objetivos clave de las Mejores Prácticas de Gestión son poder lograr lo siguiente:

- Producir un diseño del camino seguro, rentable, amigable con el ambiente y práctico que cuenta con el apoyo de los usuarios y que satisface las necesidades de éstos.
- Proteger la calidad del agua y reducir la acumulación de sedimentos en los cursos de agua.
- Evitar los conflictos con el uso del suelo.
- Proteger las zonas sensibles y reducir los impactos en los ecosistemas.
- Mantener canales naturales y el flujo de arroyos naturales, y mantener el paso de organismos acuáticos.
- Minimizar los impactos al terreno y al canal de drenaje.
- Controlar el agua superficial sobre el camino y estabilizarla superficie de rodadura y la base del camino (Foto 1).
- Controlar la erosión y proteger las áreas expuestas de suelo.
- Implementar las medidas necesarias de estabilización de taludes y reducir el desperdicio de materiales.
- Evitar las zonas problemáticas.
- Impermeabilizar y alargar la vida útil del camino.



Foto 1: Camino bien diseñado de "impacto mínimo" que tiene una especificación adecuada para su uso, así como una superficie de rodadura estabilizada

Mejores prácticas de gestión

Entre algunas de las Mejores Prácticas de Gestión (MPG) claves aplicadas al diseño de mejoras y reconstrucción de caminos, se pueden mencionar las siguientes:

- Evitar la alteración de los patrones naturales de drenaje.
- Proporcionar drenaje superficial adecuado.
- Evitar terrenos escarpados con taludes de más de 60%.
- Evitar problemas tales como zonas inundadas o inestables.
- Mantener una distancia o separación adecuada de riachuelos y minimizar el número de cruces de drenaje.
- Minimizar el número de "conexiones" entre caminos y corrientes de agua, y minimizar el "potencial de desvío".
- Diseñar los cruces de arroyos y ríos con la suficiente capacidad, con protección de las márgenes contra la erosión, y permitiendo el paso de peces en todas las etapas de su vida.
- Evitar la construcción del canal activo del arroyo (ancho con el caudal máximo).
- Conseguir una superficie del camino estable y estructuralmente sana.
- Instalar subdrenaje donde se necesite.
- Reducir la erosión colocando cubiertas vegetales o físicas sobre el terreno en cortes, terraplenes, salidas de drenajes y cualquier zona expuesta o alterada.
- Usar ángulos de talud estables en corte y terraplén.
- Usar medidas de estabilización de taludes, estructuras y obras de drenaje conforme se necesiten.
- Proporcionar un mantenimiento minucioso y periódico del camino.

Planificación

Prácticas recomendadas

- Realizar el análisis de transporte para el camino a fin de determinar el sistema de caminos óptimo para una cierta zona, así como las necesidades de los usuarios y la evaluación de las opciones futuras.
- Mantener las especificaciones mínimas de caminos congruentes con las demandas y necesidades de los usuarios y la seguridad pública.
- Usar un enfoque de Equipo Interdisciplinario de trabajo para la planificación de caminos y coordinar el desarrollo con los propietarios locales de la tierra.
- Usar mapas topográficos, fotos aéreas, información de suelos, etc.
- Considerar necesidades de acceso de los usuarios del camino.

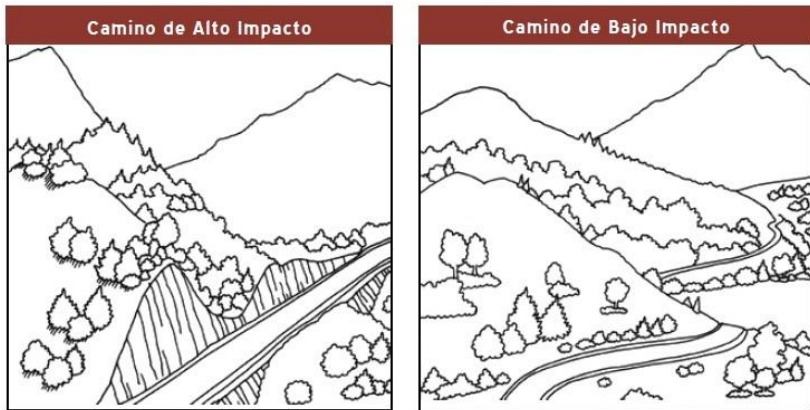


Figura 1: Caminos de bajo impacto comparados con los de alto impacto: En estas figuras se muestra el menor trabajo y los menores impactos de los caminos de bajas especificaciones que se adaptan a la topografía. Con un camino de bajas especificaciones se reduce el volumen de cortes y de rellenos, disminuyen los movimientos de tierra y los impactos visuales, y se minimizan los cambios a los patrones del drenaje natural.



Foto 2: Localice los caminos de tal manera que se adapten a la configuración del terreno natural y deje ondulaciones que permitan dispersar el agua frecuentemente.

NORMAS TÍPICAS DE DISEÑO PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Elemento de diseño	Camino rural de acceso	Camino alimentador
Velocidad de Diseño	25-35 kph	45-60 kph
Ancho del camino	3,5 - 4,5 m	4 - 5,5 m
Gradiente del camino	15% max.	12% max.
Radio de curvatura	15 m min.	25 m min.
Corona/Geometría	talud ext./int. (5%)	talud ext./int. o corona (5%)
Tipo de superficie	natural o grava	grava, canto rodado o pavimento

Tabla 1

Materiales

- Compactar los terraplenes del camino, el material de la subrasante y los materiales de la superficie de rodadura, sobre todo en el caso de zonas sensibles, o permitir que los nuevos caminos se “asienten” durante varias semanas antes de poner en uso el camino. En climas húmedos, resulta deseable un periodo más largo.
- Usar medidas de estabilización de la superficie del camino, como el uso de agregados o la colocación de pavimentos, donde sea necesario y tan a menudo como sea posible. Utilizar materiales duraderos que no se degraden a sedimentos finos bajo condiciones de tráfico.
- Deshacerse del material de excavación inadecuado o sobrante en sitios que van a minimizar la degradación de la calidad de agua y otros impactos adversos a los recursos.
- Drenaje
- Construir la superficie del camino con peralte de 3-5% hacia afuera para pendientes del camino de menos de 10% en suelos estables, usando vados ondulantes superficiales para estructuras de drenaje transversal.
- En suelos resbalosos, usar el peralte hacia adentro del camino o agregar un revestimiento de agregados a la superficie del camino.
- Construir cunetas sólo cuando sea necesario. Un camino con peralte hacia afuera y sin cunetas altera menos el terreno y su construcción es menos costosa.
- Construir la superficie del camino con peralte de 3-5% hacia adentro con un tramo en cuneta para el caso de pendientes del camino mayores de 10% o en zonas con taludes naturales empinados, suelos erosionables o resbalosos, o en curvas pronunciadas . Instalar drenaje transversal mediante tubos de alcantarilla o vados ondulantes superficiales.
- Usar una sección transversal del camino con coronamiento en una calzada ancha con taludes suaves o sobre terreno plano para evitar la acumulación del agua en la superficie de rodadura (Figura 2).
- Construir caminos con pendientes ondulantes para minimizar la concentración de agua.
- Proporcionar franjas filtrantes o áreas de infiltración para atrapar a los sedimentos entre las salidas de drenaje y los arroyos. ¡Mantener caminos y arroyos desconectados!
- Usar estructuras de drenaje del tipo adecuado y con las dimensiones apropiadas para los cruces con los arroyos naturales.
- Diseñar los puentes y las alcantarillas para que sean lo suficientemente grandes como para evacuar el caudal máximo

(suficiente ancho para pasar el flujo). Emplear revestimiento, muros de cabeza, rejillas, etc. como medidas necesarias para proteger a las estructuras.

- Desviar el agua y el caudal del arroyo alrededor de las zonas de construcción siempre que sea necesario para mantener seco el sitio de la obra y para evitar la degradación de la calidad del agua. Restaurar los canales naturales a su estado original tan pronto como sea posible después de terminada la construcción.

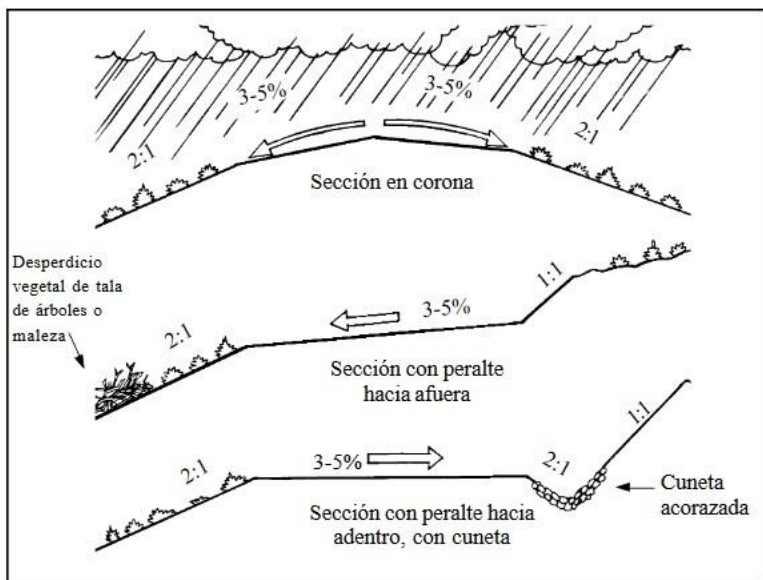


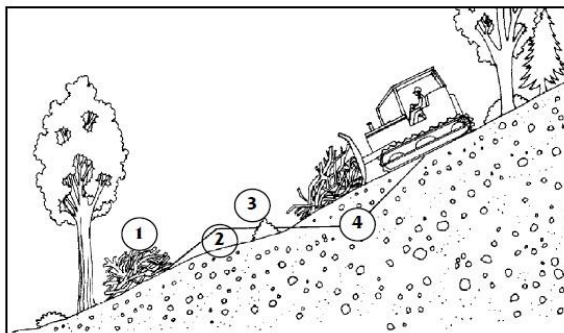
Figura 2: Opciones típicas para drenaje de la superficie del camino



Foto 3: Una alcantarilla bien diseñada e instalada con muros de cabecera, para mejorar la eficiencia y para la protección o retención del material de relleno.

Control de erosión

- Se debe retirar el desperdicio maderero, las copas y los troncos de los árboles, al pie del talud del relleno, antes de proceder a la excavación para control de erosión (Figura 3). La cantidad de material puede estar limitada por riesgo de incendios forestales.
- Exigir un plan final de control de erosión y la aplicación de medidas internas de control de erosión durante cierres estacionales.
- Estabilizar todas las áreas alteradas, los sitios de trabajo, los caminos temporales, etc.
- Incluir planos típicos de las trampas de sedimentos, las barreras de maleza, las estructuras biotécnicas, etcétera.



1. Ramas pequeñas y maleza de desmonte, aplastadas al pie del relleno
2. Relleno
3. Camino en construcción
4. Corte

Figura 3: Camellones de maleza contruidos al pie de un talud de relleno para controlar la erosión. Coloque la maleza antes de dar inicio a la excavación. No entierre la maleza dentro del terreno.



Foto 4: Evite las actividades de construcción y de otro tipo durante las temporadas de lluvia siempre que sea posible. Alternativamente, añada estabilización de la superficie y del drenaje en zonas de suelos pobres o blandos, para su uso en cualquier tipo de clima.

Factores clave de costos

- Los materiales con especificaciones altas para la superficie de rodadura (agregados, asfalto, etc.) aumentan considerablemente el

costo del camino, aunque también mejoran grandemente el confort del usuario y reducen la erosión de la superficie del camino.

- Los cruces de drenaje (de arroyos) frecuentes o en gran número aumentan considerablemente los costos del camino.
- Las pendientes pronunciadas aumentan los costos de mantenimiento a largo plazo del camino.

Análisis ambiental

Prácticas recomendadas

- Usar el proceso de Análisis Ambiental desde el principio de la planificación y desarrollo el proyecto.
- Hacer participar a todas las partes afectadas por el proyecto, así como a miembros claves del Grupo Interdisciplinario.
- Incorporar pasos de fauna y para pez en nuevos proyectos.
- La comunicación entre todas las partes interesadas es la clave para el buen entendimiento de los problemas y poder encontrarles solución.

Prácticas que deben evitarse

- Esperar hasta que la planificación del proyecto esté completamente terminada o a que se presenten problemas, antes de realizar el Análisis Ambiental.
- Perderse en el proceso de los estudios de Análisis Ambiental.

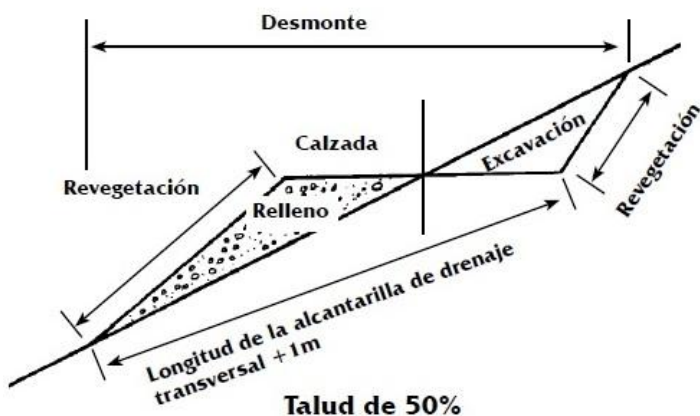
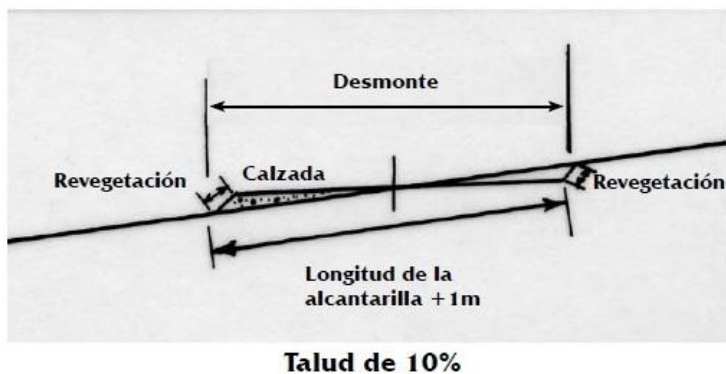


Figura 4: Variación del volumen de obra del camino en función de la pendiente del terreno.

Aspectos clave del mantenimiento

- Nivelar y conformar la superficie de la calzada para mantener bien definida una pendiente hacia adentro o hacia afuera o un coronamiento que permita desalojar el agua rápidamente de la superficie de rodadura.
- Compactar la superficie nivelada de la calzada para mantener una superficie dura de rodadura y evitar la pérdida de finos.

Reemplazar el material de revestimiento cuando sea necesario. ¡Mantenga humedecida la superficie del camino!

- Remover los ahuellamientos. Reconfigurar las estructuras para que funcionen debidamente.
- Limpiar las cunetas y reconfigurarlas cuando sea necesario para tener una capacidad de flujo adecuada. No nivele las cunetas que no lo necesiten.
- Retirar los escombros de la entrada de alcantarillas para evitar el taponamiento y el desbordamiento. Revisar que no haya daños ni indicios de socavación.
- Sustituir o reparar el revestimiento de roca, concreto o vegetación usado para protección de taludes, protección contra la socavación, o disipación de energía.
- Podar la vegetación a los lados del camino (quitar la maleza) para mejorar la distancia de visibilidad y la seguridad del tránsito.
- Sustituir las señales faltantes o dañadas de información sobre el camino, seguridad y reglamentación.

Prácticas recomendadas en mantenimiento

- Llevar a cabo el mantenimiento cuando sea necesario. ¡NO ESPERE! Mientras más tiempo se espere mayores serán los daños que podrán ocurrir y las reparaciones serán más costosas.
- Mantener las cunetas y alcantarillas libres de escombros, pero conserve una superficie resistente a la erosión como puede ser el pasto o la roca en el fondo de las cunetas. Retirar los escombros durante las inspecciones. También mantener limpios los canales de desbordamiento.
- Renivelar y configurar periódicamente la superficie del camino para mantener un drenaje superficial adecuado.
- Mantener humedecida la superficie del camino durante la nivelación. Rellenar los ahuellamientos y los baches con grava o con material compactado tan frecuentemente como sea posible.
- Mantener el lado de bajada del camino libre de bermas, excepto que se construya intencionalmente una berma para controlar agua o tránsito.
- Aplicar un material para estabilizar la superficie, como pueden ser agregados, cantos rodados, o pavimentos, a la superficie del camino para proteger a la calzada contra daños y disminuir la frecuencia de mantenimiento necesario.
- Evitar la alteración del suelo y de la vegetación a menos que sea necesario.
- Dejar la mayor cantidad de vegetación (pastos) en las cunetas, en las zonas del acotamiento del camino, y en los taludes de cortes y rellenos (sobre todo pastos y maleza de tamaño pequeño siempre que sea posible). Sin embargo, asegure visibilidad a distancia y que los drenajes sigan funcionando correctamente.

- Retirar materiales desprendidos de la calzada o del interior de las cunetas donde el material pueda obstruir el drenaje normal de la superficie de la calzada.
- Evitar ensanchar el camino o el exceso de inclinación de los taludes de relleno formados al empujar con cuchilla el material superficial fuera del camino.
- Cierre el camino durante condiciones de mucha lluvia o en periodos de inactividad.
- Inspeccionar el camino a intervalos regulares, sobre todo después de periodos de lluvias fuertes.



Figura 5: Evidencias de la necesidad del mantenimiento en caminos

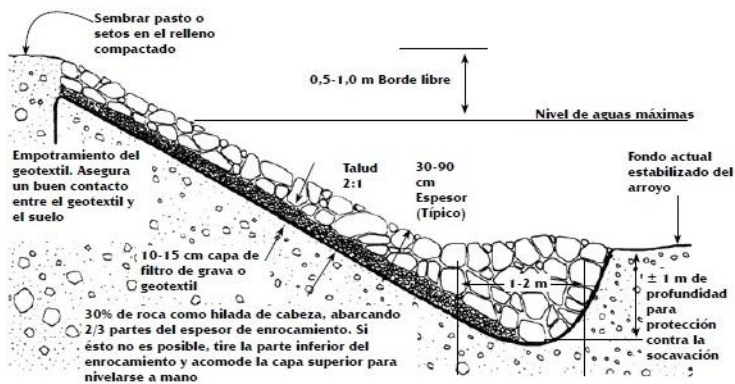
Hidráulica

Practicas recomendadas

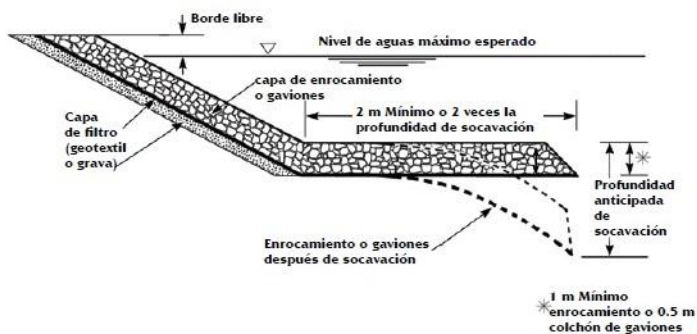
- Usar los mejores métodos hidrológicos disponibles para determinar los caudales de diseño.
- Donde resulte apropiado, usar estructuras de drenaje que no sean sensibles a las predicciones exactas de flujo, como los vados.
- Agregar un bordo libre o capacidad adicional a estructuras en drenajes con caudales inciertos o en cuencas de captación que tengan usos cambiantes del suelo, generalmente del orden de 120 a 150%.
- Para minimizar riesgos a estructuras, la frecuencia recomendada de tormentas (periodo de retorno) para el diseño de alcantarillas es de 20 a 50 años, y se recomienda de 100 a 200 años o más para puentes o drenajes con problemas ambientales críticos.
- Para alcantarillas instaladas en zonas con datos hidrológicos limitados o con diseños inadecuados, incluir protección por

derrames (desbordamiento) para reducir el riesgo de falla total o el desvío de arroyos (Véase Figura 7).

- Hacer participar a hidrólogos e ingenieros en el proceso de diseño hidrológico e hidráulico.
- Determinar las velocidades en el cauce del arroyo para analizar el potencial de socavación, las necesidades de protección de las estructuras y los impactos sobre la vida acuática.
- Usar enrocamiento bien graduado, duro, angular, y con los tamaños adecuados donde se necesite protección contra la socavación. Si se tienen meandros o curvas, aumente el tamaño de los fragmentos de roca entre 30 y 50 por ciento.
- Usar arena limpia, grava limpia bien graduada con tamaños de 0,5 a 1 cm, o un geotextil como filtro entre suelos finos erosionables y una roca permeable gruesa o enrocamiento de protección (véase en la Figura 6.2 la instalación típica de un enrocamiento de protección con un respaldo de filtro).
- Usar medidas contra la socavación para proteger las estructuras, para evitar la falla de las mismas, y para evitar impactos adversos a los arroyos.
- Es común el empleo de enrocamiento de protección en zonas de alta velocidad de flujo o en áreas críticas (Foto 5). También se puede usar vegetación, tocones, troncos o espolones para la estabilización de las márgenes de un arroyo.
- Poner atención a los detalles de diseño donde sea necesario colocar protección de roca y filtros.
- Usar geotextiles en aplicaciones para caminos y para obras hidráulicas a fin de proporcionar un filtro por detrás del enrocamiento de protección o alrededor de un subdrén. Use materiales geo sintéticos en otras aplicaciones, tales como separación y refuerzo, en aquellos casos en los que sean costo-efectivos y prácticos.



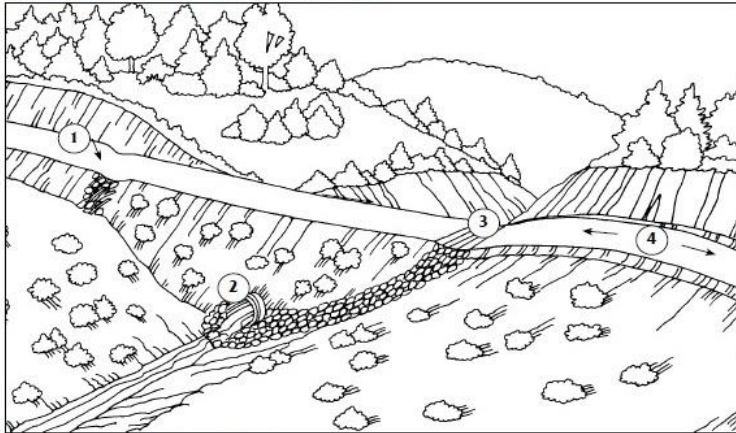
a. Detalle del pie de roca y de la capa de filtro.



b. Detalles de la capa de enrocamiento o de gaviones colocado en el fondo del cauce del arroyo.

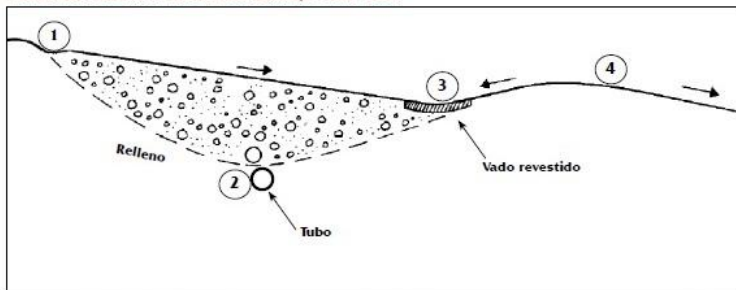
Figura 6: Dos ejemplos de protección típica de márgenes de arroyo mediante enrocamiento.

ALCANTARILLA INSTALADA CON PROTECCIÓN, USANDO UN VADO CONTRA DESBORDAMIENTO REVESTIDO PARA EVITAR EL ARRASTRE Y LA FALLA DEL TERRAPLÉN



- 1 Vado Ondulante Superficial
- 2 Alcantarilla
- 3 Vado de protección contra el desbordamiento
- 4 Punto alto en el perfil del camino

PERFIL DEL CAMINO A TRAVÉS DEL DRENAJE Y DEL VADO



a. Protección de la alcantarilla con un vado de desbordamiento en un cruce en terraplén de un arroyo. (Adaptado de Weaver and Hagans, 1994)

Figura 7: Protección de alcantarillas contra desbordamiento.



Foto 5: Un enrocamiento de protección con respaldo de un filtro de geotextil están siendo usados para proteger al camino de grandes flujos de agua. Observe que el camino está mal ubicado, muy cerca del arroyo.

Prácticas que deben evitarse

- Instalación de estructuras sin tomar debidamente en cuenta las velocidades esperadas del flujo y los tamaños adecuados de los fragmentos de roca, para protección de las márgenes.
- Instalación de medidas para drenaje subterráneo, tales como subdrenes, sin protección con filtros (como puede ser el empleo de geotextiles y de materiales de filtro con arena o grava del tamaño adecuado).

Control del drenaje Superficial del camino

- Diseñar y construir los caminos de tal manera que puedan desalojar el agua rápidamente fuera de la superficie de rodadura, a fin de mantener drenada la superficie sin poner en riesgo su integridad.
- Evitar caminos con pendientes muy pronunciadas. Resulta muy difícil y costoso controlar debidamente el drenaje en pendientes muy inclinadas.
- Mantener un drenaje superficial positivo mediante una sección con peralte hacia afuera, hacia adentro o en coronamiento usando pendientes de 3 a 5% de inclinación (Figura 2).
- Hacer que las pendientes sean ondulantes o formen ondulaciones frecuentemente en el perfil del camino para dispersar el agua,

sobre todo hacia adentro o hacia afuera de cruces de arroyos (véase la Figura 7.1).

- Usar con frecuencia cunetas de desvío (Figura 8b y Figura 15) para evitar la acumulación de agua en exceso en las cunetas de la calzada.
- Usar estructuras de drenaje transversal al camino (sea vados superficiales, alcantarillas de tubo, o alcantarillas abiertas (canalones)) para desalojar el agua a través del camino desde la cuneta interior hasta el talud por debajo del camino.
- Colocar las estructuras de drenaje transversal muy cercanas entre sí como para eliminar toda el agua superficial. En la Tabla 2 se proporcionan separaciones recomendadas para los drenes transversales.
- Proteger las salidas de drenes transversales con roca (enrocamiento de protección), maleza o desperdicio maderero, para disipar la energía y evitar la erosión, o localice la salida de los drenes transversales sobre suelos estables resistentes a la erosión, roca o en zonas con abundante vegetación (Figura 8b).
- Construir vados ondulantes superficiales en lugar de alcantarillas de drenaje transversal, en el caso típico de caminos rurales de baja velocidad con pendientes de menos de 12%. Construir vados superficiales con suficiente profundidad para permitir un drenaje adecuado, y formando un ángulo de entre cero y 25 grados con la perpendicular al camino, con un peralte hacia afuera de 3-5%, y con suficiente longitud (15 a 60 metros) para que circulen vehículos y equipos (Foto 6). En el caso de suelos blandos, reforzar el promontorio y el fondo del dren con grava o con roca así como a la salida del dren (Figura 9).
- Instalar drenes transversales de alcantarilla con un ángulo de 0-30 grados perpendicular al camino, usando una peralte hacia afuera de 2% más alto que la pendiente de la cuneta, a fin de evitar taponamientos (Figura 10). Usar alcantarillas de drenaje transversal en caminos con una cuneta interior y con velocidades de recorrido moderadamente altas.
- Construir caballones desviadores en caminos con poco uso o en caminos cerrados para controlar los escurrimientos superficiales. Colocar los caballones desviadores muy cercanos entre sí formando un ángulo de entre cero y 25 grados con un peralte hacia afuera de entre 3 y 5% y una profundidad de 0,3 a 0,6 metros. Instalar caballones desviadores como se muestra en la Figura 11. La separación entre caballones desviadores se presenta en la Tabla 3.
- Usar cunetas de captación de agua (cunetas de intercepción o coronamiento) a través del terreno natural por arriba de un talud de corte, sólo en aquellas zonas con una alta precipitación pluvial y escurrimientos superficiales altos. Estas cunetas resultan útiles para captar el flujo laminar superficial antes de que derrame sobre el talud del corte y pueda erosionar o desestabilizar el corte. Sin

embargo, ellos generalmente no reciben mantenimiento y pueden dar lugar a un estancamiento contraproducente de agua encima del talud, lo cual aumenta las posibilidades de una falla del talud.

- Evitar el uso de cunetas exteriores a lo largo del borde externo del camino, excepto en zonas específicas que deben protegerse del flujo laminar para desalojarlo fuera de la superficie del camino. De preferencia use bermas. Para construir una cuneta o berma exterior se necesita ampliar el ancho del camino.



Foto 6: Use un vado ondulante superficial como dren transversal, para desalojar el agua de la superficie del camino de manera eficiente y económica, sin tener que usar tubos de alcantarilla.

Distancias máximas recomendadas entre vados ondulantes superficiales o drenes transversales de alcantarilla (metros)		
Pendiente del camino %	Suelos de baja a nula erosionabilidad ⁽¹⁾	Suelos erosionables ⁽²⁾
0-3	120	75
4-6	90	50
7-9	75	40
10-12	60	35
12+	50	30

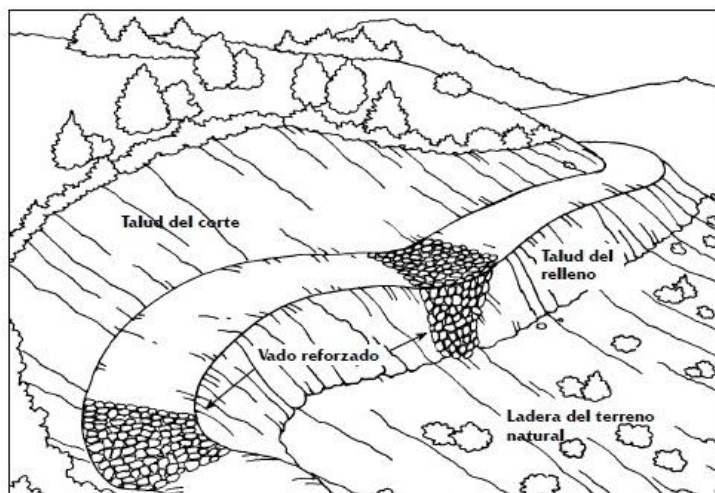
Tabla 2

Separación recomendada entre caballones desviadores (metros)		
Pendiente del camino %	Suelos de baja a nula erosionabilidad ⁽¹⁾	Suelos erosionables ⁽²⁾
0-5	75	40
6-10	60	30
11-15	45	20
16-20	35	15
21-30	30	12
30+	15	10

Nota: ⁽¹⁾ Suelos de baja erosionabilidad = Suelos rocosos gruesos, grava y ciertas arcillas

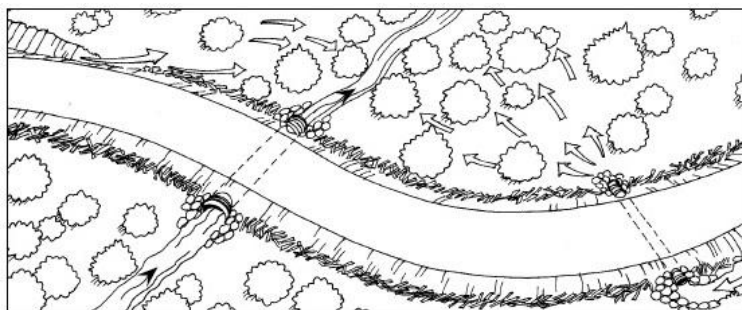
⁽²⁾ Suelos altamente erosionables = Suelos finos desmenuzables, limos, arenas finas. Adaptado de Packer and Christensen (1964) y de Copstead, Johansen, y Moll (1998).

Tabla 3



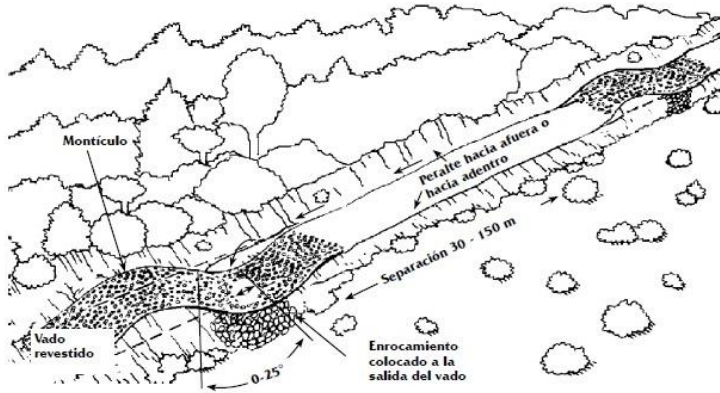
a. Drenaje básico de la superficie de rodadura con peralte hacia afuera, pendientes ondulantes y vados reforzados.

Figura 8 a



b. Drenaje superficial básico del camino, con cunetas de descarga y drenes transversales de alcantarilla que descargan en la vegetación o en otro tipo de amortiguamiento a los lados del camino. (Adaptado de Montana State Univ. 1991).

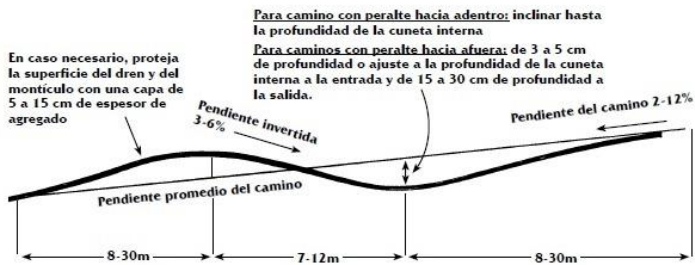
Figura 8 b



a. Vista en perspectiva



b. Perfil



c. Detalle del perfil del vado ondulante superficial

Figura 9: Vados ondulantes superficiales (de base ancha)

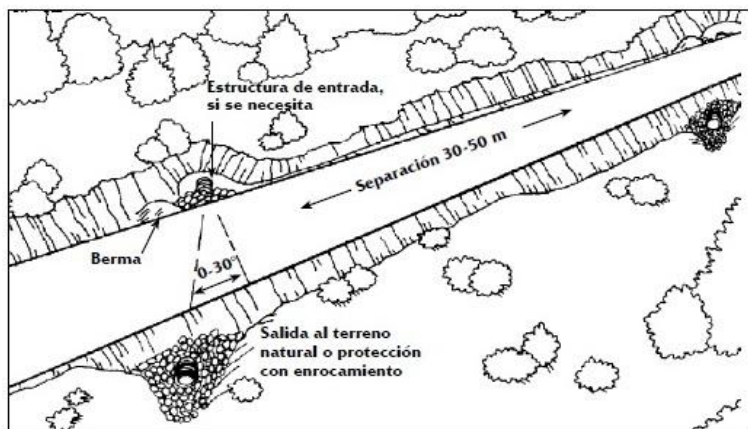
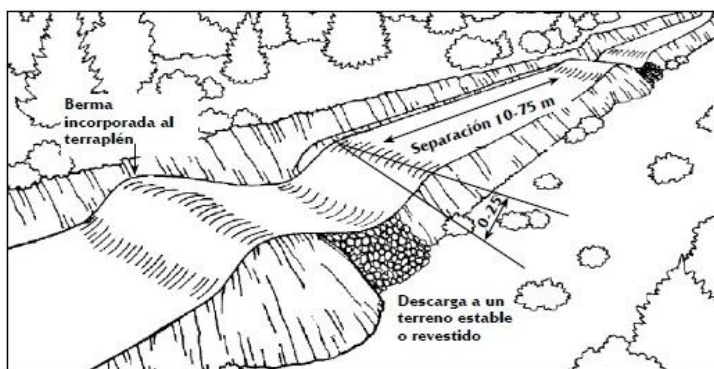
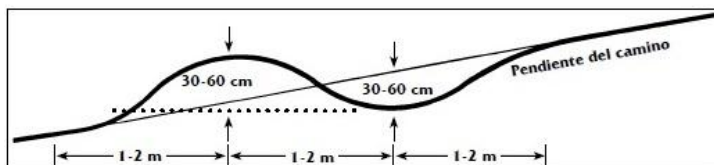


Figura 10: Drenes transversales de alcantarillas.



a. Vista en perspectiva



b. Sección transversal

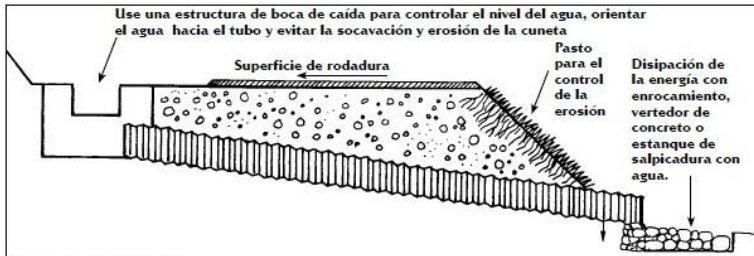
Figura 11: Construcción de un caballón desviador.

Control en entradas y salidas

Prácticas recomendadas

- Use estructuras de bocas de caída en los drenes transversales de alcantarilla cuando haga falta controlar la pendiente de la cuneta, para evitar la erosión descendente de la cuneta, o donde el espacio esté limitado con respecto al corte en las márgenes (Figura 12). Alternativamente use cuencas de captación excavadas en suelo firme.
- Descargue las alcantarillas y los drenes empedrados de drenaje transversal al nivel del terreno natural, sobre suelo firme no erosionable o en zonas rocosas con matorrales. Si se descarga sobre los taludes del terraplén, acorace las salidas con enrocamiento de protección o con desperdicio maderero, o use estructuras de drenaje hacia abajo (Figuras 9, 10, 13 y Figura 14). Haga sobresalir el tubo entre 0,5 y 1,0 m con respecto al pie del talud de terraplén para evitar erosión del material de relleno.
- En suelos erosionables, proteja las cunetas de la calzada y las cunetas de descarga con enrocamiento (Foto 7), mampostería, revestimiento de concreto, o, como mínimo, con pasto. También se pueden usar las estructuras de diques de cuneta para disipar la energía y para controlar la erosión de las cunetas (Figura 15).
- Descargue los drenes de la calzada en una zona con capacidad de infiltración o en franjas filtrantes para atrapar a los sedimentos antes de que lleguen a una vía fluvial. Mantenga “desconectados” hidrológicamente al camino con respecto a los arroyos.
- Usar estructuras de drenaje que mejor se adapten a la configuración del cauce natural y que idealmente sean tan anchas como el canal activo del arroyo (ancho con el caudal máximo). Minimizar los cambios en el cauce natural y el volumen de excavación o de relleno en el canal.
- Limitar las actividades de construcción a periodos de bajo caudal en arroyos perennes. Minimizar el uso de equipos dentro del arroyo.
- Diseñar estructuras y usar procedimientos de construcción que minimicen los impactos sobre los peces y otras especies acuáticas, o que puedan mejorar el paso de peces.
- Cruzar canales de drenaje lo menos posible. En caso necesario, cruzar los arroyos en ángulo recto, excepto donde no lo permitan los rasgos del terreno (Figura 16).
- Mantener los accesos a cruces de arroyos con una pendiente lo más suave posible en la práctica. Hacer que las pendientes sean ondulantes al llegar y al alejarse de los cruces a fin de dispersar el agua.
- Estabilizar el suelo alterado alrededor de los cruces tan pronto termine la construcción. Retirar o proteger el material de relleno colocado dentro del cauce y en la llanura de inundación.

- Usar puentes, vados para caudales en estiaje o vados mejorados, así como grandes tubos en arco con el fondo natural del arroyo siempre que sea posible para maximizar la capacidad de flujo, minimizar la posibilidad de una tubería tapada, o minimizar los impactos sobre especies acuáticas.
- Ubicar los cruces donde el alineamiento del arroyo sea recto, estable y no cambie su geometría. Los lugares subyacidos por roca sana son recomendables para estructuras de concreto.
- Para la protección por desbordamiento, construir los rellenos sobre alcantarillas con un punto bajo protegido cercano a la tubería en el caso de rellenos de baja altura, o agregar un vado superficial revestido sobre el terreno natural justamente al terminar un relleno grande para regresar el agua al drenaje y evitar la falla fuera del sitio (Figura 17).
- Estabilizar los accesos del camino a cruces de puentes, vados o alcantarillas con grava, roca u otro tipo de material adecuado a fin de evitar en lo posible que los sedimentos sobre la superficie del camino lleguen al arroyo (Figura 18). Instalar drenes transversales a ambos lados de un cruce para evitar que los escurrimientos sobre el camino y a lo largo de la cuneta descarguen en el canal de drenaje.
- Construir los rellenos para puentes y para alcantarillas más altos que el acceso del camino para evitar que el escurrimiento de la superficie del camino drene directamente en el arroyo pero ÚNICAMENTE si la probabilidad de falla de la alcantarilla es MUY pequeña (Figura 19). Típicamente el cruce debería diseñarse para minimizar el volumen de relleno.



a. Información General

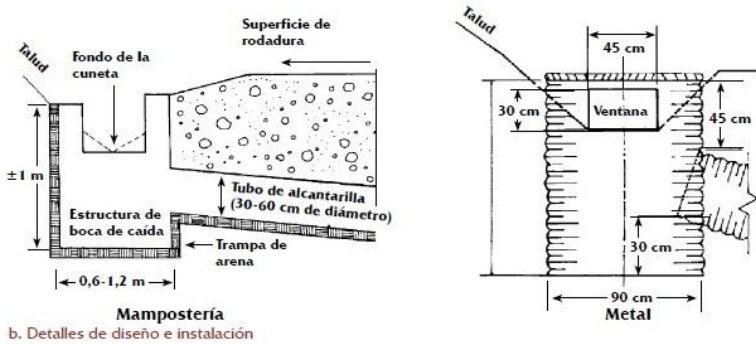


Figura 12: Tipos comunes de estructuras de boca de caída (con drenes transversales de alcantarilla).

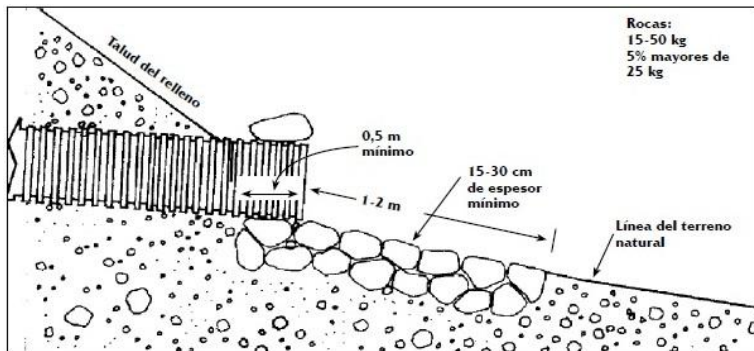
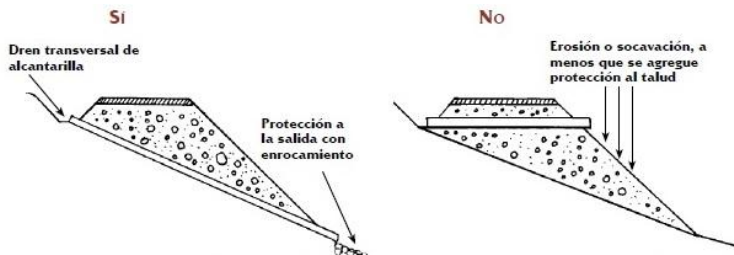


Figura 13: Detalle de la protección a la salida de una alcantarilla con roca.



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

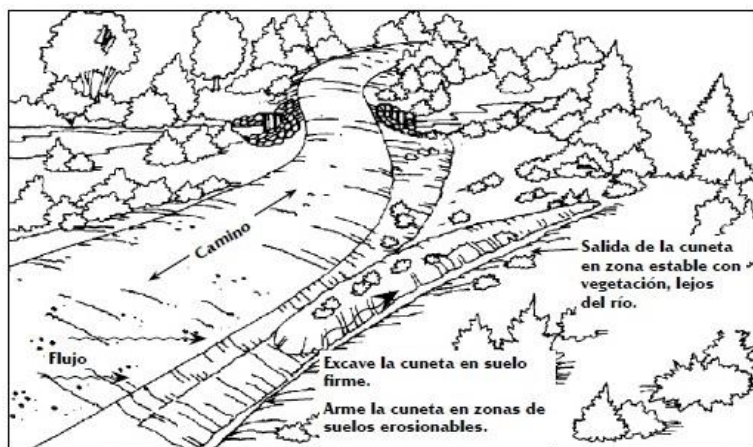


Si se usa este tipo de diseño, es necesario colocar un tubo de drenaje de bajada o canal revestido (al final) sobre todo en grandes rellenos con suelos pobres y en zonas de alta precipitación pluvial, en donde el asentamiento del relleno puede requerir reparaciones de la alcantarilla.

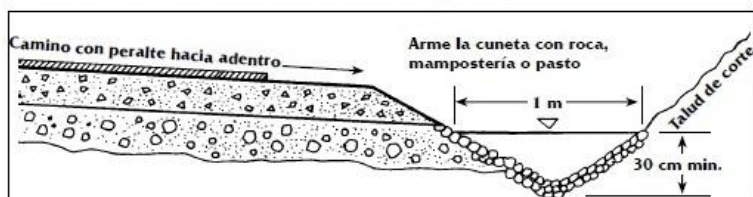
Figura 14: Opciones para la instalación de un dren transversal de alcantarilla en un relleno.



Foto 7: Cuneta protegida con enrocamiento y boca de caída para controlar el agua y evitar la socavación de la cuneta.



a. Configuración de la cuneta y descarga (Adaptado de Wisconsin's Forestry Best Management Practices for Water Quality, 1995)



b. Revestimiento y geometría típicos de una cuneta

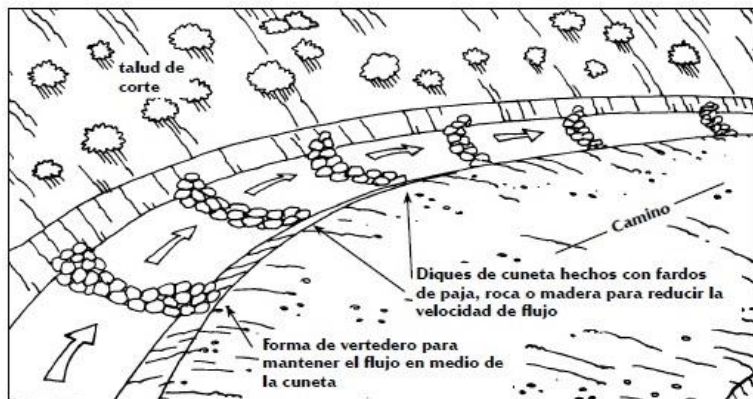
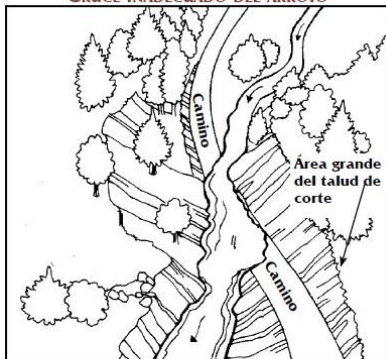
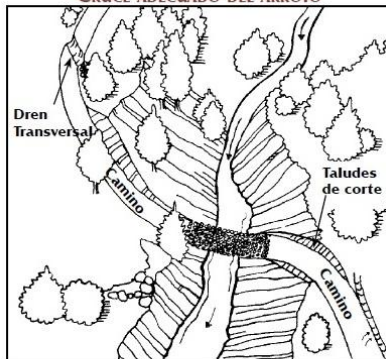


Figura 15: Cunetas y revestimiento.

CRUCE INADECUADO DEL ARROYO

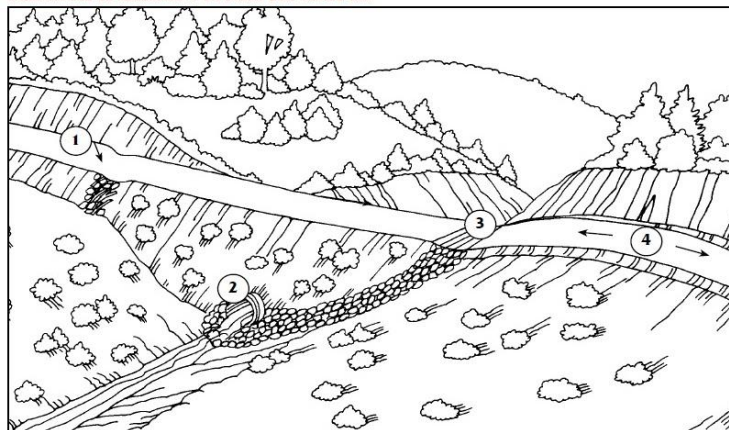
Los cruces casi paralelos al drenaje ocasionan una área alterada grande en el canal, los márgenes del arroyo y los cortes de acceso.

CRUCE ADECUADO DEL ARROYO

Los cruces de drenaje perpendiculares al arroyo minimizan el área alterada. Acorace el cruce del arroyo y la superficie de rodadura.

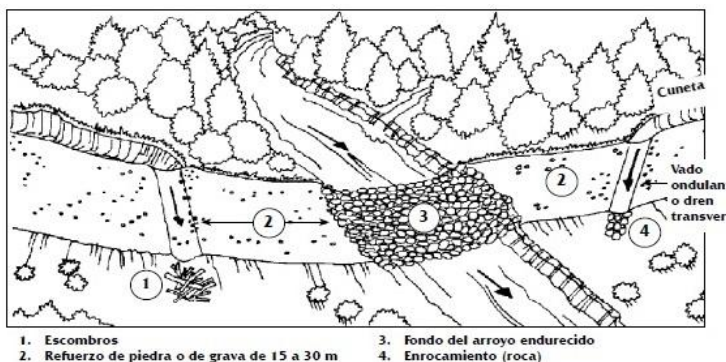
Figura 16: Cruces de drenajes naturales. Minimice el área alterada mediante una alineación del cruce perpendicular al arroyo y acorace la superficie de rodadura.

ALCANTARILLA INSTALADA CON PROTECCIÓN, USANDO UN VADO CONTRA DESBORDAMIENTO REVESTIDO PARA EVITAR EL ARRASTRE Y LA FALLA DEL TERRAPLÉN



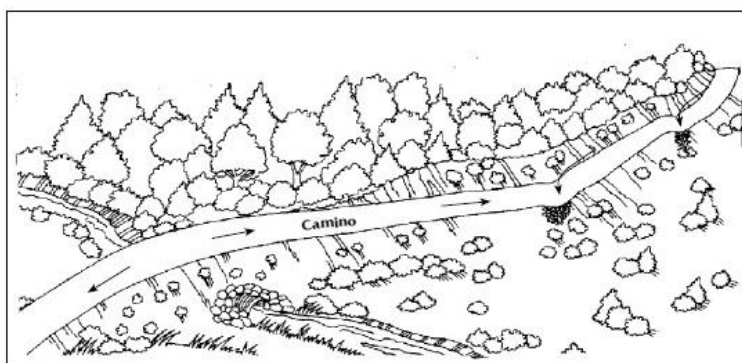
- 1 Vado Ondulante Superficial
- 2 Alcantarilla
- 3 Vado de protección contra el desbordamiento
- 4 Punto alto en el perfil del camino

Figura 17: Protección de alcantarillas contra desbordamiento.



Arme o estabilice el cruce actual del arroyo (vado), agregue un revestimiento a la base del camino y drene el agua fuera de la superficie del camino, antes de llegar al cruce. Establezca el revestimiento del cuace del arroyo a la elevación del fondo natural del arroyo.

Figura 18: Medidas de protección en cruces de arroyos.



Si son pocas las posibilidades de que ocurra una falla por taponamiento, coloque el relleno directamente sobre una alcantarilla más alta que el acceso del camino, para evitar que el escurrimiento de la superficie del camino fluya hacia la estructura de cruce y descargue en el arroyo.

Figura 19: Punto alto por encima del cruce.

Prácticas que deben evitarse

- Trabajar con equipos en el cauce natural desprotegido.
- Localizar los cruces de arroyos en canales sinuosos o inestables.
- Permitir que el escurrimiento de cunetas a los lados del camino descargue directamente en los arroyos.
- Cruce innecesario de zonas inundadas o áreas de esteros.

- Concentrar el flujo de agua en praderas o cambiar los patrones naturales de flujo del agua superficial y subterráneo.
- Colocar alcantarillas por debajo de la elevación de la superficie de la pradera.
- Descargar un tubo de drenaje transversal o dren empedrado en algún talud de terraplén desprotegido o en suelo desnudo susceptible a la erosión.
- Descargar los tubos de drenaje transversal a media altura del talud del terraplén.
- Descargar los tubos de drenaje transversal o los drenes empedrados sobre laderas naturales inestables.

Alcantarillas

Drenes transversales de Alcantarillas (para aliviar cunetas)

- Los tubos de drenaje transversal para vaciar cunetas deberían tener típicamente un diámetro de 50 cm (diámetro mínimo de 40 cm). En zonas con escombros, con taludes de corte inestables y con problemas de desmoronamientos, usar tubos de 60 cm de diámetro o mayor.
- La pendiente del tubo de drenaje transversal para drenar las cunetas debe ser de por lo menos 2% o mayor (más inclinada) que la pendiente de la cuneta y desviada entre 0 y 30 grados perpendicular al camino (Véase la Figura 10). Esta inclinación adicional ayuda a evitar que el tubo se tapone con los sedimentos.
- Los drenes transversales de alivio de cunetas deberán descargar al pie del terraplén cerca del nivel del terreno natural, cuando menos a una distancia de 0,5 metros hacia fuera del pie del talud del terraplén. Acorazar la boca de salida del tubo (véanse las Figuras 12, 13 y Figura 14). No descargar el tubo sobre material de relleno desprotegido, en taludes inestables o directamente en los arroyos (véase la Foto 8 y Foto 9).
- En rellenos grandes se podrán necesitar drenes de bajada de alcantarilla para transportar el agua hasta el pie del talud del relleno. Anclar los drenes de bajada al talud mediante varillas metálicas, bloques de anclaje de concreto, o cables. Se pueden usar tubos, canalones o cunetas revestidas.



Foto 8: Proteja la salida de alcantarillas contra la erosión. El enrocamiento bien graduado puede utilizarse para este propósito.



Foto 9: Evite colocar bocas de salida de alcantarillas en la parte media de un talud de terraplén. Use alcantarillas lo suficientemente largas para sobresalir del pie del talud del terraplén, o use estructuras de muros de cabeza para retener el material de relleno y minimizar la longitud del tubo.

Alcantarillas en drenajes Naturales

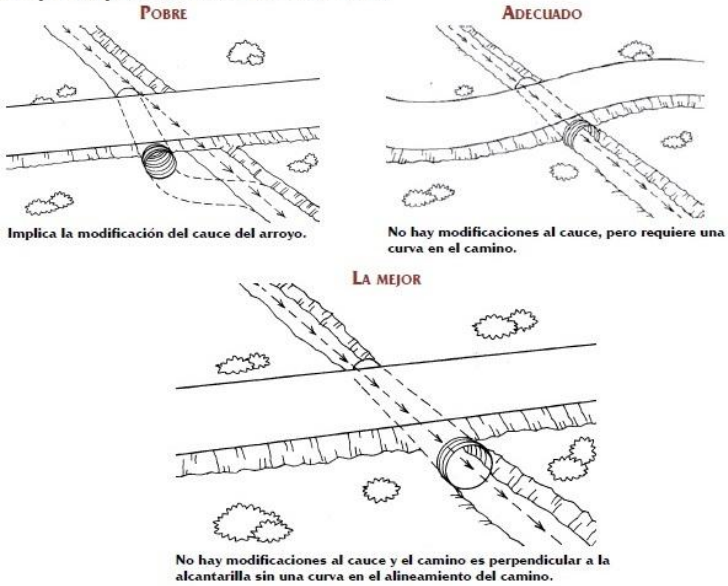
- Instalar alcantarillas permanentes con un tamaño lo suficientemente grande como para desalojar las avenidas de diseño más los escombros que se puedan anticipar. Por lo general, diseñar para eventos de tormenta de 20 a 50 años. Los arroyos sensibles pueden necesitar diseños para descargar avenidas con periodos de retorno de 100 años. El tamaño de la tubería se deberá determinar usando criterios de diseño reales, tales como los de la Tabla 4, o los que estén basados en análisis hidrológicos específicos para el sitio.
- Tomar en cuenta los impactos de cualquiera de las estructuras en el paso de peces y en el ambiente acuático. Idealmente seleccionar una estructura como puede ser un puente o una alcantarilla de arco sin fondo que sea tan ancha como el ancho correspondiente al nivel de aguas máximas ordinarias (ancho con el caudal máximo) que minimice la alteración del cauce y que mantenga el material de fondo del canal natural (Foto 10).
- Colocar los cruces de caminos sobre drenajes naturales perpendiculares a la dirección del drenaje a fin de minimizar la longitud del tubo y el área afectada (Figura 20).
- Usar tubos individuales de gran diámetro o un cajón de concreto en vez de varios tubos de menor diámetro para minimizar el potencial de taponamiento en la mayoría de los canales (a menos que la elevación de la calzada sea crítica). En cauces muy anchos los tubos múltiples son más recomendables para mantener la distribución del flujo natural a través del canal
- Para sitios con altura limitada, usar “tubos aplastados” o tubos de sección en arco que maximizan la capacidad al mismo tiempo que minimizan la altura.
- Instalar alcantarillas lo suficientemente largas de tal forma que ambos extremos de la alcantarilla sobrepasen el pie del relleno del camino (Figura 20c) (Foto 9). Alternativamente, usar muros de contención (muros de cabecera) para soportar el talud del terraplén (Figura 23 y Foto 11).
- Usar muros de cabeza de concreto o de mampostería en los tubos de alcantarilla con tanta frecuencia como sea posible. Entre las ventajas de los muros de cabecera de mampostería en tubos de alcantarilla se incluyen las siguientes: evitar que los tubos grandes emerjan del terreno cuando se obturan; reducir la longitud del tubo; aumentar la capacidad del tubo; ayudar a eliminar los escombros a lo largo del tubo; retener el material de relleno; y disminuir las posibilidades de falla de la alcantarilla en caso de desbordamiento (Foto 11)
- Colocar alineadas las alcantarillas sobre el fondo y en la parte media del cauce natural de tal manera que la instalación no afecte la alineación del canal del arroyo ni la elevación del fondo del

cauce. Las alcantarillas no deberán causar represamiento ni estancamiento de agua, ni tampoco deben aumentar significativamente las velocidades de la corriente (Figura 20).

- Compactar firmemente material de relleno bien graduado alrededor de las alcantarillas, sobre todo alrededor de la mitad inferior, colocando el material en capas para alcanzar un peso volumétrico uniforme (Figura 21). Idealmente usar grava arenosa ligeramente plástica con finos. Evitar el uso de arena fina y de suelos con abundante limo como materiales de apoyo debido a su susceptibilidad a la [tubificación](#) [G1]. Poner particular atención en el material de apoyo de la alcantarilla y en la compactación del mismo alrededor de los costados del tubo. No permitir que la compactación desplace o levante el tubo. En rellenos grandes, permitir el asentamiento al instalar el tubo con un cierto bombeo.
- Cubrir la parte superior de tubos de metal y de plástico de alcantarillas con material de relleno hasta una profundidad de cuando menos 30 cm para evitar el aplastamiento del tubo al paso de camiones pesados. Usar una cubierta mínima de 60 cm de relleno sobre la tubería de concreto (Figura 21). Para rellenos de gran altura, seguir las recomendaciones del fabricante.
- Usar enrocamiento de protección, secciones metálicas terminales abocinadas o muros de cabeza o de remate ya sea de mampostería o de concreto alrededor de las bocatomas y de salida de las alcantarillas a fin de evitar que el agua erosione el relleno y socave el tubo, así como para mejorar la eficiencia del tubo. Para el enrocamiento, usar pequeños fragmentos de roca bien graduados, grava o un filtro de geotextil colocados bajo la protección de enrocamiento grueso del talud (Figura 22).
- En las bocas de salida de las alcantarillas donde se aceleran las velocidades de flujo por el tubo, proteger el canal ya sea con un tanque amortiguador (en endientes suaves), con acorazamiento de roca (enrocamiento) o con un vertedero de protección que tenga una superficie entrante rugosa o de roca y un dentellón de anclaje (Figura 23).
- En los tubos existentes susceptibles a taponarse, agregar una rejilla aguas arriba del tubo o a la entrada del tubo bocatoma para detener a los escombros antes de que obturen el tubo (Figura 24). Se pueden construir las rejillas con troncos, tubos, varillas corrugadas, perfiles de ángulo, rieles de ferrocarril, pilotes de sección H, etc. Sin embargo, las rejillas en general implican mantenimiento y limpieza adicional por lo que no se recomiendan si otras alternativas, tales como la instalación de un tubo de gran diámetro, están disponibles.
- Examinar los cauces de los arroyos en busca de escombros, troncos y vegetación tipo maleza. En canales con grandes cantidades de escombros considerar el uso de **vados** con caudales en estiaje, tubos de gran tamaño o la colocación de una rejilla aguas arriba de la bocatoma del tubo.

- Instalar vados de desbordamiento a un lado de la alcantarilla en canales de drenaje con un gran relleno que pudiera ser desbordado. Usar también **vados de desbordamiento** en pendientes largas sostenidas de caminos, en los que una alcantarilla tapada podría desviar el agua hacia abajo del camino, obstruyendo las alcantarillas subsecuentes y causando daños importantes fuera del sitio (Figura 25).
- Las alcantarillas provisionales de troncos (alcantarillas tipo "Humboldt") generalmente cuentan con una muy baja capacidad de flujo. Cuando se usen, asegurarse de que la estructura y todo el material de relleno sean extraídos del canal antes de la temporada de lluvias o de grandes avenidas pronosticadas.
- Realizar mantenimiento periódico y limpieza del canal, a fin de conservar las alcantarillas protegidas y libres de escombros que pudieran tapar el tubo.

a. Opciones para la alineación de la alcantarilla.



b. Instalación de alcantarillas dentro de un cauce amplio.

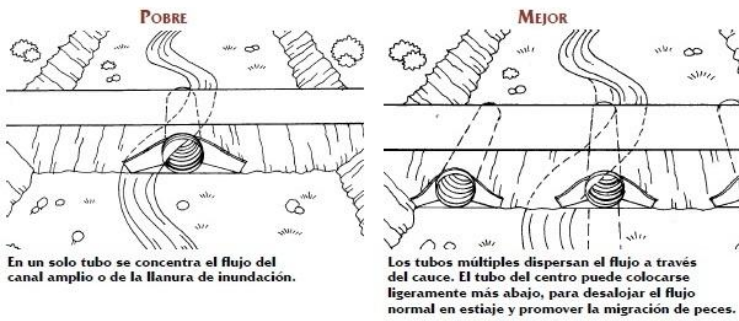


Figura 20: Alineación de la alcantarilla y detalles de instalación.



Foto 10: Use estructuras con el cauce natural como fondo, tales como arcos sin fondo, alcantarillas de cajones de concreto o tuberías en arco colocadas por debajo de la elevación del fondo del arroyo, para promover la migración de peces y minimizar los impactos al arroyo.



Figura 11: Instale alcantarillas con capacidad suficiente y con muros de cabecera para mejorar la capacidad de la alcantarilla, proteger el relleno de la cabecera y evitar la socavación de las márgenes, sobre todo en un meandro o curva de canal.

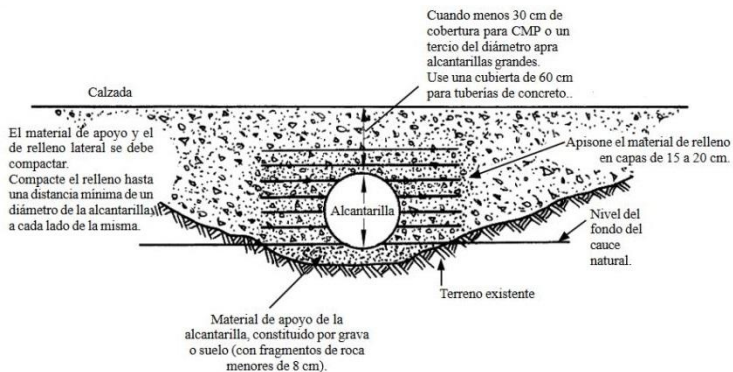


Figura 21: Relleno y compactación de una alcantarilla

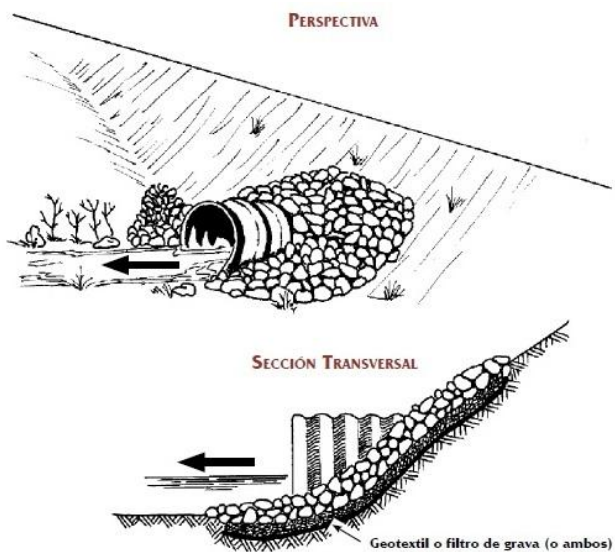
DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE DRENAJE

Área de drenaje (Hectáreas)	Tamaño de la estructura de drenaje Pulgadas y Área (m ²)			
	Taludes empinados Con troncos, cubierta ligera C= 0,7		Taludes suaves Sin troncos, cubierta gruesa C=0,2	
	Tubo circular (in)	Área (m ²)	Tubo circular (in)	Área (m ²)
0-4	30"	0,46	18"	0,17
4-8	42"	0,89	24"	0,29
8-15	48"	1,17	30"	0,46
15-30	72"	2,61	42"	0,89
30-50	84"	3,58	48"	1,17
50-80	96"	4,67	60"	1,82
80-120			72"	2,61
120-180			84"	3,58

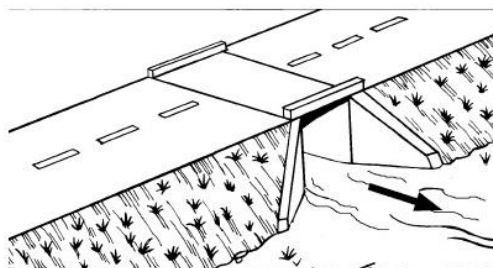
Notas: Si el diámetro del tubo no está disponible, use el tamaño más grande siguiente para el área de drenaje considerada. Para terreno intermedio, interpole entre los tamaños del tubo.

- El tamaño del tubo se basa en la Fórmula Racional y en las curvas de Capacidad de Alcantarillas. Se supone una intensidad de lluvia de 75 mm/h (3"/h) a 100 mm/h (4"/h). Los valores de "C" corresponden a los Coeficientes de Escurrimiento para el terreno.
- Para regiones tropicales con lluvias frecuentes intensas (más de 250 mm/h), estas áreas de drenaje para cada tamaño del tubo deben reducirse cuando menos a la mitad.

Tabla 4

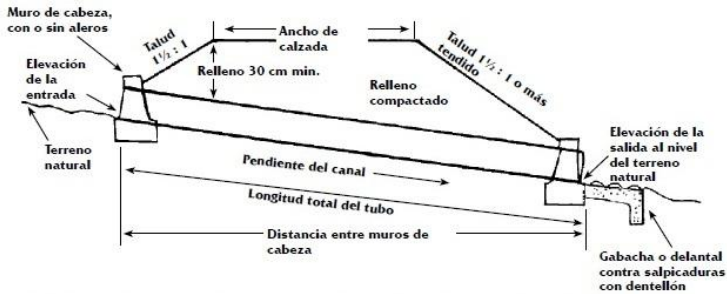


a. Instalación normal de alcantarillas de metal usando enrocamiento alrededor de la entrada y de la salida. Se usan también geotextiles (tela de filtro) o filtros de grava por debajo del enrocamiento en la mayoría de las instalaciones . (Adaptado de Wisconsin's forestry Best Management Practice for Water Quality, 1995)



b. Alcantarilla de cajón de concreto con muros de alero de concreto para protección de la entrada y de la salida, así como para la contención del relleno.

Figura 22: Protección a la entrada y salida de las alcantarillas.



Instalación típica de una alcantarilla con muros de cabeza y vertedor contra salpicaduras o con tanque amortiguador revestido con enrocamiento, para disipación de la energía y control de la socavación.

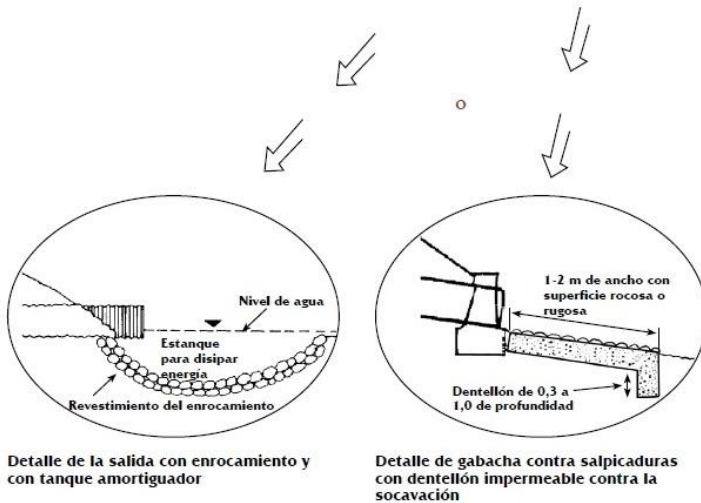


Figura 23: Instalación de alcantarillas y detalles de protección de la boca de salida, con vertedores contra salpicaduras o con tanque amortiguador revestido de enrocamiento.

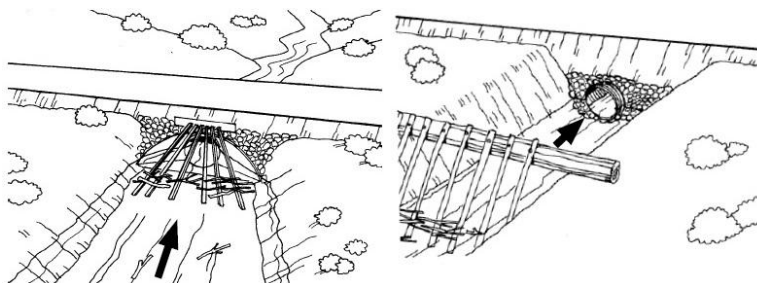
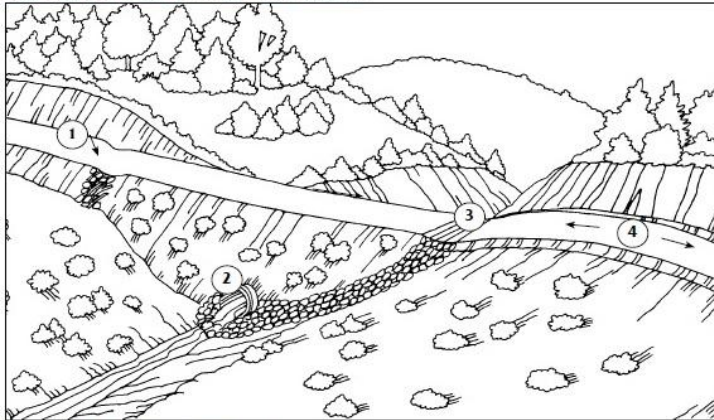


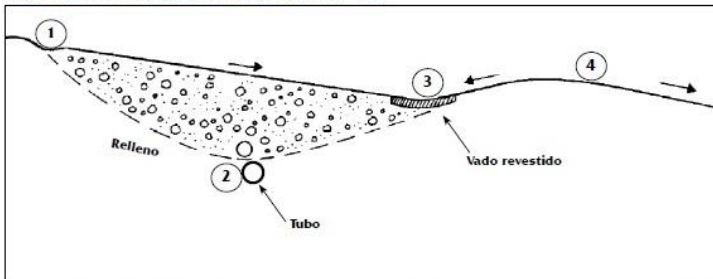
Figura 24: Opciones de rejilla en alcantarillas para evitar el taponamiento con escombros. Observe que algunas rejillas están ubicadas en el tubo y otras se localizan aguas arriba del tubo, dependiendo de las condiciones locales y acceso para limpieza y mantenimiento.

ALCANTARILLA INSTALADA CON PROTECCIÓN, USANDO UN VADO CONTRA DESBORDAMIENTO REVESTIDO PARA EVITAR EL ARRASTRE Y LA FALLA DEL TERRAPLÉN



- 1 Vado Ondulante Superficial
- 2 Alcantarilla
- 3 Vado de protección contra el desbordamiento
- 4 Punto alto en el perfil del camino

PERFIL DEL CAMINO A TRAVÉS DEL DRENAJE Y DEL VADO



a. Protección de la alcantarilla con un vado de desbordamiento en un cruce en terraplén de un arroyo. (Adaptado de Weaver and Hagans, 1994)

Figura 25: Protección de alcantarilla contra desbordamiento.

Prácticas que deben evitarse

- Descargar los tubos de drenaje transversal sobre el talud de un terraplén a menos que el talud esté protegido o que se use un dren de bajada.
- Usar tubos de menor tamaño que el necesario para el flujo esperado y para la cantidad de escombros.
- Instalar tubos demasiado cortos como para adaptarse al sitio.
- Colocar tubos enterrados o alineados de manera incorrecta con respecto al cauce natural.

- Dejar en su lugar las estructuras provisionales de baja capacidad para cruce de drenajes durante toda la temporada de lluvias.

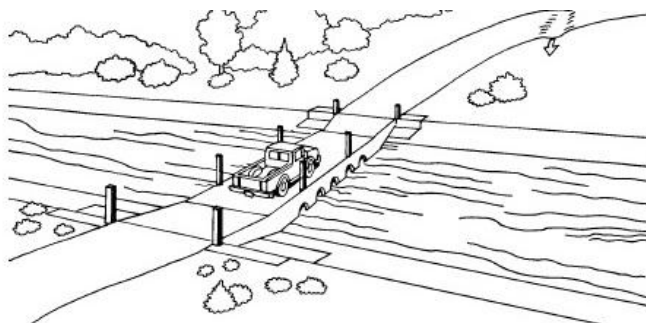
Vados

Ventajas

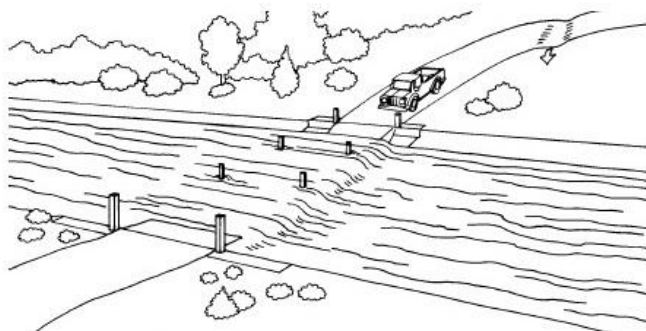
- La ventaja principal es que un vado no es generalmente susceptible a obstruirse con escombros o con vegetación como sucede en el caso de una alcantarilla de tubo que puede llegar a taparse.
- En general los vados son estructuras menos costosas que las alcantarillas grandes o los puentes. Pueden resultar inicialmente más costosos que las alcantarillas, pero se necesitará menos relleno en el cauce y pueden dejar pasar un mayor caudal.
- Los vados con alcantarillas se pueden usar para desalojar flujos en estiaje y para mantener a los vehículos fuera del agua, evitando la degradación de la calidad del agua.
- La estructura se puede diseñar como un vertedero de cresta ancha que puede dejar pasar un gran caudal de agua sobre la parte superior del vado. No es muy sensible a caudales específicos debido a que un pequeño aumento en el tirante de agua incrementa de manera importante la capacidad. Los vados pueden ser más “indulgentes” y pueden permitir más incertidumbres en el caudal de diseño, por lo que son ideales como obras de drenaje con características desconocidas de flujo.

Desventajas

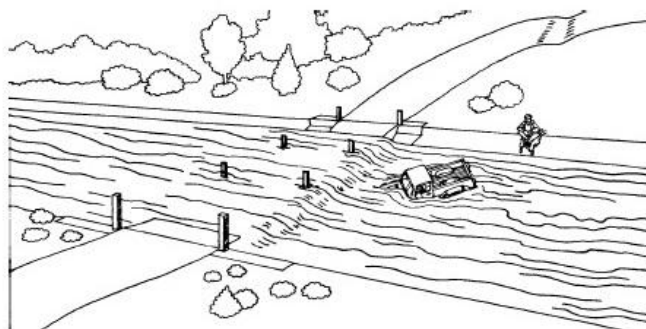
- Las estructuras tipo vado implican ciertos retrasos periódicos u ocasionales en el tránsito durante periodos de alto caudal.
- La configuración no se adapta fácilmente a desagües o arroyos profundos en el terreno para los cuales se necesitarían rellenos de gran altura.
- Debido a que la geometría de la estructura implica una depresión en la superficie y retrasos periódicos, en general no son recomendables para caminos de mucho tránsito ni de alta velocidad.
- Los vados con alcantarillas pueden represar los arrastres en el cauce de un arroyo y ocasionar la obstrucción de la alcantarilla, lo cual implica mantenimiento y origina otros ajustes en el cauce.
- La migración de peces puede ser una característica difícil de incorporar en el diseño.
- El cruce de la estructura puede ser peligroso durante periodos de gran caudal (Véase la Figura 26).



a. Cruce en estiaje con niveles bajos de agua.



b. Cruce en estiaje durante inundaciones ¡ESPERE!

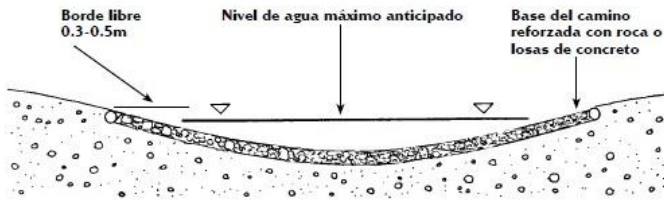


c. ¡El intentar cruzar durante inundaciones puede resultar peligroso!

Figura 26: Peligro de cruzar un vado en inundaciones grandes. Los vados implican retrasos ocasionales en el tránsito durante periodos de inundaciones grandes.

Prácticas recomendadas

- Usar una estructura o una losa suficientemente larga para proteger el "perímetro mojado" del cauce natural del arroyo. Agregar protección por arriba del nivel esperado de aguas máximas (Foto 12). Permitir un cierto borde libre, típicamente de entre 0,3 y 0,5 metros en la elevación, entre la parte superior de la superficie reforzada de rodadura (losa) y el nivel de aguas máximas esperado (véase la Figura 27). La capacidad de descarga de un vado, y por lo tanto el nivel de aguas máximas, se pueden determinar a partir de cualquier fórmula aplicable a "Vertedero de Cresta Ancha".
- Proteger toda la estructura con pantallas impermeables, enrocamiento, gaviones, losas de concreto, u otro tipo de protección contra la socavación. El borde aguas abajo de un vado es un punto particularmente crítico para efectos de socavación y necesita disipadores de energía o enrocamiento de protección debido al abatimiento típico del nivel del agua al salir de la estructura y a la aceleración del flujo a través de la losa.
- Para el caso de vados simples de roca, usar grandes fragmentos bien graduados en la base de la calzada a través de la barranca, que tengan la resistencia suficiente para resistir el flujo del agua. Aplicar. Rellenar los huecos con fragmentos pequeños de roca limpia o con grava para proporcionar una superficie de rodadura tersa. A estas rocas pequeñas se les deberá dar mantenimiento periódico y se reemplazarán eventualmente.
- Usar vados para el cruce de cauces secos en temporadas o de arroyos con caudales pequeños durante la mayoría de los periodos de uso del camino. Emplear vados mejorados (con alcantarillas) con tubos o cajones de concreto para alcantarillas a fin de dejar pasar caudales en estiaje (Foto 13). Acomodar pasos para peces donde se necesiten usando alcantarillas de cajón con un fondo del canal con flujo natural (Figura 27b y Foto 14).
- Ubicar los vados donde las márgenes del arroyo sean bajas y donde el cauce esté bien confinado. En el caso de desagües de profundidad moderada, usar vados mejorados con alcantarillas de tubo o de cajón (Figura 27c).
- Idealmente construir las cimentaciones sobre material resistente a la socavación (roca sana o enrocamiento grueso) o por debajo de la profundidad esperada de socavación. Evitar la socavación de la cimentación o del cauce mediante el uso de enrocamiento pesado colocado localmente, jaulas de gaviones, refuerzo de concreto, o de vegetación densa.
- Usar marcadores de profundidad resistentes y bien colocados en los vados para advertir al tránsito de alturas peligrosas del agua (Figura 26).



a. Cruce en estiaje simple con la base del camino reforzada con roca o concreto.



b. Vado mejorado o con alcantarillas de tubos en un cauce ancho con poca profundidad.



c. Vado con alcantarillas de tubos o de cajones de concreto en un cauce profundo.

Figura 27: Opciones básicas de cruces tipo vado. Nota: Proteja la superficie del camino (con roca o refuerzo de concreto) hasta una elevación por encima del nivel de aguas máximas.



Foto 12: Con vados o cruces en estiaje, el borde aguas debajo de la estructura debe generalmente protegerse contra la socavación, mientras que todo el perímetro mojado (al nivel de aguas máximas) de la calzada debería reforzarse.



Foto 13: Vado mejorado con una abertura de cajón de concreto para pasar los flujos en estiaje, para mantener el tránsito fuera del agua la mayor parte del tiempo, minimizar los retrasos en el tránsito y permitir el paso de peces.

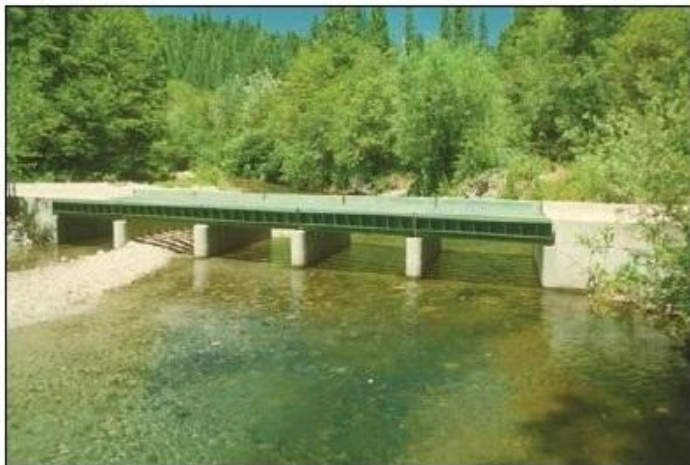


Foto 14: Algunos vados pueden ser diseñados como estructuras de "puentes de aguas bajas". Deber ser diseñados para soportar desbordamientos ocasionales y tener resistencia a la erosión en la base. Esta estructura es ideal para la migración de peces.

Prácticas que deben evitarse

- Construcción de curvas verticales pronunciadas en vados en las que puedan quedar atrapados camiones largos o remolques.
- Colocación de material de relleno para accesos dentro del canal de desagüe.
- Cruzar vados durante el nivel de aguas máximas.
- Colocación de cruces en estiaje sobre depósitos de suelos de grano fino susceptibles a la socavación, o adopción de diseños que no prevean protección contra la socavación.
- Construcción de vados que bloqueen el paso de peces tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo.

Puentes

Prácticas recomendables

- Usar una luz de puente suficientemente largao una estructura de longitud adecuada para evitar constreñir el cauce natural de flujo del arroyo. Minimizar la constricción de cualquier canal de desbordamiento.
- Proteger los accesos de aguas arriba y de aguas abajo a las estructuras mediante muros de alero, enrocamiento, gaviones,

vegetación u otro tipo de protección de taludes donde sea necesario (Foto 15).

- Colocar las cimentaciones sobre materiales no susceptibles a la socavación (idealmente roca sana (Foto 16) o enrocamiento grueso) o por debajo de la profundidad máxima esperada de socavación. Evitar la socavación de la cimentación o del cauce mediante la colocación local de enrocamiento de protección pesado, de jaulas de gaviones, o de refuerzo de concreto. Recurrir a la protección contra socavación siempre que sea necesaria.
- Ubicar los puentes donde el canal del arroyo sea estrecho, recto y uniforme. Evitar colocar los estribos dentro de la cuenca activa del arroyo. Donde sea necesario, colocar los estribos dentro de la cuenca en una dirección paralela al flujo del agua.
- Considerar los ajustes al cauce natural y posibles cambios en la ubicación del canal durante la vida útil de la estructura. Los canales que son sinuosos, que tienen meandros o que cuentan con extensas llanuras de inundación pueden cambiar de lugar dentro de esa zona de flujo histórico como resultado de un evento importante de tormenta.
- En el caso de estribos de puente o de zapatas colocadas sobre laderas naturales, desplantar la estructura en terreno natural firme (no en material de relleno ni en suelo suelto) a una profundidad mínima comprendida entre 0,5 y 2,0 metros. Usar estructuras de retención en caso necesario en desagües profundos y escarpados para sostener los rellenos de acceso, o use un puente con claro relativamente largo.
- Diseñar los puentes para un evento de 50 a 100 años de periodo de retorno. Para las estructuras costosas y en aquéllas cuya falla puede causar daños importantes mayores se justifica la realización de diseños conservadores.
- Permitir un cierto bordo libre, generalmente de cuando menos 0,5 a 1,0 metro, entre la parte inferior de las vigas del puente y el nivel de aguas máximas esperado con escombros flotantes. Las estructuras en un ambiente tropical con precipitaciones pluviales muy intensas pueden requerir un bordo libre adicional. Alternativamente, se puede diseñar un puente para que el agua pase sobre él, de la misma manera que un vado en estiaje, y así eliminar la necesidad de bordo libre, pero esto aumenta la necesidad de tener una cubierta resistente a la erosión así como losas de aproximación (Foto 17).
- Llevar a cabo inspecciones del puente cada 2 a 4 años. Programe el mantenimiento del puente a medida que se necesite para alargar la vida útil y la función de la estructura.



Foto 15: Las estructuras de concreto tienen una larga vida útil y en general resultan muy costo-efectivas. Proteja los márgenes, por ejemplo con enrocamiento, sobre todo a la entrada y salida de las estructuras.



Foto 16: Coloque la cimentación del puente sobre roca sana o de ser posible sobre un material no susceptible a la socavación. E materiales propensos a la socavación, protegerlos contra la misma, o usar una cimentación profunda.



Foto 17: Aquí se muestra un puente de madera tratada bien construido, con buena protección de las márgenes del arroyo y un claro adecuado para minimizar los impactos del flujo del canal. El borde libre que se muestra es marginalmente adecuado.

Prácticas que deben evitarse

- Colocación de pilas o de zapatas dentro del cauce activo del arroyo o la mitad del canal.
- Colocación de material de relleno para accesos dentro del canal de desagüe.
- Colocación de cimentaciones estructurales sobre depósitos de suelos susceptibles a la socavación tales como limos y arenas finas.
- Constricción o reducción del ancho del cauce natural del arroyo.

Estabilización de taludes

Prácticas que deben evitarse

- Construcción de cortes con taludes verticales (excepto en suelos muy bien cementados y en roca).
- Ubicación de caminos donde el pie del relleno termina en el agua. No use métodos de colocación de rellenos a volteo en laderas escarpadas adyacentes a arroyos.
- Colocación de rellenos o de materiales a volteo en laderas de terreno natural con inclinaciones mayores de 60%.
- Ubicación de caminos en zonas con inestabilidad natural o conocida.

- Dejar los cortes, y particularmente los taludes de terraplén, desnudos y expuestos a la erosión.

Prácticas recomendadas

- Usar construcción balanceada de corte y relleno en la mayoría de los terrenos para minimizar los movimientos de tierra (Figura 28a).
- Usar un sistema constructivo con cortes en balcón en terrenos empinados (más de 60%). Considerar la construcción de un camino angosto de un solo carril con apartaderos de paso, para minimizar la excavación (Figura 28b).
- Construir taludes en corte en la mayor parte de los suelos usando una relación de talud en corte de 3/4:1 a 1:1 (horizontal a vertical) (Figura 28)
- Dejar taludes en corte más tendidos en suelos granulares gruesos y en suelos no consolidados, en zonas húmedas y en suelos blandos o muy arcillosos. Usar taludes en corte relativamente planos (2:1 o más tendidos) en cortes de baja altura (<2-3 metros de alto), para ayudar a promover el crecimiento de la vegetación.
- Construir taludes en cortes de roca usando una relación de talud en corte de 1/4:1 a 1/2:1 (Figura 28).
- Usar cortes casi verticales (1/4:1 o más parados) únicamente en roca estable o en suelos muy cementados, tales como ceniza volcánica cementada o suelo de granito intemperizado en el lugar, donde el riesgo de erosión superficial o de desmoronamiento continuo de un corte relativamente plano, sea grande y el riesgo de fallas locales en el corte empinado sea bajo.
- Donde se cuente con casos reales de larga duración, aplicar la experiencia local, así como ensayos y análisis ideales de materiales, para determinar el ángulo estable de corte para un tipo de suelo en particular.
- Conducir el agua superficial (escurrimiento) hacia afuera de los taludes de cortes y terraplenes.
- Colocar el desperdicio maderero de la construcción y rocas a lo largo del pie de taludes de terraplenes (véase Diseño de caminos, Figura 3). No entierre el desperdicio maderero en el terraplén.
- Deshacerse del material de excavación sobrante o no adecuado en lugares que o vayan a causar la degradación de la calidad del agua ni otros daños a los recursos naturales.
- Construir rellenos con una relación de talud de terraplén de 1-1/2:1 (horizontal a vertical) o más tendido. En la mayoría de los suelos un talud de terraplén de 2:1 o más tendido promoverá el crecimiento de vegetación. En suelos tropicales con alto contenido de arcilla dentro de zonas muy lluviosas, un talud de terraplén de 3:1 es recomendable.
- Compactar los taludes de terraplén en zonas sensibles o donde el relleno se construya con suelos erosionables o de mala calidad. Usar procedimientos específicos de construcción tales como

apisonamiento con rodillos, colocación del relleno en capas (de 15 a 30 cm de espesor), o uso de equipos de compactación específicos cuando estén disponibles (Figura 29b).

- Retirar el material orgánico superficial, colocar una terraza al pie, y construir terrazas en la superficie del terreno natural cuando las laderas tengan una inclinación de entre 40 y 60% antes de proceder a colocar el relleno sobre el suelo original (Figura 29b) con el fin de evitar una falla tipo “relleno de hendiduras” en el contacto entre el suelo nativo y el relleno. Si llegara a ocurrir una falla del relleno en un talud escarpado, se necesitará para las reparaciones una estructura de contención o un relleno reforzado (Foto 18).
- Considerar la utilización de rellenos reforzados cuando un talud de terraplén de 1:1 se adapte al terreno natural estable (Véase la Figura 29c). Usar rellenos reforzados como una alternativa de bajo costo en comparación con las estructuras de retención.
- Aplicar medidas físicas y biotécnicas de estabilización de taludes tales como estructuras de contención, contrafuertes, capas de maleza y drenaje, en caso necesario para lograr taludes estables (Figuras 30 y 31).
- Las estructuras de contención pueden estar formadas por enrocamiento suelto, gaviones, concreto reforzado, pilotes, encofrados, tabla, estacado, clavos de suelo o muros de tierra estabilizada mecánicamente con una gran variedad de revestimientos como geotextiles, malla de alambre soldado, madera, bloques de concreto o llantas (Foto 19). El relleno en el respaldo del muro se compacta generalmente al 95% del peso volumétrico máximo de la norma AASHTO.
- Use estructuras de retención para ganar ancho del camino en terrenos empinados.
- Colocar las estructuras de retención únicamente sobre buenos materiales de construcción, como puede ser roca sana o suelos firmes locales (Foto 20).



Foto 18: Falla del relleno de un camino en terreno escarpado, para el que ahora se requiere una estructura de contención o un corte alto para retener o ampliar el camino alrededor de la falla.



Foto 19: Muro de contención de tierra estabilizada mecánicamente (MSE), como Tierra Armada con la fachada protegida con llantas o capas de refuerzo de geo textiles. Se usa para ampliar el camino en una zona con fallas en el terreno. Las estructuras tipo MSE son a menudo las estructuras de contención menos costosas disponibles. También se usan a menudo muros de malla de alambre soldado.



Foto 20: Una estructura de gaviones que fallara pronto debido a falta de una cimentación adecuada. Todas las estructuras de retención, ya sea MSE o muros de gravedad, requieren una buena cimentación.

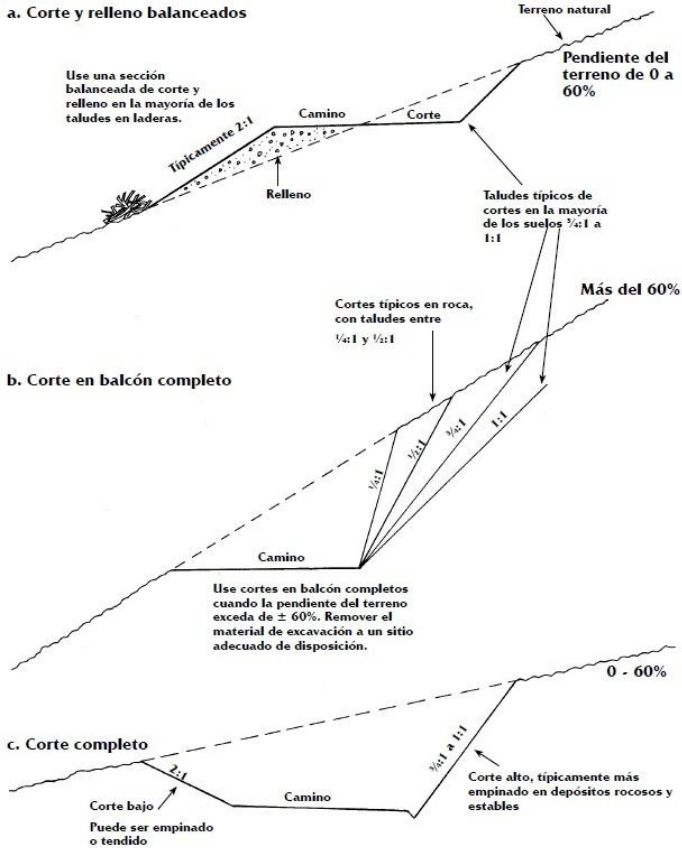
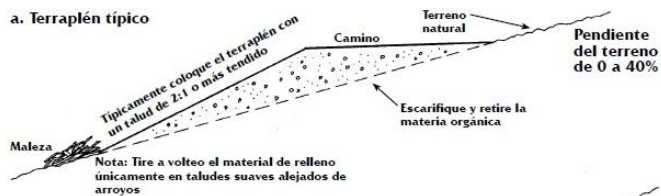
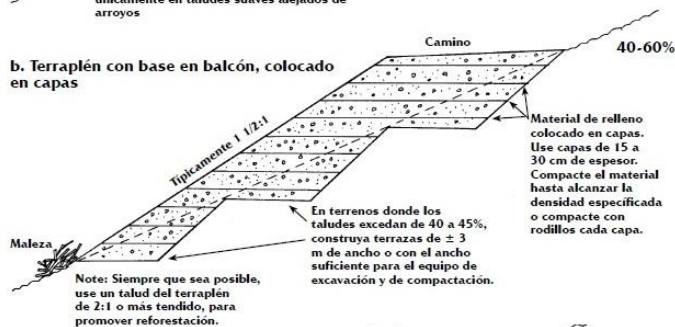


Figura 28: Opciones de diseño para taludes de corte.

a. Terraplén típico

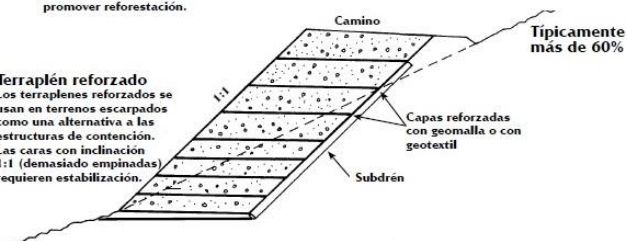


b. Terraplén con base en balcón, colocado en capas



c. Terraplén reforzado

Los terraplenes reforzados se usan en terrenos escarpados como una alternativa a las estructuras de contención. Las caras con inclinación 1:1 (demasiado empinadas) requieren estabilización.



d. Terraplén completo

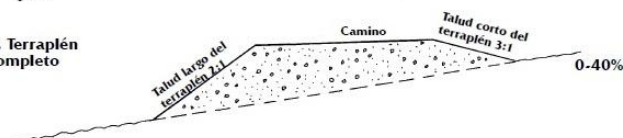


Figura 29: Opciones de diseño para taludes de terraplén.

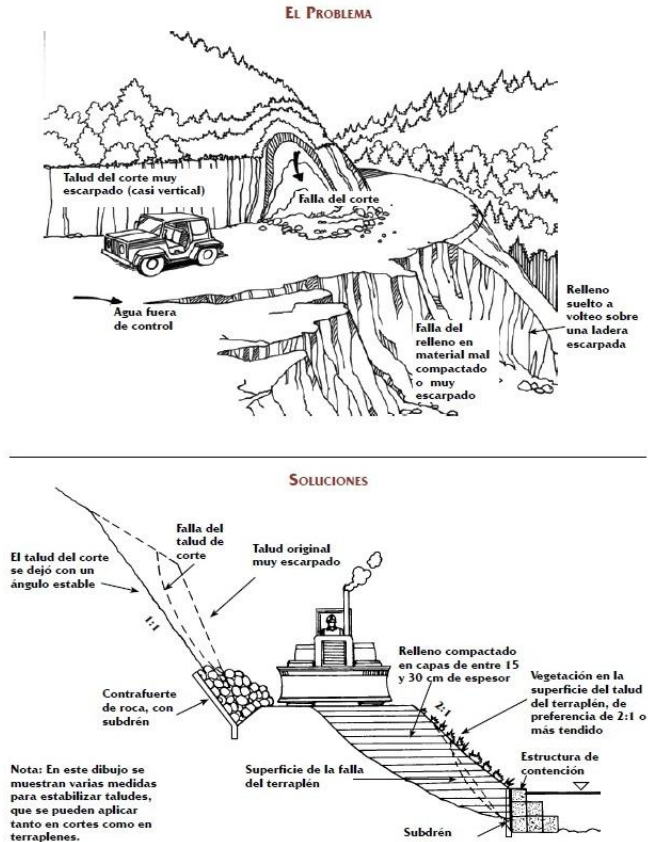
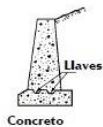


Figura 30: Problemas en taludes y soluciones con medidas de estabilización.

a. Tipos comunes de estructuras de contención.

MUROS DE GRAVEDAD



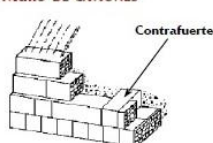
CONCRETO CON CONTRAFUERTE



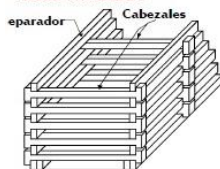
PILOTES "H"



MURO DE GAVIONES



MURO ENCOFRADO

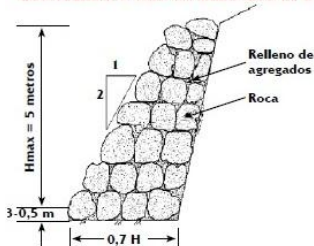


MURO DE SUELO REFORZADO



b. Construcción típica de un muro de roca.

CONFIGURACIÓN PARA UN MURO ALTO DE ROCA



CONFIGURACIÓN PARA UN MURO BAJO DE ROCA

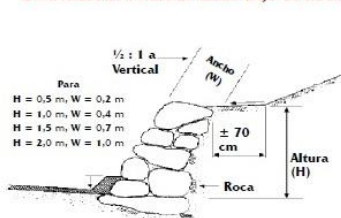


Figura 31: Construcción de varios tipos de estructuras de contención.

Materiales

Prácticas que deben evitarse

- Operaciones de construcción o uso intensivo durante periodos húmedos o lluviosos en caminos con superficies de rodadura construidas con suelos arcillosos o de grano fino, que forman ahuellamientos.

- Dejar que se formen ahuellamientos y baches de más de 5 a 10 cm de profundidad en la superficie de rodadura.
- Estabilización de la superficie del camino usando enrocamiento grueso con fragmentos mayores de unos 7,5 cm. Es difícil circular sobre roca gruesa y se dificulta mantener estabilizada la superficie de rodadura, y además, daña los neumáticos..
- Uso de materiales de recubrimiento constituidos por suelos de grano fino; empleo de roca blanda que se degradará hasta convertirse en sedimentos finos; o uso de roca gruesa limpia mal graduada que se va a erosionar, a desmoronar o a formar ondulaciones.
- Operaciones de extracción de gravas dentro del cauce del arroyo y sobre todo el trabajo con equipos dentro del arroyo.
- Explotación de fuentes de abastecimiento de materiales sin planificación y sin poner en práctica medidas de recuperación.
- Uso de materiales de baja calidad, cuestionables o no probados sin una investigación y ensayos previos.

Prácticas recomendadas

- Estabilizar la superficie de la calzada • en el caso de caminos que forman ahuellamientos o que se desmoronan excesivamente. Entre las técnicas más comunes de estabilización superficial se incluye la colocación de una capa de agregado triturado de entre 10 y 15 cm de espesor; de materiales rocosos extraídos de canteras o cribados; de empedrados; de recortes de madera o de desperdicio vegetal fino de explotaciones forestales; o de suelos mezclados y estabilizados con cemento, asfalto, cal, lignina, cloruros, productos químicos, o enzimas.
- Para el caso de tránsito pesado sobre suelos blandos de la subrasante, usar una sola sección estructural gruesa formada por una capa de agregado de cuando menos 20 a 30 cm de espesor. Alternativamente, usar una sección estructural consistente en una capa de 10 a 30 cm de agregado para base o de roca gruesa fracturada, recubierta por una capa de entre 10 y 15 cm de espesor de agregado para superficie de rodadura revestido (Figura 32). Observe que los suelos tropicales blandos con alto contenido de arcilla y las cargas por llanta de vehículos pesados pueden hacer necesaria una sección estructural de mayor espesor. El espesor estructural necesario es función del volumen de tránsito, de las cargas y del tipo de suelo, y debería determinarse idealmente mediante experiencia local o con pruebas, como puede ser el uso de la prueba CBR.
- Mantener un gradiente transversal de 2-5% en el camino con pendientes hacia adentro, hacia afuera o con coronamiento para desalojar rápidamente el agua fuera de la superficie del camino (Figura 2). Nivelar o dar mantenimiento a la superficie de la calzada antes de que se produzcan baches, ondulaciones o ahuellamientos importantes (Figura 5).

- Compactar el material del terraplén, el material de superficie de rodadura o el agregado durante la construcción y el mantenimiento para lograr una superficie del camino densa y tersa a la vez con lo cual se reduce la cantidad de agua que se puede infiltrar en el camino (Figura 34).
- Estabilizar “puntualmente” las zonas húmedas locales y las áreas blandas con una capa de entre 10 y 15 cm de material grueso rocoso. Agregar más roca en caso necesario (Figura 32).
- Estabilizar la superficie del camino en zonas sensibles cercanas a arroyos y en cruces de drenaje a fin de minimizar la erosión de la superficie de rodadura.
- Controlar el exceso de polvo en el camino con agua, aceites, o troceados de madera, o use otro tipo de eliminadores de polvo.
- Mezclar el agregado grueso con un suelo fino altamente arcilloso (cuando esté disponible) para producir un material satisfactorio combinado para la calzada que sea grueso y a la vez bien graduado con 5 a 15% de finos como ligantes (Figura 33).
- Aplicar medidas de control de calidad del proyecto de construcción, mediante la observación visual y el muestreo y ensayo de los materiales, para alcanzar densidades especificadas y materiales de calidad bien graduados para el camino.
- En el caso de caminos de más altas especificaciones y de mayores volúmenes de tránsito (colectores, principales o secundarios) use materiales adecuados y redituables en cuanto a costo para superficies de rodadura como pueden ser aceites, cantos rodados, bloques de pavimentación, tratamientos superficiales asfálticos (riegos de sello), y pavimentos de concreto asfáltico.
- Desarrollar localmente yacimientos de préstamo, canteras y fuentes de abastecimiento de materiales en bruto siempre que resulte práctico en el sitio de un proyecto. Asegurarse de que se ha llevado a cabo un Análisis Ambiental para el establecimiento de nuevas fuentes de abastecimiento de materiales.
- Usar un estudio de yacimientos para definir y controlar el uso de materiales locales. En un estudio de yacimientos se debería incluir la ubicación del sitio, la extensión de la explotación, la excavación, las áreas de almacenamiento y de trabajo, la geometría del banco, el volumen de material utilizable, las limitaciones del sitio, una vista en planta, las secciones transversales de la zona, etc. En el plan se deberían también considerar las clausuras provisionales o temporales así como las operaciones futuras.
- Preparar un Plan de Recuperación de yacimientos en combinación con la planificación del yacimiento para devolverle a la zona otros usos productivos en el largo plazo. En un Plan de Recuperación de yacimientos se debería incluir información como la de conservación y re aplicación de la capa vegetal, la configuración final, las necesidades de drenaje, la reforestación y las medidas de control de erosión (Foto 22).

- Reconfigurar, reforestar y controlar la erosión en yacimientos de préstamo a los lados del camino para minimizar sus impactos visuales y ambientales (Figura 34). De preferencia, localizar las fuentes de abastecimiento de materiales, ya sea dentro del derecho de vía del camino o fuera de la vista de la calzada.
- Mantener el control de calidad del proyecto mediante ensayo de materiales para garantizar la producción de materiales de calidad adecuada en canteras y en yacimientos de préstamo.



Foto 21: Esta zona de préstamo al lado del camino carece de control de drenaje y de la erosión. El desarrollo de bancos a un lado del camino puede resultar económico y útil, pero las áreas deben esconderse si es posible, y la zona debe rehabilitarse una vez concluido el proyecto.



Foto 22: Un banco de préstamo que ha sido rehabilitado y reforestado. Reconfigure, drenes y restaure los bancos de préstamo y las canteras, una vez que se han explotado los materiales útiles y el uso de la zona ha terminado.

POBRE



- a. Cantidad mínima de agregados para llenar las roderas, a medida que éstas se producen.

MEDIOCRE ADECUADO



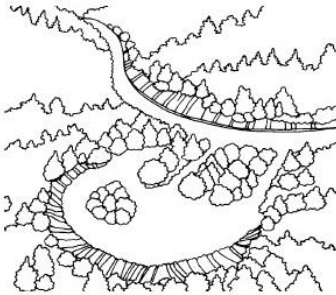
- b. Roderas rellenas, más una capa de entre 10 y 15 cm de espesor de agregados.

LO MEJOR



- c. Se coloca una sección estructural completa sobre una subrasante compactada y rellena.

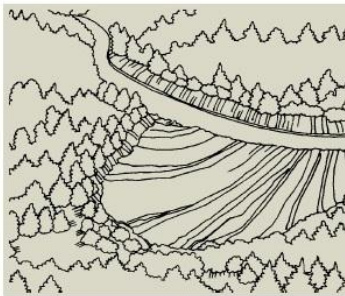
Figura 32: Opciones utilizando agregados para evitar ahuellamiento o roderas.



Prácticas adecuadas para la explotación de canteras

¡LO QUE DEBE HACERSE!

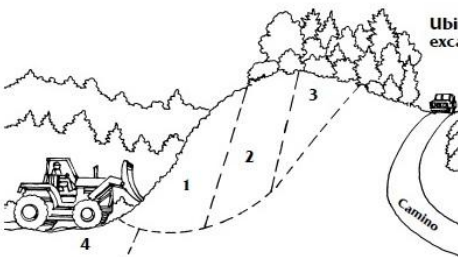
- Oculte la excavación y la zona de la salida de la vista del camino
- Deje taludes suaves
- Reconfigure y nivele la zona
- Deje zonas de vegetación
- Siembre y aplique cubiertas de vegetación en la zona
- Use medidas de control del drenaje
- Restituya la capa de suelo orgánico



Prácticas inadecuadas o malas para la explotación de canteras

¡LO QUE NO DEBE HACERSE!

- Dejar expuestas zonas abiertas extensas
- Dejar la zona desgastada por la erosión
- Dejar taludes verticales o escarpados



Ubicación ideal y secuencia de excavación

Ubique las zonas de préstamo fuera de la vista del camino.

(NOTA: La altura segura de excavación de una ladera dependerá del tipo de suelo. Mantenga el talud excavado a una baja altura, con cierta pendiente o terrazas, por razones de seguridad.)

Figura 34: Buenas y malas prácticas para la explotación de canteras.

Control de erosión

Prácticas que deben evitarse

- Alteración innecesaria de grandes extensiones.
- Dejar sin protección contra la erosión al suelo nativo después de una nueva construcción o de haber alterado el terreno.

- Movimientos de tierras y actividades de construcción de caminos durante periodos de lluvia o en el invierno.

Practicas recomendadas

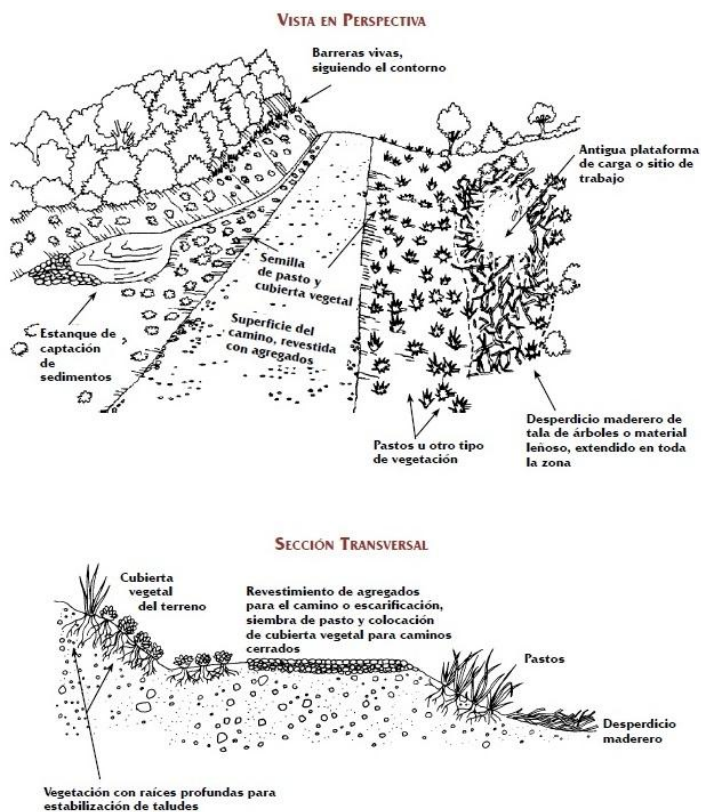
- Desarrollar para cada proyecto un Plan de Control de la Erosión que contenga las necesidades provisionales y definitivas de control de la erosión, las acciones específicas, y la manera de poner en práctica o de instalar dichas acciones.
- Preparar planos típicos para trampas de sedimentos, , barreras de maleza, cubiertas del suelo, diques de detención, cunetas revestidas y medidas biotécnicas.
- Alterar lo menos posible el área del terreno, estabilizar esa área tan pronto como sea posible, controlar el drenaje a través del terreno, y atrapar los sedimentos en el lugar.
- Conservar la capa vegetal con sus desechos de hojas y materia orgánica y volver a colocar este material en zonas locales alteradas para promover el crecimiento de la vegetación nativa local.
- Aplicar semillas de pasto local nativo y una cubierta vegetal en las zonas desgastadas con suelos erosionables o en la superficie de los caminos cerrados. El material para la cubierta vegetal puede ser paja, troceados de madera, corteza, maleza, hojas y ramas, papel picado, grava, etc. (Foto 23).
- Aplicar medidas de control de la erosión antes del inicio de la temporada de lluvias y después de cada temporada de construcción, de preferencia inmediatamente después de la construcción. Instalar medidas de control de la erosión conforme se va terminado cada tramo del camino.
- Cubrir las zonas alteradas o erosionables con ramas, copas de árboles y desechos de madera tales como desperdicio maderero de corte de árboles colocado en el contorno y aplastado para lograr un buen contacto con el suelo (Foto 23).
- Instalar estructuras para el control de sedimentos donde haga falta para disminuir la velocidad del escurrimiento o para reorientarlo y para atrapar sedimentos mientras crece la vegetación. Entre las estructuras de control de sedimentos se incluyen camellones de desperdicio maderero de talas, bermas de roca, cuencas de captación de sedimentos, pacas de paja, setos de maleza, y barreras contra azolves (véanse las Figuras 35, 36a y 36b).
- Controlar el flujo de agua a través de los sitios de construcción o de las zonas alteradas mediante cunetas, bermas, estructuras de detención, barreras de pastos naturales, roca, etc. (Figura 37).
- Colocar camellones de troncos o maleza de desmonte a lo largo del pie de los taludes de relleno de la calzada (Figura 3).
- Estabilizar los taludes de cortes y de rellenos, los rellenos de astillas, las zonas altas desgastadas, o las quebradas con capas

de maleza, estructuras de roca con estacas vivas, setos vivos en hilera, juncos, u otro tipo de medidas biotécnicas (Figura 38).

- Mantener y volver a aplicar medidas de control de la erosión hasta que crezca la vegetación. Realizar pruebas de químicas en el suelo en caso necesario para determinar los nutrientes del suelo disponibles.
- Usar fertilizantes en zonas con suelos pobres carentes de los nutrientes necesarios para promover un crecimiento más rápido y lograr un mejor control de la erosión. El fertilizante sólo deberá usarse cuando se necesite. Agregar agua o riego únicamente en caso necesario para hacer crecer inicialmente la vegetación. Desarrollar fuentes locales de plantas y viveros para contar con materiales de origen vegetal para el control de la erosión.
- Usar especies nativas locales (ni exóticas ni invasoras) siempre que sea posible. Seleccionar especies adecuadas para el uso, el sitio y el entorno biológico.



Foto 23: No deje las zonas alteradas o desgastadas por la erosión expuesta a la lluvia y escurrimientos. Emplee medidas de control de la erosión para proteger la zona y cuidar la calidad del agua.



Entre los diversos controles de la erosión con cubiertas, se incluye la siembra de semillas de pasto y paja, de pastos y otros tipos de retenedores de humedad, vegetación, rocas, desperdicio maderero, astillas, troceados de madera y hojas.

Figura 35: Uso de vegetación, material leñoso y roca para controlar la erosión y para proteger el terreno.

A. PACAS DE HENO (O ATADOS DE PASTO)

Nota: Pueden presentarse problemas al correr el agua entre y por debajo de las pacas de heno. Instálaslas cuidadosamente. Las estructuras deben ser limpiadas y conservadas periódicamente.

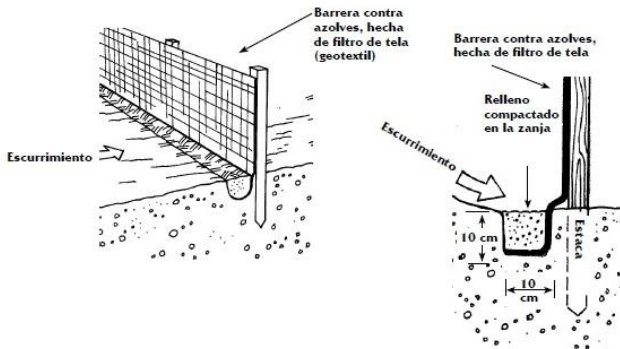
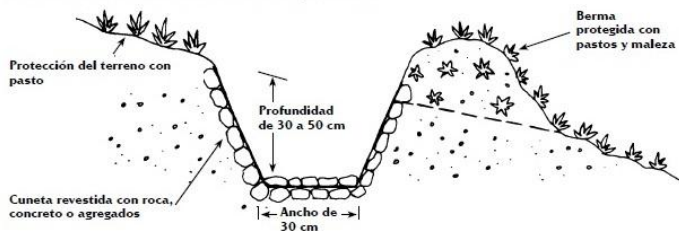
B. BARRERAS CONTRA AZOLVES

Figura 36: Estructuras para el control de la sedimentación usando pacas de paja o barreras contra azolves. Observe que las pacas de paja se deben instalar correctamente y anclarse al terreno.

A. CONTROL DEL AGUA MEDIANTE CUNETAS Y/O BERMAS



B. CONTROL DEL AGUA CON BARRERAS DE VEGETACIÓN (Y TERRAZAS). (ADAPTADO DE VETIVER, 1990)

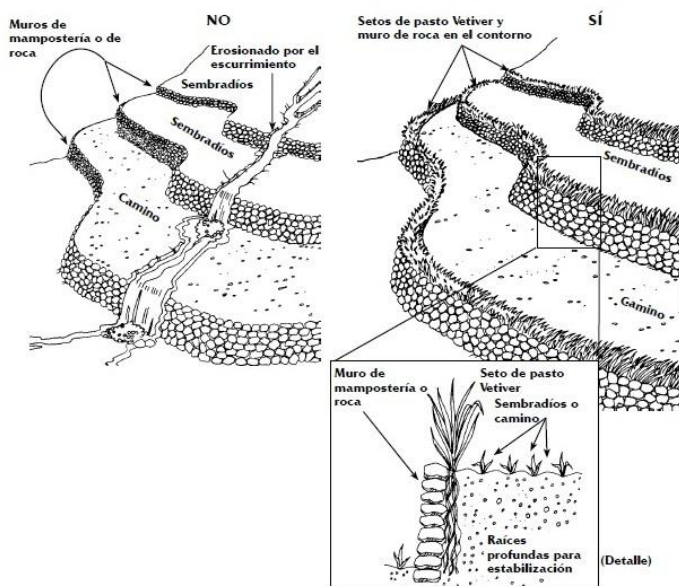
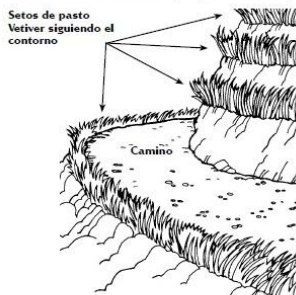


Figura 37: Estructuras para el control del agua.

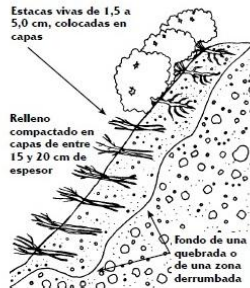
A. ARBUSTOS SIGUIENDO EL CONITORNO

Para estabilización de taludes (Adaptado de Vetiver, 1990)



B. CAPAS DE MALEZA

Para estabilización de quebradas y deslizamientos



C. MUROS DE RETENCIÓN VIVOS

Construidos con roca o gaviones y vegetación

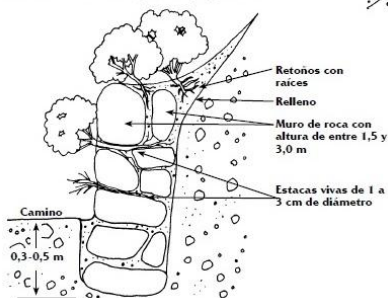


Figura 38: Medidas biotécnicas para la estabilización de taludes.



Foto 24: Uso de pastos, plantados en hileras, para proporcionar estabilidad a la superficie del talud y control de la erosión en cortes escarpados del camino.



Foto 25: Barreras de vegetación viva (arbustos en hilera) usando pastos tipo vetiver y otros tipos de vegetación, colocados sobre las curvas de nivel para evitar la erosión descendente de taludes desde zonas desgastadas o alteradas.



Foto 26: Vivero local, desarrollado en conjunto con un proyecto de construcción para proporcionar una fuente de abastecimiento de plantas y vegetación crecida (preferentemente nativa), apropiadas para los trabajos de control de la erosión.

Referencias

[Ingeniería de caminos rurales – Gordon Keller – James Sherar](#)