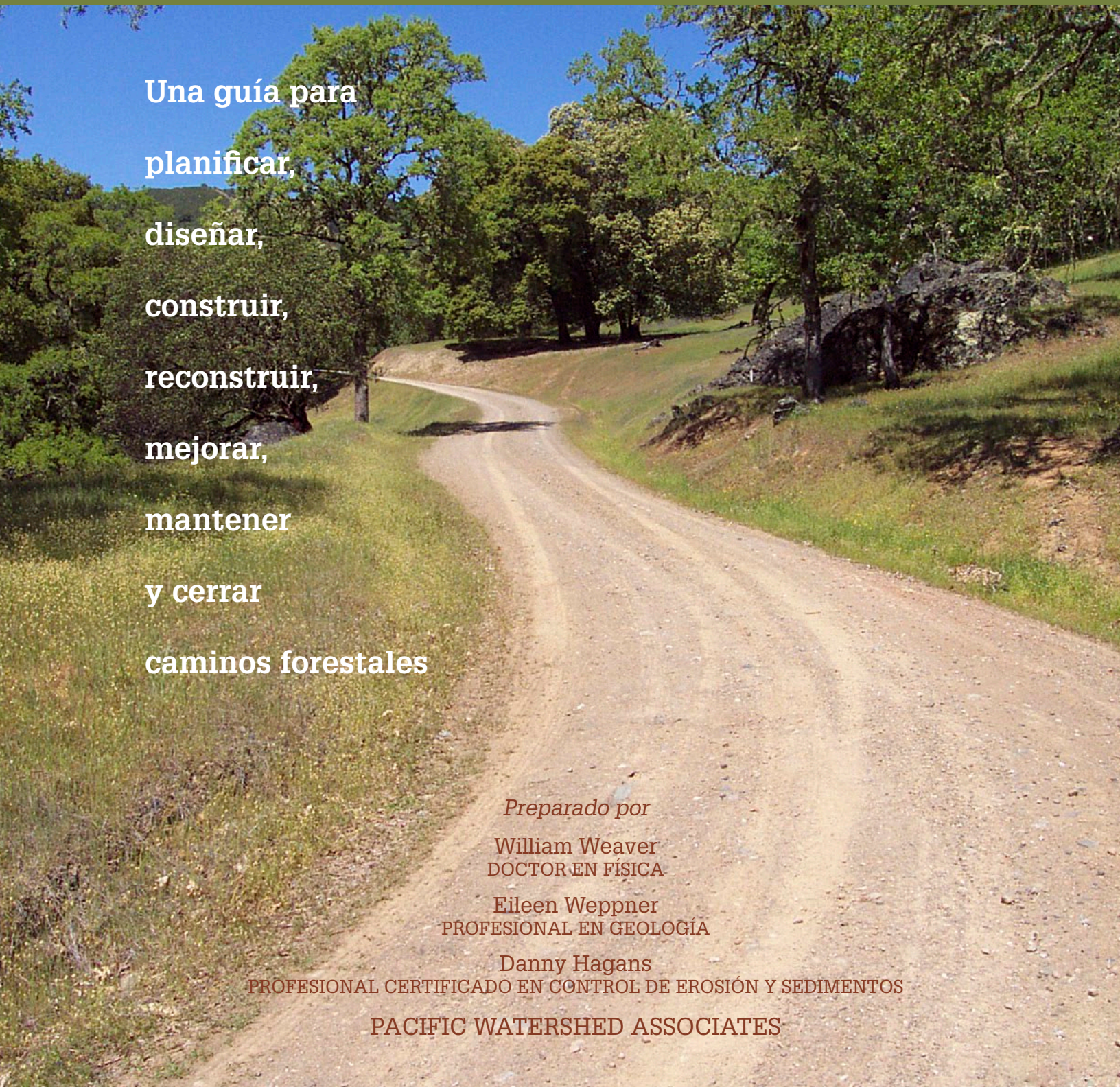
EL LIBRO VERDE

MANUAL DE CAMINOS FORESTALES Y RURALES



Una guía para

planificar,

diseñar,

construir,

reconstruir,

mejorar,

mantener

y cerrar

caminos forestales

Preparado por

William Weaver
DOCTOR EN FÍSICA

Eileen Weppner
PROFESIONAL EN GEOLOGÍA

Danny Hagans
PROFESIONAL CERTIFICADO EN CONTROL DE EROSIÓN Y SEDIMENTOS

PACIFIC WATERSHED ASSOCIATES

Nota de los autores

En este manual extendido, hemos brindado nuevas y diferentes perspectivas sobre cómo lograr las metas, a veces conflictivas, de construir caminos de alta calidad y bajo impacto ambiental. Nuestra filosofía es que los caminos silvestres pueden ser amigables con el medio ambiente, si son ubicados, diseñados, construidos y mantenidos de manera cuidadosa. Ahora se sabe más sobre cómo se pueden diseñar, construir, reconstruir, mantener y eventualmente cerrar los caminos para minimizar sus efectos ambientales adversos, no solo durante condiciones climáticas húmedas normales sino también durante tormentas severas que han plagado históricamente a los sistemas de caminos rurales.

Los caminos son comunes en la mayoría de los entornos silvestres. Este manual brinda pautas sobre cómo mejorar estos caminos antiguos para lograr los mismos resultados beneficiosos de bajo impacto y menores costos de mantenimiento. No importa si usted administra una red entera de caminos o si tiene un solo camino principal que lo lleva a su casa rural, todos pueden verse beneficiados con los ejemplos que presentamos y mediante la utilización de las estrategias que se describen en este manual. Si no encuentra exactamente lo que necesita, hemos brindado un listado de manuales, guías y publicaciones técnicas útiles.

En la actualidad se dispone de mucha más información técnica a la que pueden acceder aquellos que construyen caminos de bajo volumen y sistemas de caminos en diversas geografías, climas y culturas en todo el mundo. Se han desarrollado nuevas ciencias y se utilizan nuevos métodos para que los caminos forestales y rurales sean más resistentes y generen menos impacto ambiental y brinden a los terratenientes caminos de acceso con menores costos a largo plazo y menos mantenimiento.

PACIFIC WATERSHED ASSOCIATES

W.E. Weaver

Eileen M. Wagner

D.K. Hagans

www.pacificwatershed.com

EL LIBRO VERDE
MANUAL DE CAMINOS FORESTALES Y RURALES

Una guía para planificar, diseñar, construir, reconstruir, mejorar, mantener y cerrar caminos forestales

PREPARADO POR:

William Weaver, Doctor en Física
Eileen Weppner, Profesional en Geología
Danny Hagans, Profesional Certificado en Control de Erosión y Sedimentos

PACIFIC WATERSHED ASSOCIATES
ARCATA, CA

PARA:
EL DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS DEL CONDADO DE MENDOCINO

CON FINANCIACIÓN DE:

LA JUNTA DE CONTROL DE RECURSOS ACUÍFEROS DEL ESTADO DE CALIFORNIA Y

EL DEPARTAMENTO FORESTAL Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

ENERO DE 2014

Todos los programas y servicios del Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino, la Junta de Control de Recursos Acuíferos del Estado de California y El Departamento Foresta y Protección Contra Incendios de California, se ofrecen sin discriminación, sin considerar raza, color, origen nacional sexo, edad, estado civil o discapacidad.

Referencia: Weaver, W.E., Weppner, E.M. y Hagans, D.K., 2014, Manual de caminos forestales y rurales: Una guía para planificar, diseñar, construir, reconstruir, mejorar, mantener y cerrar caminos forestales, Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino, Ukiah, California, 416 p.

AGRADECIMIENTOS

Muchos individuos y organizaciones han hecho aporte importantes a la preparación de esta guía de caminos actualizadas y revisada. La financiación fue proporcionada por la Junta de Control de Recursos Acuíferos del Estado de California y El Departamento Foresta y Protección Contra Incendios de California, a través de un contrato cooperativo con el Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino (MCRCD, por su sigla en inglés). Este libro fue preparado por Pacific Watershed Associates, Arcata, California, bajo contrato con el MCRCD[1].

Pete Cafferata, del Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California; Jonathan Warmerdam, de la Junta Regional de Control de Calidad del Agua de North Coast; Dave Longstreth, Don Lindsay y Gerald Marshall, de California Geological Survey; Patty Madigan, del Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino y Gordon Keller, Plumas National Forest (retirado) brindaron útiles revisiones técnicas de porciones del texto o del texto en su totalidad.

Patty Madigan y Janet Olave, del MCRCD, administraron los contratos y los subsidios que financiaron el proyecto, brindaron coordinación general del proyecto, y ayudaron a tomar decisiones organizativas sobre la estructura y el estilo del Manual revisado. Muchos otros individuos han revisado porciones del texto o proporcionado comentarios, gráficos o ideas sobre temas individuales que se incluyen en el documento. El personal del Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California, el Departamento de Pesca y Vida Silvestre, la Junta Regional de Control de Calidad del Agua de la Costa Norte, y la California Geological Survey, así como también geólogos e hidrólogos de las oficinas del Servicio Forestal de EE.UU. y la Oficina de Gestión de Tierras del oeste de EE.UU. proporcionaron ideas y discusiones invaluables para realizar actualizaciones desde el Manual de Caminos Forestales y Rurales de 1994 (Manual 1994). Estamos en deuda con muchas discusiones y revisiones provistas por geólogos e hidrólogos de Pacific Watershed Associates que han estado viviendo y respirando el tema de caminos forestales y rurales durante los últimos 25 años.

Se ha publicado una gran cantidad de información nueva sobre estos temas en los 20 años desde que se publicó el Manual para Caminos Forestales y Rurales en 1994. Esto incluye muchos manuales forestales y rurales generales de BMP que han sido publicados por varios estados y organizaciones en todo EE.UU., así como también guías técnicas y manuales de países y organizaciones internacionales de todo el mundo. Cada uno se concentra en los problemas característicos y universales relacionados

1 NOTA: Las regulaciones locales, estatales y de condados en California cubren muchos de los mismos temas que se presentan en esta guía. Sin embargo, la guía tiene por objeto ser aplicable más universalmente que solo California o el oeste de EE.UU.. Las regulaciones cambian con rapidez, al igual que los métodos de construcción de carreteras y las normas de protección ambiental. Independientemente de dónde esté ubicado su camino, asegúrese de seguir todas las regulaciones aplicables que cubren la construcción de caminos en tierras privadas y actividades relacionadas para su área, ya sea en California, otro estado u otro país. Hemos brindado una descripción general de los requisitos y regulaciones típicas de muchos (pero no todos) los organismos reguladores encontrados aquí y en otros lugares, pero deberá asegurarse de que su proyecto específico cumpla con todos los estándares y las regulaciones aplicables antes de comenzar las obras. La información que se presenta en esta guía no es una "copia" exacta de las Normas de Práctica Forestal de California. Sin embargo, hemos tratado constantemente en la mayoría de la terminología, en el contenido general y en el espíritu de los objetivos de la Ley de Prácticas Forestales Z"berg-Nejedly y las Normas de Prácticas Forestales de California. Estas normas no contravienen las regulaciones forestales de otros lugares.

Todo error en el texto es de los autores y no de los organismos que financiaron este proyecto o los organismos o individuos que proporcionaron revisiones técnicas del texto. Las sugerencias y los comentarios técnicos relacionados con futuras actualizaciones y revisiones deben reenviarse a Pacific Watershed Associates, P.O. Box 4433, Arcata, CA 95521. Intentaremos mantener material de lectura adicional, documentos técnicos útiles, referencias y actualizaciones en nuestro sitio web (www.pacificwatershed.com) así como también en el del Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino (www.mcrcd.org).

con los caminos que enfrentan los terratenientes y administradores de caminos en todos lados (por ejemplo, ¿cómo se drena un camino?), así como también usuarios potenciales en esas áreas particulares, inclusive zonas áridas, tropicales, heladas y templadas, entre otras. Además, se han realizado una gran cantidad de investigaciones relacionadas con los caminos en los últimos 20 años, y parte (pero no toda) esa información se ha convertido a la aplicación práctica.

Un libro de resumen como este extrae información necesariamente de una amplia variedad de estas fuentes en cuanto a ideas e información técnica. Extrajimos información de guías y manuales producidos por los estados de Montana, Oregon, Washington y California, el Servicio Forestal de Estados Unidos, el Servicio de Conservación del Suelo, el Servicio de Parques Nacionales y el Ministerio de Bosques, Columbia Británica, Canadá, en el Manual 1994. Se desarrollaron o modificaron muchas cifras de estas fuentes, y siguen siendo componentes centrales de la versión actualizada. Se da un agradecimiento especial a la Sección de Información y Extensión del Ministerio Forestal, provincia de Columbia, por el permiso para usar gráficos e ideas de su publicación A Guide for Management of Landslide-Prone Terrain in the Pacific Northwest para ser utilizados en el Manual 1994, así como también la versión actualizada. Para el manual revisado, hemos extraído información de una cantidad de otras publicaciones más recientes de una amplia variedad de fuentes. La mayoría de ellas están identificadas en las referencias y pueden descargarse de la web o directamente de Pacific Watershed Associates (www.pacificwatershed.com). Agradecemos especialmente el permiso de utilizar libremente ideas y gráficos de manuales excelentes y prácticos desarrollados por Brian Kramer (Forest Road Contracting, Construction, and Maintenance for Small Forest Woodland Owners) y Gordon Keller y James Sherar (Low Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide).

También se extiende un agradecimiento especial a los terratenientes forestales y rurales cuyos caminos se analizaron, prescribieron y trataron con medidas de mejora y clausura durante los últimos 20 años y que son sujeto de algunas de las fotos que se incluyen en este manual. Hemos aprendido mucho de esas experiencias y ellos se han beneficiado al tener caminos forestales y rurales de bajo impacto y bajo mantenimiento muy mejorados.

MENDOCINO COUNTY
RESOURCE CONSERVATION DISTRICT

CONSERVING *wild* and *working* LANDSCAPES
since 1945

El Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino (MDRCD) es una agencia local no regulatoria que brinda apoyo para la conservación voluntaria de recursos naturales en entornos silvestres y de trabajo. El MCRCD, que brinda servicios a los propietarios desde 1945, es regulado por una Junta Directiva voluntaria compuesta por terratenientes locales. El personal del MCRCD colabora con terratenientes privados y públicos para abordar inquietudes sobre recursos naturales en su propiedad. Mediante el uso de las mejores prácticas de gestión, el MCRCD desarrolla proyectos y busca financiación para ayudar a los terratenientes a cumplir con sus objetivos de conservación y cumplimiento normativo.

‘La verdadera travesía del descubrimiento no consiste en buscar nuevos entornos, sino en ver los entornos con otros ojos.’

Marcel Proust 1871 - 1922

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

A. Propósito 1
B. Contenido y organización 1
C. Cambios del Manual 1994 3
D. Cuencas 4
E. Problemas típicos de erosión y sedimentación provocados por los caminos 6
F. Conectividad hidrológica de los caminos 8
G. Importancia de la planificación y la construcción adecuadas 10
H. Elementos de un camino estable 10
1. Entorno físico 10
a. Pendiente de la tierra 10
b. Basamento rocoso y suelos 12
c. Drenaje 13
i. Drenaje de la subsuperficie *13*
ii. Drenaje de la superficie 15
2. Puntos de control para la ubicación del camino 16
a. Obstáculos 16
b. Cruces de arroyos 17
c. Pendiente del camino 17
3. Otras limitaciones para la ubicación y la construcción del camino 18
a. Limitaciones estacionales para la construcción 18
b. Operaciones cerca de arroyos, lagos y humedales 18
4. Cómo mantener un camino estable 20
5. Dónde encontrar ayuda 20
I. Permisos 23
1. Del condado 23
2. Estatales 23
3. Federales 24
4. De otros estados y países 24
5. Costos de los permisos 24
J. Profesionales y licencias de profesionales 27

CAPÍTULO 2 PLANIFICACIÓN

A. Introducción a la planificación del camino 29
B. Necesidad de contar con un camino 30
C. Tamaño y normas del camino 30
D. Diseño del sistema de caminos 34
1. Técnicas de tala y procesamiento 34
2. Construcción del camino versus reconstrucción (mejora) del camino 34
3. Seleccionar suelo favorable para caminos 36
4. Trazado del camino a través de terreno difícil 36
E. Ubicación preliminar del camino 38

CAPÍTULO 3 RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y UBICACIÓN

A. Exploración del trazado 41
B. Cómo reconocer peligros y obstáculos 42
C. Cómo marcar el trazado propuesto 42

CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL CAMINO Y CRUCES DE ARROYOS

A. Introducción 49
1. Consideraciones básicas de diseño 49
2. Cómo diseñar caminos para minimizar la conectividad hidrológica y proteger la calidad del agua 50
B. Diseño del prisma del camino y la superficie del camino 52
1. Diseño del prisma del camino 52
2. Diseño de la superficie (forma) del camino 56
a. Caminos con peralte hacia afuera, con o sin una cuneta interna 58
b. Caminos en corona 59
c. Caminos con peralte hacia adentro 61
3. Estructuras de drenaje del camino 63
a. Vados ondulantes superficiales 63
b. Camellones, camellones de caucho y alcantarillas de caja abierta 68
c. Bermas de drenaje 69
d. Cunetas 72
e. Alcantarillas de alivio de cunetas 74
4. Consideraciones especiales de diseño 76
a. Diseño y presentación de plataformas 76
b. Caminos convergentes 78
c. Desarrollo de cortes y rellenos estables 79

d. Cortes a través 81
i. Características y ubicación 82
ii. Tratamiento 83
e. Operaciones y tratamientos para suelos inestables 84
f. Operaciones y tratamientos para áreas húmedas 87
5. Materiales y fuentes de materiales 90
a. Roca y enrocamiento de protección del camino 90
i. Canteras de roca, bancos de roca and sitios de préstamo 90
ii. Evaluar la calidad de la roca 91
iii. Desarrollo y producción de roca 93
iv. Desecho rocoso 93
v. Enrocamiento de protección 94
vi. Roca para el camino (capa base y recubrimiento) 94
vii. Recuperación (rehabilitación) de canteras y sitios de préstamo 95
b. Geotextiles 95
i. Geotextiles para aplicaciones comunes de caminos 96
ii. Geotextiles para control de erosión 97
C. Diseño de cruce de arroyo 97
1. Requisitos legales 98
2. Diseño de cruces de arroyo y consideraciones de rediseño 99
a. Reducir la vulnerabilidad de los cruces de arroyos 100
i. Reducir el riesgo de falla del cruce de arroyo y desvío del arroyo 101
ii. Reducir la magnitud de las fallas de los cruces de arroyo 104
b. Diseños de paso de peces 105
i. Paso de peces en cruces de arroyos 106
ii. Control de pendiente para el paso de peces 110
iii. Pautas de diseño 111
c. Diseño de terraplenes estables de cruces de arroyo 113
i. Gradiente del talud 113
ii. Extensiones de salidas de alcantarillas 114
iii. Blindaje y enrocamiento 115
iv. Drenaje de la superficie del camino 120
v. Control de erosión 120
vi. Ubicación del vado crítico 121
d. Tratar alrededores de cruces de arroyos hidrológicamente conectados 124

3. Alcantarillas de cruce de arroyo 127
a. Materiales y durabilidad de la alcantarilla 127
b. Formas de alcantarillas 131
c. Tamaño de alcantarillas 133
d. Alineación y largo de la alcantarilla 136
e. Tratamientos de entrada y salida de alcantarillas 137
i. Barreras de escombros y mallas de residuos 137
ii. Tratamientos de entrada de alcantarillas 143
iii. Tomas elevadas y elevadores 146
f. Alcantarillas de inundación de emergencia 149
4. Puentes 150
5. Rellenos blindados 153
6. Vados 157
7. Cruces de arroyos temporales 160

CAPÍTULO 5 CONSTRUCCIÓN

A. Introducción a la construcción 163
B. Selección de contratistas 163
C. Plazo 165
D. Equipos necesarios para construcción y reconstrucción 166
E. Limpieza y desbroce 167
F. Nivelación y compactación 169
1. Construcción de vertidos laterales 169
2. Corte y relleno compactado y construcción en bancos 172
3. Construcción en balcón 175
G. Construcción en suelos húmedos 176
H. Construcción en pendientes inestables 178
I. Construcción de cruces de arroyos 180
1. Alrededores de cruces de arroyos 181
2. Instalación de puentes 182
3. Instalación de alcantarillas 186
4. Cruces de arroyos temporales 191
J. Alcantarillas de alivio de cunetas 191
1. Ubicación de las alcantarillas de alivio de cunetas 191
2. Instalación de alcantarillas de alivio de cunetas 192
K. Vados ondulantes superficiales 193

L. Subrasante y pavimento 196
M. Control de la erosión durante la construcción 200
1. Caminos y plataformas 201
2. Sitios de disposición de escombros, sitios de préstamos y bancos de rocas 202
3. Cruces de arroyos 204
4. Prevención, control y estabilización de barrancos 206
5. Control biotécnico de la erosión 212
a. Ejemplos de métodos de bioingeniería de suelos 214
b. Ejemplos de métodos de ingeniería biotécnica 216
6. Protección de la calidad del agua durante la construcción 218

CAPÍTULO 6 RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO

A. Introducción a la reconstrucción y el mejoramiento 223
B. Relocalización de extensiones de caminos problemáticas 223
C. Evaluación y diseño de mejoramientos para caminos existentes 225
D. Consideraciones de rediseño para la reconstrucción y el mejoramiento de caminos 228
1. Rediseño y mejoramiento de caminos existentes 228
2. Reapertura y mejoramiento de caminos antiguos abandonados 228
a. Cruces de arroyos 232
b. Fallas de caminos y plataformas 235
c. Drenaje de la superficie del camino 237
d. Disposición de desperdicios madereros y escombros 238
E. Mejoramiento de cruces de arroyos 238
F. Técnicas de reemplazo de alcantarillas sin zanjas 241
G. Mejoras de drenajes de caminos—conversiones de forma de caminos 244
H. Control de erosión 246

CAPÍTULO 7 INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

A. Introducción a la inspección y el mantenimiento de caminos 249
B. Evaluación y vigilancia de caminos para detectar amenazas 249
1. Introducción al análisis de amenazas 250
2. Identificación y tratamiento de amenazas 251
a. Inestabilidades relacionadas con el camino 251
b. Amenazas en el cruce del arroyo 254
c. Riesgos del drenaje de caminos 258

C. Inspecciones y cronogramas de mantenimiento 262
D. Mantenimiento de caminos permanentes 263
E. Mantenimiento de caminos estacionales 269
F. Mantenimiento del cruce del arroyo 271
G. Cortes de relleno y mantenimiento 272
H. "Adaptación" de los caminos en el invierno 274
I. Eliminación de desechos 274

CAPÍTULO 8 CIERRE Y CLAUSURA

A. Introducción al cierre y clausura del camino 275
B. Técnicas para cierre y clausura de caminos 280
1. Excavaciones de cruces de arroyos 283
2. Tratamiento de rellenos inestables o potencialmente inestables 288
3. Escorrentía en la superficie de caminos y otras estructuras de drenaje 293
4. Control de erosión 298
5. Revegetación 301
a. Métodos de sembrado 301
b. Tipo de semillas y fertilización 303
c. Tiempo de sembrado 305
C. Efectividad de la clausura 306
D. Inspección y mantenimiento de caminos cerrados 310

REFERENCIAS

Bibliografía citada 313
Referencias adicionales y material de lectura sugerido 319

GLOSARIO

Glosario de términos 323

APÉNDICES

A. Procedimientos para calcular el tamaño de las alcantarillas para el flujo máximo de 100 años 343
B. Descripción general de los permisos necesarios para trabajos de construcción en o cerca de arroyos, humedales y otros cursos de agua 353
C. Junta Forestal y de Protección Contra Incendios de California Normas y Anexo Técnico 2013 Nro. 5: Directrices sobre desconexión hidrológica, drenaje del camino, minimización de desvíos potenciales y cruces de alto riesgo 357
D. Método de la vara y diseño de curvas 397
E. Cálculo del largo de las alcantarillas 401
F. Cálculo de los volúmenes de relleno de cruces de arroyos para mejoras y clausuras 403

1 INTRODUCCIÓN

A. PROPÓSITO

Si trabaja en un área forestal, tierra forestal o rural propia, o le preocupan nuestros recursos naturales, este libro es para usted. Contiene pautas para desarrollar y mantener un camino foresta o rural individual o todo un sistema de acceso a caminos forestales. Describe cómo planea y diseñar un camino estable o una red de caminos en tierras montañosas o fondos de valles leves, y cómo evitar muchos de los escollos y problemas ambientales/de polución por los cuales se conocen muchos caminos rurales y forestales. Casi todo lo que se trata en este manual está destinado a producir caminos eficaces, de bajo costo, poco impacto y poco mantenimiento que tengan un impacto mínimo sobre los arroyos, la calidad del agua y los recursos acuíferos de una cuenca.

Leer y comprender este manual no basta. Se necesita una aplicación inteligente, práctica y con sentido común de los principios generales aquí descritos para cada situación que se encuentre "en la tierra". Aplicar correctamente estos conceptos de "preparación de caminos" requiere práctica y juicio personal y, en ciertas situaciones, la experiencia de un profesional. Los conceptos que se presentan en este manual no son reglas ni regulaciones; en cambio, son herramientas que deben servir como una de sus muchas fuentes de información y orientación. El éxito que logrará se verá reflejado no solo en la estabilidad de sus caminos, sino también en la calidad del agua y la salud de los arroyos y cuencas por los que pasan.

Los caminos forestales y rurales en todos lados brinda belleza, agua limpia, fauna abundante, hábitats de peces, recreación, madera, ganado y empleos. Son lugares geniales donde trabajar y vivir. Este manual práctico está dedicado a la sabia custodia de estos recursos. Describe cómo podemos y debemos proteger nuestros arroyos, recursos acuíferos y suelos productivos, y al mismo tiempo brindar oportunidades recreativas y empleos en recursos naturales para nuestras comunidades locales.

B. CONTENIDO Y ORGANIZACIÓN

Esta es una guía práctica y un manual de campo, y por ende no cubre todos los temas con la misma

profundidad o detalle que un libro de texto o un manual técnico más concentrado. Está diseñado para ser descriptivo e informativo, y sin embargo cubrir lo fundamental de la planificación, el diseño, la construcción, la reconstrucción (mejora), el mantenimiento y el cierre de caminos. El manual está organizado bajo estos temas básicos, y aparecen en el orden general en el que se encuentran en el proceso de construcción y gestión de caminos. El texto, las figuras y las fotos están diseñados para describir información técnica de manera legible y comprensible para personas que trabajan "en el campo" y que se encuentran y luego resuelven problemas relacionados con caminos en el campo.

El texto de este manual contiene tanto material informativo simple como instructivo, así como también discusiones más detalladas de prácticas específicas. Para el lector general, algunas de las discusiones pueden parecer técnicas, o contener términos y conceptos poco familiares. Aunque es útil que los lectores tengan una comprensión básica de los términos de caminos utilizados comúnmente (como por ejemplo taludes de relleno, cortes marginales, cruces de arroyos, etc.) y prácticas de gestión de caminos (como por ejemplo vertido lateral, compactación y disposición final, por nombrar algunos), hemos proporcionado suficientes descripciones para ayudar a los lectores generales a comprender términos y conceptos poco familiares, y al mismo tiempo brindamos a los lectores más técnicamente especializados información nueva y útil. Muchos de los términos más técnicos o poco comunes se han decidido en el texto donde aparecen por primera vez, y/o de glosario de términos definidos que se incluye al final de este manual.

El siguiente resumen describe los contenidos de los capítulos de este manual. Dentro de cada capítulo se han resaltado en negrita algunos de los principios más importantes de las prácticas de caminos forestales y rurales de bajo volumen para que pueda verlos con facilidad.

El **Capítulo 1** explica cómo está organizado este manual y sirve como introducción a los conceptos de lo que constituye un buen camino, cómo funciona una cuenca, y que afecta naturalmente la calidad de sus recursos acuíferos y de arroyo. También revisa los impactos principales que tienen los caminos sobre el proceso de la cuenca, la calidad del agua y los recursos acuíferos. Describe los requisitos generales de permisos y como los terratenientes se pueden beneficiar al utilizar profesionales en recursos para resolver sus problemas en el campo.

El **Capítulo 2** describe la necesidad de, y el proceso de, planificar los caminos. Describe los estándares de caminos y la planificación de rutas, utilizando mapas y fotografías, y cómo los componentes del sistema de caminos o un camino individual deben ser coherentes con los tipos y volúmenes de tránsito que atienden.

En el **Capítulo 3** se incluyen discusiones sobre qué obstáculos en el campo buscar cuando se explora buscando un nuevo trazado del camino o un trazado para redirigir un camino existente, diseñar curvas y curvas cerradas, evitar obstáculos, y una descripción de las herramientas que son útiles para ubicar un camino en el campo.

El **Capítulo 4** cubre los temas importantes del diseño de prismas de caminos, superficies de caminos (drenaje) y cruces de arroyos. Describe la importancia de diseñar el drenaje del camino para reducir el impacto del mismo sobre la calidad del agua, reduciendo la conectividad hidrológica y la entrega de sedimentos en arroyos cercanos. El Capítulo 4 describe los diseños de cruce de arroyos, inclusive puentes, alcantarillas, arcos, rellenos blindados, vados y cruces de arroyos temporales, que se utilizan para transportar flujos de crecidas, e introduce consideraciones de diseño para el paso de peces. Como son los más comunes, el diseño de cruces entubados se describe detalladamente. Finalmente, el Capítulo 4 cubre una variedad de diseños especiales que incluye cortes y rellenos de caminos estables, operaciones en suelos húmedos e inestables, a través de cortes y bermas, así como también los usos más comunes de geotextiles y materiales rocosos para blindar y recubrir caminos.

El **Capítulo 5** cubre el proceso de construcción, inclusive el arranque y el despeje, la graduación, el cruce de de arroyos y la instalación de puentes, el recubrimiento, el control de erosión y la eliminación

de desechos. También se aborda la protección de la calidad del agua durante la construcción y la medición biotécnica para la revegetación. La actividad especial pero cada vez más común de reconstrucción de caminos (mejora) se discute detalladamente.

El **Capitulo 6,** donde los temas que se cubren incluyen reubicación de caminos, rediseño de caminos, mejora y reemplazo de la estructura de drenaje, conversiones de forma de caminos y control de erosión. La mejora de caminos, que a menudo se denomina tratamiento a prueba de tormentas. se realiza para hacer el camino más resistente a tormentas e inundaciones, y menos impactante para la calidad del agua cuenca abajo y el hábitat del arroyo incluso durante los eventos de escorrentía más pequeños.

El **Capítulo 7,** mantenimiento de caminos, introduce el concepto de identificar y abordar los diversos tipos de amenazas y requisitos de mantenimiento de caminos que ocurren a lo largo de caminos existentes y abandonados. Cubre técnicas para identificar peligros a lo largo de alineaciones de caminos, incluso rellenos de caminos potencialmente inestables, cruces de arroyos de alto peligro y alcantarillas que están mal diseñadas y que es probable que fallen durante tormentas. También revisa los temas de mantenimiento de rutina de la superficie del camino, mantenimiento de cruce de arroyos, mantenimiento de rellenos y cortes y adaptar caminos para el invierno. Se describe un método simple para desarrollar y priorizar cronogramas de mantenimiento invernal.

El abandono de caminos y el cierre de caminos son ahora componentes importantes de la adecuada planificación del transporte y la administración del sistema de caminos debido a sus efectos de largo plazo potencial sobre la calidad del agua y los recursos acuíferos. El **Capítulo 8** describe técnicas mediante la cuales los caminos que se cerrarán temporalmente o se clausurarán permanentemente (se abandonan a propósito) se pueden "tratar a prueba de tormentas" para eliminar el riesgo de fallos futuros, evitar la pérdida de suelo subsiguiente, proteger la calidad del agua y valiosos recursos acuíferos, y volver a dedicar tierra en la producción maderera o agrícola y otros usos.

Finalmente, los apéndices de este manual contienen información sobre temas específicos, como los métodos de dar tamaño a las alcantarillas métodos para calcular los volúmenes de llenado de cruces de arroyos, y el diseño de curvas, y requisitos de regulación, así como también otras fuentes de información que le pueden resultar útiles.

C. CAMBIOS DEL MANUAL 1994

¿Por qué revisar el Manual original? No es que los vínculos originales entre la construcción de caminos, la gestión de caminos y la protección de la calidad del agua ya no sean válidos. Siguen considerándose como las mejores prácticas de gestión (BMP, por sus siglas en inglés). De hecho, en los 20 años desde que se publicó originalmente el Manual 1994, la importancia de los procesos de caminos en cuencas se ha descrito más ampliamente y se ha afirmado con mayor uniformidad, y muchas prácticas necesarias para reducir esos impactos se han convertido en prácticas estándar, generalizadas. Ahora los caminos se entienden universalmente como uno de los contribuyentes artificiales más importantes a la calidad degradada del agua y la condiciones del hábitat acuático en cuencas administradas. Las prácticas de caminos que protegen el medioambiente que se consideraban «nuevas» e innovadoras en la década de 1990 ahora toman la delantera en las prácticas de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos en todos lados. Las prácticas de construcción y gestión de caminos nuevas y recientemente descritas han llegado no solo a todo EE.UU. sino que también se ven cada vez más en manuales y guías internacionales escritas para áreas menos desarrolladas en otros lugares.

Los cambios que se incorporan en la edición 2014 del Manual incluyen nuevo contenido de ciencia, de tecnología y contenido ampliado que se cubría generalmente en 1994. Ahora se dispone de mucha más información técnica a la que pueden acceder aquellos que construyen caminos de bajo volumen y sistemas de caminos en diversas geografías, climas y culturas en todo el mundo. Se ha desarrollado ciencia nueva sobre varios temas, que varía desde los impactos que tienen los caminos sobre los ecosistemas hasta

los procesos físicos que relacionan a los caminos, la redes de drenaje, y los ecosistemas acuáticos. Ahora se sabe más sobre cómo se pueden diseñar, construir, reconstruir, mantener y eventualmente cerrar los caminos para minimizar sus efectos ambientales adversos, no solo durante condiciones climáticas húmedas normales sino también durante tormentas severas que han plagado históricamente a los sistemas de caminos rurales. Finalmente, se dispone de una cantidad mucho mayor de bibliografía sobre gestión de caminos que cubre todos los aspectos de la construcción de caminos, la mejora de caminos y la clausura de caminos que puede reducir los afectos ambientales de los caminos mientras se los hace más resistentes a tormentas y menos costosos de mantener.

Al investigar y preparar esta edición revisada y actualizada, teníamos en claro que se disponía de mucha información nueva y ampliada y que gran parte de este material podía ya consultarse en Internet. De hecho, la cantidad de información que hay en Internet sobre caminos rurales parece sobrecogedora. Este Manual se desarrolló como una manera de tamizar y concentrarse en temas que pueden ser de interés particular. Además, y como el Manual es una guía práctica y no un manual técnico exhaustivo, hemos incluido una sección ampliada de referencias y materiales de lectura sugeridos sobre varios temas.

D. CUENCAS

Las áreas silvestres actúan como recolectoras de agua pura. Las áreas de cuencas recolectan precipitación y la canalizan a áreas cuesta abajo y cauce abajo por taludes y a través de una red de bajíos y canales de arroyos tallados en el paisaje (Figura 1). Algo de agua fluye como escorrentía de la superficie y otra ingresa al suelo como flujo subsuperficial y subterráneo. La tala, la minería, la construcción de caminos y otras actividades de movimiento de tierra y de construcción pueden perturbar los suelos y los patrones de drenaje, y por ende desplazar los drenajes, aumentando la escorrentía superficial y provocando erosión y liberación de sedimentos a sistemas de arroyos.

Las laderas de cuencas se tallan en lomas amplias y depresiones intermedias llamadas bajíos. Los **bajíos** son depresiones geológicas en pendiente en las cuales la

FIGURA 1.
Las cuencas presentan una diversidad de oportunidades y desafíos para la gestión del agua, la tierra y los recursos. Los caminos brinda acceso a áreas dentro de una cuenca y la planificación, el diseño y la construcción y el mantenimiento cuidadosos de los sistemas de caminos son importantes para proteger la calidad del agua, los hábitats de arroyos sensibles y la vida acuática sensible.

lluvia se infiltra en los suelos y se mueve cuesta abajo por el manto del suelo y a lo largo del eje del bajío. Los bajíos pueden o no mostrar evidencia de escorrentía superficial ocasional durante eventos de precipitación extrema y pueden pasar décadas sin mostrar evidencia alguna de canalización. Los bajíos no son arroyos, pero su flujo subsuperficial surge más bajo en el bajío para formar un arroyo que muestra evidencia de un flujo superficial más regular y canalización.

Aunque generalmente no transportan escorrentía superficial, los bajíos cumplen funciones importantes en una cuenca y los caminos deben estar bien planificados ubicados y construidos correctamente en estas áreas a fin de evitar la futura falla del camino. Por ejemplo, si uno corta en un bajío para construir un camino puede interceptar agua superficial y llevarla a la superficie, causando mayores problemas de mantenimiento. Alternativamente, si construye un camino sobre un bajío empinado, alterará la hidrología subsuperficial y aumentará las presiones del agua de los poros del suelo, y por ende desataría un desprendimiento de talud que provoca daños. **Se debe tener cuidado al construir caminos por laderas y bajíos empinados y puede que sea necesario seguir el consejo de un geólogo calificado.**

Los arroyos se clasifican como **fugaces** (que fluyen solamente durante períodos extendidos de precipitación), **intermitentes** (fluyen durante y por un período extendido de precipitación importante), o **perennes** (que fluyen durante la mayor parte del año con un flujo base que proviene de agua subterránea emergente). Los arroyos fugaces a menudo drenan agua a los cursos de agua intermitentes y/o perennes pues fluyen cuesta abajo, recolectan escorrentía adicional y cruzan otros arroyos. Se debe observar que solo los arroyos más grandes de una cuenca se muestran en un mapa topográfico, y que en el campo se encontrarán muchos más cursos de agua, especialmente arroyos intermitentes y fugaces. Esos arroyos y canales de arroyos "que no figuran en los mapas" también transportan sedimentos y pueden tener impacto sobre la calidad del agua y el hábitat corriente abajo. ***No se base únicamente en la información de los mapas para encontrar e identificar arroyos.***

Los canales de arroyos son geoformas creadas por agua que fluye y tiene un lecho o un banco o muestra evidencia de, o capacidad de, transportar sedimentos. Los arroyos y los canales de arroyos son parecidos a cintas transportadoras, que transportan inexorablemente agua y sedimentos corriente abajo a canales de arroyos más grandes, donde la calidad del agua a menudo es crítica. Cuanto más grande es el arroyo y más grande el flujo que transporta, más rápido se mueve la cinta transportadora de sedimentos. Los arroyos pequeños pueden mover sedimentos corriente abajo con mayor lentitud, pero el sedimento igualmente se mueve durante eventos de escorrentía e inundaciones y puede contaminar arroyos y dañar el hábitat. El sedimento impacta la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos independientemente de cómo llegó allí o del tamaño del arroyo del que provino. **Debido a que los arroyos de todo tipo transportan y entregan agua y sedimento a áreas corriente abajo, se debe tener cuidado para minimizar la perturbación en *todos* los canales de arroyos (independientemente de su tamaño) y las laderas que drenan directamente en ellos.**

Para algunas operaciones forestales, el término **"curso de agua"** o **"agua"** se utiliza a menudo en lugar de arroyo. Por ejemplo las Normas de Prácticas Forestales de California (CFPR, por su sigla en inglés) describen a los cursos de agua como "todo canal bien definido con lecho y banco distinguibles que muestre evidencia de haber contenido un flujo de agua indicado por el depósito de roca, arena, grava o tierra., incluso cursos de agua artificiales". Aquí, los cursos de agua se categorizan en Clase I, Clase II, Clase III o Clase IV. Otros estados y países pueden utilizar distinto lenguaje, pero este tipo de clasificación se usa a veces para describir los usos beneficiosos o los valores ecológicos de estas aguas; no solo la frecuencia con la que fluyen. En California, los cursos de agua **Clase I** contienen peces o brindan suministros de agua doméstica, los cursos de agua **Clase II** tiene peces presentes dentro de los 1000 pies corriente abajo o contienen hábitat para especies acuáticas que no son peces (por ejemplo, vertebrados o invertebrados no acuáticos), los cursos de agua **Clase III** no tienen vida acuática presente, pero muestran evidencia de ser capaces de transportar

sedimento a ubicaciones corriente abajo (y por ende tienen impacto sobre los recursos corriente abajo) y los **Clase IV** son cursos de agua artificiales (por ejemplo, canales y cunetas de desvío). Los arroyos Clase I generalmente son perennes, pero algunos arroyos Clase II pueden soportar peces durante parte del año. Los arroyos Clase II generalmente son intermitentes o perennes. Los arroyos Clase II son casi siempre fugaces, pero a veces pueden ser intermitentes.

Aunque no se incluyen en la definición de cursos de agua, los surcos en el camino, las cunetas junto al camino y las quebradas a veces pueden actuar como drenajes artificiales que transportan agua y sedimentos a los arroyos naturales. **Se debe tener cuidado de dispersar la escorrentía superficial para que estas vías de drenaje "artificiales" no impacten la calidad del agua en canales de arroyos naturales.**

Los **humedales** también son funciones ecológicamente valiosas de las cuencas que, al igual que los arroyos, requieren protección ambiental. Los humedales pueden ocurrir donde el agua subterránea surge a la superficie de la tierra, como por ejemplo un manantial, una filtración, un manantial, una ciénaga o un pantano, o donde el agua se estanca o forma piscinas por algún tiempo durante el año. Incluso cuando están secos, muchos humedales se pueden reconocer por la presencia de ciertas plantas que necesitan agua. Los humedales son el hábitat principal de cientos de especies de aves acuáticas y también muchas otras aves, mamíferos e insectos. Algunos humedales drenan en arroyos, mientras que otros no. Naturalmente filtran y recargan agua y actúan para ralentizar el flujo del agua superficial y reducir las inundaciones. Los humedales también pueden tamponar cursos de agua de actividades de uso de la tierra potencialmente dañinas.

Los humedales se deben evitar durante la construcción de caminos y actividades relacionadas, ya que dan como resultado problemas especiales que a menudo requieren técnicas de construcción costosas y pueden provocar problemas de estabilidad continuos en la tierra. Lo más importante es que los humedales requieren medidas especiales de protección y son muy sensibles a la perturbación. Los organismos de pesca y fauna (por ejemplo, el Departamento de Pesca y Fauna de California o el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos) pueden brindar asistencia en medidas de protección y delineación de humedales, y pueden aconsejarle qué organismo contactar sobre las regulaciones aplicables a los humedales.

Los caminos no deben amenazar la productividad biológica y la calidad del agua de lagos, arroyos y humedales en una cuenca si están bien ubicados, construidos y mantenidos. Las malas prácticas de construcción y mantenimiento de caminos pueden provocar exceso de escorrentía y erosión, que lleva a sedimentación en áreas corriente abajo. La sedimentación puede contaminar suministros de agua, incrementar el potencial de inundación, acelerar la erosión del banco del arroyo y desatar aludes. Los huevos salmónidos puestos en gravas de arroyos se pueden enterrar y sofocar, el hábitat ictícola se puede perder, y otra vida acuática puede resultar amenazada o morir. La vegetación ribereña y de humedales se puede ver impactada lo que daría como resultado un aumento en las temperaturas estivales del agua y la pérdida de alimento y cubierta para peces y fauna.

E. PROBLEMAS TÍPICOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN PROVOCADOS POR LOS CAMINOS

Los caminos son una fuente importante de erosión y sedimentación en la mayoría de las tierras forestales y rurales administradas. Las superficies de caminos compactadas aumentan la tasa de escorrentía, y los cortes del camino interceptan y llevan el agua subterránea a la superficie. Las cunetas concentran escorrentía de tormenta y pueden transportar sedimento a canales de arroyos cercanos. Los cruces de arroyo entubados se pueden taponar, provocando erosión del relleno (Figura 2) o las quebradas donde el flujo de la corriente desviado corre a laderas y caminos cercanos (Figura 3).

Los caminos construidos sobre laderas empinadas o inestables pueden desatar aludes que depositan sedimentos en canales de arroyos (Figura 4a y 4b). El llenado y el vertido lateral aumentan el peso de la

FIGURA 2. *Este cruce de arroyo se "lavó" (erosionó) cuando la alcantarilla se taponó y el flujo de la corriente superó y socavó el relleno del camino. El sedimento se transportó directamente al sistema de arroyo cuando se erosionó el relleno. Los cruces de arroyo y las alcantarillas deben diseñarse, construirse y mantenerse adecuadamente a fin de minimizar el potencial de dichas fallas.*

FIGURA 3. *Cuando un cruce de arroyo se tapona, o se supera su capacidad, las aguas de inundaciones pueden acumularse y fluir sobre el camino, arrastrando el relleno del cruce del arroyo (consulte la Figura 2), o se puede desviar por el camino adyacente o la cuneta junto al camino, creando una quebrada en el camino y la ladera adyacente. El flujo desviado de esta alcantarilla taponada ha creado una quebrada grande en la cuneta camino abajo y un barranco comienza a migrar calzada arriba. Observe a la persona como comparación de la escala.*

FIGURA 4A. *La construcción de caminos con vertido lateral en laderas empinadas o junto a arroyos inestables y cañones tiene un alto potencial para causar aludes que trasladan sedimentos a canales de arroyos cuesta abajo.*

ladera, los cortes del camino remueven el soporte de la ladera, y la construcción puede alterar las presiones del agua subterránea, todo lo cual puede provocar aludes. Los caminos inestables o la colocación de materiales de vertidos laterales pueden fallar, a menudo muchos años después de haber colocador los materiales en laderas empinadas. La falta de inspección y mantenimiento de estructuras de drenaje y rellenos de caminos inestables a lo largo de caminos viejos y abandonados también puede dar como resultado movimiento del suelo y traslado de sedimentos a canales de arroyos.

F. CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA DE LOS CAMINOS

Los caminos son corredores no solo para vehículos y fauna, sino también para agua y sedimentos. Los caminos y sus sistemas de drenaje están frecuentemente interconectados o unidos con la red de arroyos naturales y las aguas superficiales de una cuenca; la escorrentía superficial en algunas cunetas y superficies de caminos fluye directamente a arroyos cercanos (Figura 5). El grado de interconexión, o conectividad,

FIGURA 4B. *En una escala menor y más común, las fallas de los terraplenes en caminos construidos en taludes empinados cerca de canales de arroyos tienen una alta probabilidad de entregar sedimento directamente al canal del arroyo.*

FIGURA 5.
La conectividad hidrológica ocurre donde la escorrentía del camino y la cuneta se entrega al sistema de canal de arroyo natural. Comúnmente ocurre donde las cunetas del camino descargan escorrentía del camino y sedimento erosionado directamente en bocas de alcantarilla de cruce de arroyo. En esta foto, ambas cunetas del camino están conectadas hidrológicamente al arroyo natural donde entra a la alcantarilla.

se caracteriza generalmente como el largo o el porcentaje del camino que drena a arroyos y otros cursos de agua (lagos, humedales, etc.) durante un evento de escorrentía de "diseño". Estos caminos y segmentos del camino se denominan "caminos conectados hidrológicamente" y el grado de conectividad se expande y se contrae según la magnitud de la precipitación y el evento de escorrentía.

Los caminos de grava y de superficie de materiales del lugar en paisajes rurales y territorios de montaña son importantes fuentes de escorrentía y sedimento para los arroyos. Los efectos aguas abajo de estas fuentes sobre los canales de arroyos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos es una función del grado de conectividad (por ejemplo, el porcentaje del sistema de drenaje del camino que está conectado) y la naturaleza y el volumen de los productos (agua, nutrientes, sedimento y otros contaminantes) que se transportan a la red de arroyos y el sistema acuático. **Quizás el impacto mayor proviene de caminos forestales y rurales conectados hidrológicamente que experimentan altos niveles de tránsito, o tránsito comercial importante, debido a la rápida generación de sedimento fino sobre la superficie del camino que luego se transporta a la largo de la superficie o en cunetas a arroyos y cursos de agua cercanos.** Otras fuentes de contaminación de sedimentos puede provenir de caminos con cortes marginales y cunetas que se erosionan, especialmente en áreas con suelos altamente erosionables (por ejemplo, graníticos descompuestos) donde la revegetación de las canaletas es lenta o incompleta.

Cuanto más alto es el porcentaje del sistema de camino (en su mayoría cortes marginales, cunetas, superficies del camino) que está conectado, mayor será el efecto potencial sobre las aguas receptoras. La conectividad hidrológica para sistemas de caminos forestales y rurales más antiguos y no mejorados generalmente ha sido de un promedio de 30% a 55% sobre áreas grandes de cuenca y cuenca de río. A escala menor, la conectividad hidrológica se ha calculado en un rango de 0% (por ejemplo en algunos caminos en lomas) a más del 80% (por ejemplo, algunos caminos al costado de arroyos o caminos entre laderas, en cunetas con cruces de arroyos frecuentes). Los caminos están conectados hidrológicamente al sistema de arroyos o no. **Los caminos y los segmentos del camino que están conectados y drenan a arroyos y cursos de agua tienen el potencial de impactar estos sistemas, mientras que los caminos que no están hidrológicamente conectados no. Los tratamientos simples de drenaje de la superficie del camino pueden reducir enormemente el grado de conectividad y los niveles de contaminación**

crónica de sedimento fino generalmente asociados a los sistemas de caminos rurales. Utilizando técnicas simples de drenaje de caminos, usualmente la conectividad se puede reducir entre 10–15%.[1]

G. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN ADECUADAS

La construcción de caminos *no tiene* que dar como resultado erosión y sedimentación excesivas corriente abajo. Las técnicas adecuadas de planificación, diseño y construcción utilizadas en la ubicación y la construcción de caminos, y en la instalación y el mantenimiento de estructuras de drenaje, pueden evitar problemas de calidad de agua y pueden extender considerablemente la vida útil del camino. Los caminos se pueden planificar y ubicar para evitar áreas inestable, erosionables, y los cruces de arroyos se pueden planificar, ubicar y construir utilizando técnicas que minimizan el potencial de erosión o falla de ladera post construcción. **La buena planificación, la ubicación adecuada y el uso de prácticas de construcción y reconstrucción progresiva pueden evitar considerablemente los impactos relacionados normalmente con la construcción de caminos. Hágalo bien y terminará con un camino de bajo mantenimiento y bajo impacto. Hágalo mal y está destinado a elevados costos de mantenimiento y altos impactos ambientales. La elección es clara.**

H. ELEMENTOS DE UN CAMINO ESTABLE

Las características que se describen en esta sección forman los pilares fundamentales de los caminos estables. Incluyen elementos del entorno físico del camino, puntos de control críticos (ubicaciones de interés o sensibilidad especial a lo largo de la alineación), restricciones sobre la ubicación del camino (legales y físicas), cómo mantener un camino estable una vez construido, y dónde encontrar ayuda e información adicionales.

1. ENTORNO FÍSICO

El entorno físico del camino incluye factores como la pendiente de la tierra, los tipos de basamento rocoso y suelos por los que pasa el camino, así como también el drenaje de la superficie y la subsuperficie a lo largo del trazado. Juntos, estos factores físicos determinan la mejor elección para la ubicación del camino en una cuenca, así como también las técnicas más adecuadas para construir un camino estable de poco mantenimiento.

a. Pendiente de la tierra

La pendiente de la tierra es uno de los elementos más importantes que controlan dónde y cómo se construyen los caminos. La construcción de caminos se hace más difícil y costosa a medida que las pendientes de la tierra se hacen más escarpadas. Los caminos construidos sobre pendientes empinadas también son más propensos a erosión y problemas de estabilidad.

El gradiente de la pendiente se puede expresar en varias maneras diferentes. El talud de la tierra se expresa generalmente en porcentaje, como por ejemplo "50%." La gradiente de la pendiente de taludes de corte y taludes de relleno a menudo se expresa como proporción, como por ejemplo 2 a 1. Una pendiente de 2 a 1 significa que por cada dos pies en dirección horizontal, la superficie de la tierra sube o baja 1 pie en elevación (dos pies por cada un pie hacia arriba o hacia abajo). Se dice también que una pendiente de 2 a 1 tiene un gradiente de 50 por ciento (50%) (Figura 6). Un gradiente de 100% correspondería a una inclinación de talud de 1 a 1, y una pendiente del 25% tiene una proporción de 4 a 1. Con menos frecuencia, en el trabajo de caminos, las pendientes se expresan en grados (por ejemplo, 30°). La pendiente del camino (la pendiente del camino a lo largo de la cual uno conduce) usualmente se expresa como porcentaje, como por ejemplo un camino con una pendiente leve de 2% o un camino empinado con una pendiente de 14%

1 Consulte el Apéndice C para ver los requisitos de la Norma de Práctica Forestal de California con respecto a la desconexión hidrológica y el Anexo a la Norma Técnica Nro. 5 para obtener información adicional sobre este tema.

o más escarpada, generalmente no está relacionado la pendiente de la tierra sobre la que pasa.

La Tabla 1 muestra pendientes típicas de tierra y banco, expresadas como proporción horizontal a vertical (por ejemplo, 2 a 1, ó 2:1), porcentaje (por ejemplo, 50%) y grados (por ejemplo, 27°), y la Figura 6 describe gráficamente algunas de las pendientes expresadas más comúnmente. Los terraplenes y los taludes de corte también se describen utilizando estas unidades de medición de pendiente.

Las pendientes de la tierra se pueden calcular con los contornos de los mapas topográficos, basados en la escala del mapa, el espaciado entre las líneas de contorno y el "intervalo de contorno" declarado para el mapa. La Tabla 2 brinda los datos necesarios para determinar la pendiente de la tierra de una mapa topográfico estándar de escala 1:24.000 o un mapa de

FIGURA 6. *El diagrama de pendiente muestra gráficamente los ángulos de corte y relleno del talud, y expresa la inclinación en porcentaje y en proporción de pendiente (H:V = distancia horizontal a distancia vertical) (Fay y otros, 2012).*

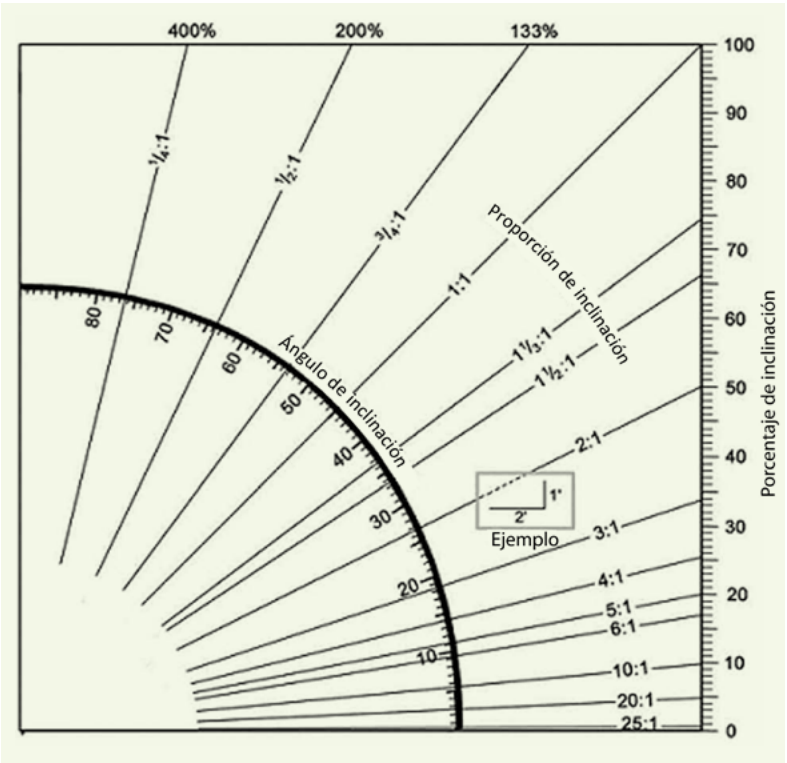


TABLA 1. Relación entre la proporción de la pendiente, y los grados de la pendiente como medida de la inclinación del talud

Proporción de inclinación (H:V)	Porcentaje de inclinación (%)	Ángulo de inclinación (grados)
	5,0	2,5
10:1	10,0	5,7
	17,6	10,0
4:1	25,0	14,0
3:1	33,5	18,0
	35,0	19,0
	45,0	24,2
2:1	50,0	26,6
	65,0	33,0
1½:1	66,7	33,7
	70,0	35,0
	80,0	38,6
	90,0	42,0
1:1	100,0	45,0
½:1	200,0	63,4
¼:1	400,0	76,0

TABLA 2. Inclinación de la tierra (%) derivado de un mapa topográfico a escala 1:24.000

Intervalo de contorno del mapa (pies)	Distancia medida (mm) entre contornos del mapa topográfico (mejor si se promedia a lo largo de la línea de máxima pendiente sobre varios líneas de contorno)														
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
20	51	42	36	32	28	25	23	21	20	18	17	13	10	8	6
40	102	85	73	64	56	51	46	42	39	36	34	25	20	17	13
80	203	169	145	127	113	102	92	85	78	73	68	51	41	34	25
120	304	254	218	191	169	152	139	127	117	109	102	76	51	61	38

FIGURA 7.
Calcular la pendiente con un clinómetro.

contorno. Sin embargo, recuerde que el mapa muestra una pendiente promedio entre las líneas de contorno. En el campo, la pendiente de la tierra a menudo varía considerablemente sobre distancias cortas y se mide mejor utilizando un instrumento simple, poco costoso y portátil llamado clinómetro (Figura 7). El clinómetro de bolsillo mide la inclinación del talud, expresada tanto en grados como en porcentaje, mirando hacia arriba o hacia abajo del talud a través del instrumento.

Logísticamente para facilidad de uso, los caminos no deben construirse directamente talud arriba, especialmente en pendientes empinadas que superan el 15%, a menos que sea por una inclinación corta de menos de 500 pies con una pendiente que no supere el 20%. Los caminos que se extienden directamente ladera arriba, sin importar lo leve que sea, son muy difíciles de drenar hacia un lado o el otro. La escorrentía fluirá directo hacia abajo por la línea de caída de la ladera y el camino, erosionando finalmente en la calzada y haciendo que el camino tenga cada vez más cunetas con el tiempo. Esto no solo genera sedimento sino que también requiere mantenimiento reiterado y considerable para mantener el camino utilizable.

La mayoría de los caminos cruzan el talud, y no es difícil mantener las pendientes del camino en menos de 3%–5%, incluso cuando la pendiente de la tierra supera el 50%. Esta construcción de talud lateral también ayuda a prevenir graves problemas de drenaje y erosión de la superficie porque son mucho más fáciles de drenar y pueden dispersar la escorrentía al talud de abajo con mayor facilidad. Las lomas, los balcones naturales y los taludes leves alejados de los canales de arroyos generalmente son los mejores sitios donde construir caminos. A veces se necesitan inclinaciones más empinadas para evitar áreas inestables u otros obstáculos, o se necesitan para evitar cruzas límites de propiedades.

b. Basamento rocoso y suelos

La estabilidad y erosionabilidad de un trazado de camino son controladas por el basamento rocoso y el material de suelo subyacente, así como también la ocurrencia de agua. La composición del basamento rocoso y de las propiedades de los suelos varían considerablemente a lo largo de la mayoría de las rutas. Cada tipo de suelo y basamento rocoso reacciona de manera diferente a la construcción del camino y el drenaje del camino.

Algunas propiedades importantes del basamento rocoso que influencian la estabilidad del talud y la facilidad de excavación para la construcción del camino incluyen la dureza de la roca, la dirección y la

inclinación de las capas de roca, la cantidad de fractura natural, la cantidad de desgaste o descomposición natural, y la composición mineral. Es probable que las rocas altamente fracturadas o desgastadas, o las capas de roca que corren con declive paralelo a la ladera den problemas de erosión y estabilidad durante y después de la construcción. A menudo estas condiciones implican altos costos de mantenimiento.

Una cantidad de propiedades del suelo también influencian la facilidad con la que se construye un camino cuán estable será luego de la construcción y cuánta erosión es probable que ocurra cuando se expongan los suelos. Dichas propiedades incluyen la profundidad del suelo, la erosionabilidad, el contenido de fragmentos gruesos, la textura y la compactabilidad. La textura del suelo es un factor utilizado para determinar la erosionabilidad o "clasificación de peligro de erosión" de un suelo,[2] y se pueden evaluar utilizando pruebas de campo simples (Figura 8). Las propiedades de los suelos en un área generalmente se pueden determinar con mapas de reconocimiento edafológico e informes disponibles en la oficina local del Servicio de Conservación de Recursos Naturales o en su sitio web (http://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/App/HomePage.htm). Las respuestas de los suelos a la construcción de caminos y su uso a menudo se pueden prever con la información que figura en estos informes. En la práctica, donde un camino debe cruzar taludes empinados, o porciones de la ruta deben cruzar áreas inestables, se deben revisar los mapas edafológicos y los mapas geológicos y se debe consultar a un geólogo profesional para evaluar la aptitud del sitio para las actividades de construcción de caminos planificadas. También puede obtener mucha información investigando estudios y permisos de uso de la tierra anteriores, informes geológicos, propuestas de explotación de madera, informes de ingeniería y fotos aéreas históricas que puedan estas disponibles para ese área.

c. Drenaje

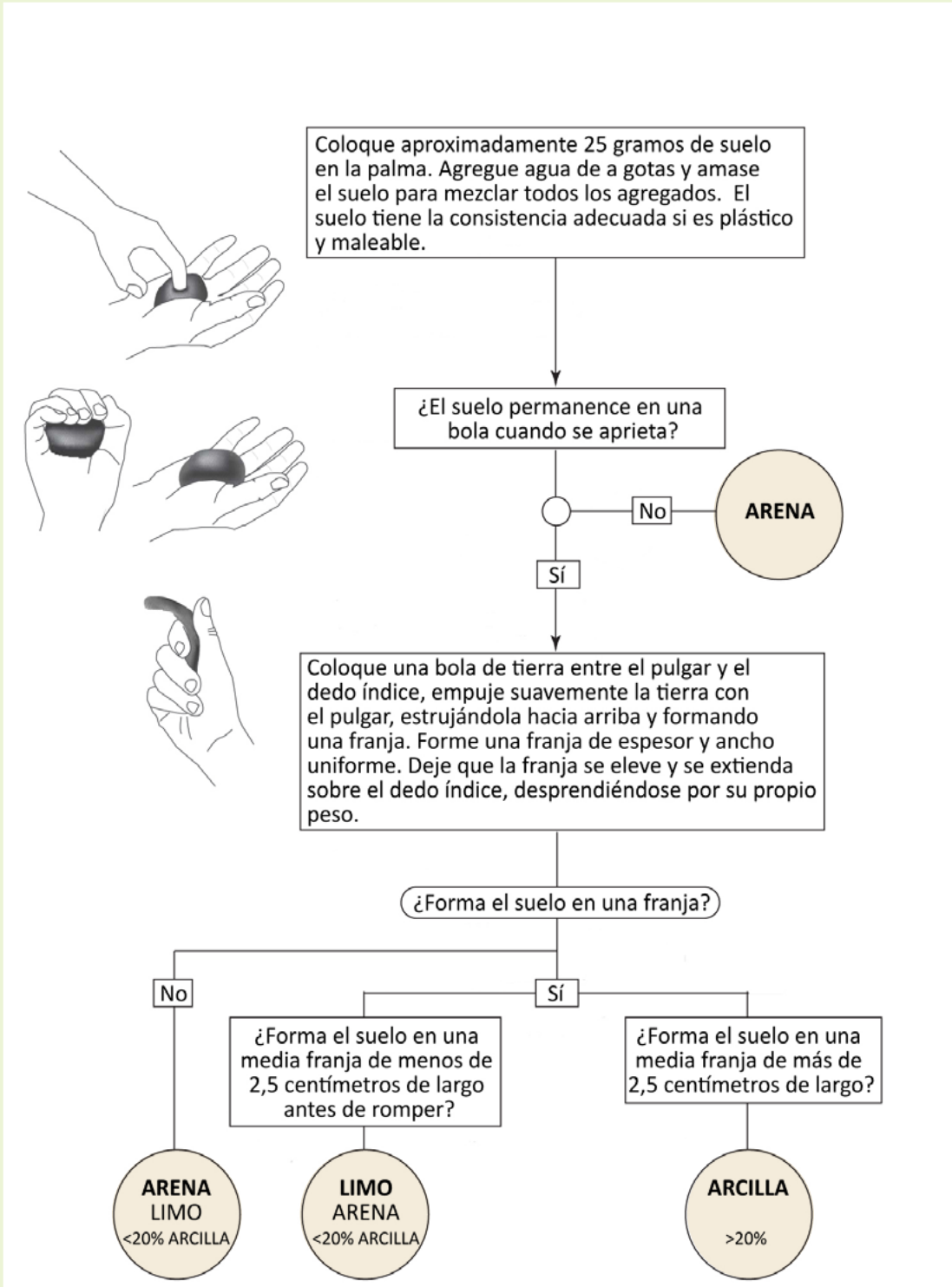
"Drenaje", se refiere tanto al drenaje de la subsuperficie (agua subterránea y caudal de paso de agua del suelo) y drenaje de la superficie (escorrentía). Los taludes bien drenados y los caminos drenados correctamente son críticos para tener ubicaciones de caminos de bajo impacto y bajo mantenimiento, y pueden tener efectos importantes sobre la construcción de caminos y su estabilidad subsiguiente.

i. Drenaje de la subsuperficie

El agua retenida en el suelo, o que se mueve a través del suelo, se llama agua del suelo o agua subterránea. El agua que no puede moverse libremente a través del suelo a menudo surge a la superficie en forma de manantiales y filtraciones. Incluso cuando el drenaje de la subsuperficie (el flujo de agua a través del suelo) es bueno, se puede ver afectado por la construcción del camino y, a su vez, los caminos se pueden ver dañados por el drenaje obstruido o perturbado de la subsuperficie. Por ejemplo, el mal drenaje de la subsuperficie puede dar como resultado saturación y daño permanente de los materiales del camino y también problemas de erosión posteriores. Si hay demasiada agua en los suelos superficiales (debido a humedad estacional o mal drenaje), o surge agua subterránea debajo del camino, el peso de los vehículos puede deformar el suelo y convertirlo en lodo con poca forma o textura y poca o nada de fuerza. En un camino en pendiente, el lodo se puede convertir en un peligro de seguridad, la calzada se puede dañar, y el sedimento puede fluir a cunetas y arroyos cercanos, provocando problemas de calidad del agua.

Algunos suelos son naturalmente húmedos y mal drenados, y se deben evitar durante las operaciones de construcción de caminos. A menudo se indican por estanques y áreas húmedas en la superficie del suelo durante la temporada húmeda. A menudo se pueden reconocer dichos sitios durante los períodos estivales secos notando cambios en los tipos y/o el

2 Si no existen o no se dispone de mapas edafológicos, se pueden realizar pruebas simples en el campo para calcular las propiedades más importantes del suelo. Por ejemplo, el Anexo 1 de la Norma Técnica de la Junta Forestal de California (consulte el Apéndice C) describe un procedimiento para calcular la clasificación de peligro de erosión de superficie (CPE) de un suelo. Sin embargo, este procedimiento solo calcula la susceptibilidad del suelo a la erosión de la superficie provocada por precipitaciones y escorrentía. La probabilidad de movimiento de masa de suelo (deslizamiento de tierra) se debe determinar de otras maneras.



La determinación de la textura de los sedimentos finos utilizando el método de la mano.

FIGURA 8. *La textura de los sedimentos y suelos finos, un componente importante utilizado para evaluar la erosionabilidad del suelo y el peligro de erosión, se puede estimar utilizando una prueba de campo simple de textura manual (BCMF, 1991).*

color de la vegetación. Las áreas húmedas a veces se pueden drenar, pero a menos que se elimine la fuente del agua subterránea emergente, la humedad puede ser un problema continuo en el sitio. Una vez que el agua ha surgido a la superficie (en el corte marginal, en la cuneta o en la superficie del camino) se debe dirigir lejos del sitio y descargarse en un área estable.

De igual manera, el mal drenaje de la subsuperficie puede crear problemas de estabilidad en el talud para los caminos construidos en laderas empinadas y húmedas. Se pueden utilizar técnicas de drenaje de la subsuperficie para aliviar o prevenir la acumulación en las presiones de los poros del agua dentro del manto del suelo o dentro de los materiales de relleno del camino. Luego de intensos eventos de tormenta o lluvia es común ver fallas en el relleno del camino que fueron provocadas por presiones hidrostáticas elevadas. Las fallas importantes en el camino y la ladera (por ejemplo, deslizamiento de escombros y flujo de escombros) a veces se pueden atribuir al efecto adverso del camino sobre el drenaje de la subsuperficie. Por ejemplo, cuando se construye un camino sobre un bajío muy inclinado en terreno montañoso, el relleno grueso del camino puede compactar los poros del suelo de la subsuperficie a través de los cuales fluye el agua subterránea, por ende causando mayor presión en los poros y fallas en el relleno del camino y los suelos subyacentes durante eventos de tormenta.

Si el camino debe pasar sobre un área húmeda conocida, inclusive manantiales o filtraciones, se pueden usar técnicas de drenaje de la subsuperficie para drenar el suelo debajo de la calzada y para prevenir la acumulación de presiones de los poros del agua dentro de los suelos subyacentes. Las técnicas de drenaje de la subsuperficie incluyen el uso de "desagües de piedra en cuneta" recubiertos con grava, con o sin caños perforados enterrados en cunetas, y otras combinaciones de recubrimientos de grava y telas de filtrado suprayacentes. Si no está seguro sobre reconocer o tratar un área húmeda, obtenga asistencia profesional; un error que se comete aquí puede conducir a mayores costos de construcción y mantenimiento posteriores, y a impactos ambientales considerables. Evitarlas es el método menos costoso y más exitoso para prevenir los problemas de drenaje de la subsuperficie, y casi siempre es mejor redireccionar el camino para evitar áreas húmedas naturales.

ii. Drenaje de la superficie

La clave de un drenaje de superficie exitoso es sacar el agua de los taludes de corte, los terraplenes y la superficie del camino lo más rápidamente posible, antes de que tenga la oportunidad de concentrarse en un gran volumen de flujo o de saturar el suelo. **Las tres reglas más importantes para desviar al escorrentía de la superficie son 1) drenar y dispersar el agua fuera del camino rápidamente para que no puede erosionar o filtrarse en la calzada, 2) dirigir la escorrentía fuera del camino a menudo para evitar que flujos grandes y erosionantes se desarrollen en cunetas largas y no drenadas o superficies del camino, y 3) dirigir la escorrentía a ubicaciones seguras lejos de cursos de agua y áreas inestables.**

Se puede usar un método simple, llamado la Prueba de las 5 D, para medir la eficacia de los sistemas de drenaje del camino. Esta prueba se basa en su mayoría en información visual y análisis del drenaje de la superficie del camino. Las 5 D son:

1. ¿*Todos* los **DRENAJES** naturales se transportan (por ejemplo, llegan a hondonadas, vados, alcantarillas o puentes) cruzando el camino y se liberan en sus canales naturales (esto incluye arroyos y cursos de agua pequeños y grandes)?

2. ¿El sistema de drenaje del camino realmente **DESVÍA** agua de la superficie del camino?

3. ¿Se **LIBERA** el drenaje frecuente y rápidamente del camino?

4. ¿La energía del agua que corre se **DISIPA** sobre material no erosionable en el punto de descarga?

5. ¿La **DISTANCIA** entre las estructuras de drenaje es adecuada para prevenir la erosión de la calzada y el terraplén mientras se evita la entrega de sedimentos a canales de arroyos cercanos?

Estas cinco pruebas se aplican a todos los métodos de drenaje, inclusive pendientes contrarias del camino, camellones, vados ondulantes superficiales, alcantarillas de alivio de cunetas, alcantarillas de arroyos y puentes. Las primeras cuatro pruebas se pueden realizar mediante observación; la quinta prueba se puede realizar evaluando las condiciones del sitio local que incluyen la pendiente del camino, el material de la superficie, la elevación, la precipitación esperada, el tipo de suelo, la forma del camino y la ubicación de estructuras de drenaje existentes (Washington DNR, 2011). Una variedad de manuales y libros sobre caminos brindan estándares para el espaciado de las alcantarillas y el espaciado del drenaje de la superficie, aunque es importante enfatizar que la eficacia del diseño del drenaje del camino depende de las condiciones específicas del sitio. Utilizar estándares publicados sin evaluar las condiciones del sitio puede llevar a (q) mayor erosión si el espaciado del drenado es demasiado infrecuente o (2) costos de construcción elevados innecesarios si el drenaje de la superficie está diseñado por demás. La Tabla 3 ejemplifica los estándares de espaciado del drenaje de la superficie del camino basados en la inclinación del gradiente del camino. La variabilidad entre los estándares sugeridos muestra que el diseño del drenaje del camino y la frecuencia de las estructuras de drenaje no es un enfoque universal y requiere la evaluación de las condiciones específicas del sitio.

El uso y la ubicación correcta de estructuras de drenaje como alcantarillas, hondonadas rodantes, cunetas de desvío, pendientes, pendientes contrarias, cunetas internas, alcantarillas de alivio de cunetas, interceptores de agua y alcantarillas de arroyos valen la pena el costo inicial de instalación. La corrección y la reparación pueden ser de 2 a 10 veces más costosas que la instalación original, y el daño a la tierra y a los arroyos cercanos puede ser incorregible e irreversible.

2. PUNTOS DE CONTROL PARA LA UBICACIÓN DEL CAMINO

La estabilidad de un camino y su impacto sobre el medioambiente a menudo se determinan por cómo el camino está diseñado y ubicado cerca de puntos de control físicos en el paisaje. Se deben hacer esfuerzos para evitar la mayor cantidad de obstáculos posibles y cruces de arroyos al planificar y ubicar el trazado de un camino.

a. Obstáculos

Los obstáculos a una camino estable incluyen marcas que identifican taludes inestables (depresiones, deslizamientos de escombros, flujos de escombros, deslizamientos de tierra, caídas de rocas, etc.); afloramientos de roca dura; acantilados y taludes muy empinados; suelos húmedos e inestables o altamente erosionables; estanques y lagos; humedales y pantanos; y límites de propiedades. Estas características deberían ubicarse precisamente durante el reconocimiento del camino ya que constituyen puntos de control que influenciarán la ubicación final del camino.

Se deben hacer acuerdos con terratenientes adyacentes cuando sea necesario para evitar que los límites de la propiedad obliguen a construir los caminos en lugares inestables o inadecuados que podrían provocar erosión

TABLA 3. Ejemplos de estándares de espaciado de drenaje de superficie de caminos[1]

Fuente	Espaciado máximo de drenaje de superficie según el gradiente del camino (pies)			
	2–4%	5–8%	9–12%	>12%
Servicio Forestal de Colorado, 2011	500–900	300–700	200–500	–
Departamento de Tierras de Idaho, 2014	400–600	300–500	–	–
Oficina de Gestión de Tierras, 2007	240–400	180–325	140–250	–
Keller y Sherar, 2003)	245–400	130–295	115–195	100–165

[1]Consulte el Apéndice C para ver la distancia máxima sugerida entre interceptores de agua de las Normas de Práctica Forestal de California (2013).

excesiva y daños en las áreas ladera abajo y aguas abajo. Además, el reconocimiento de inestabilidades en el talud a veces puede ser fácil, pero a menudo se necesitan la habilidad y la experiencia de un geólogo o un geólogo ingeniero calificado y experimentado para determinar la extensión completa de las áreas inestables y escoger una ruta alternativa adecuadamente estable que supere el obstáculo. **A largo plazo, emplear a un profesional calificado para resolver un problema técnico es mucho menos costoso que reparar una falla importante del camino.**

b. Cruces de arroyos

Los cruces de arroyos son especialmente vulnerables a erosión y fallas; a menudo se consideran el punto débil de un trazado de camino ya que generalmente son la característica más vulnerable y propensa a fallas. Por este motivo, **se deben minimizar estrictamente la cantidad y el tamaño de los cruces de arroyos que se deben construir a lo largo de un camino nuevo.** Cuando más profundamente cavado está el cañón del arroyo, es más probable que haya más excavación, perturbación del suelo y erosión durante y después de la construcción del cruce. Por ende, los cruces de los arroyos se deben ubicar donde los canales están menos cavados, cruzando balcones naturales, y donde los taludes sean lo más suaves y estables posible. Además, los cruces de arroyos se deben construir en ángulos rectos al canal del arroyo, y, donde sea posible, en arroyos que requieran una alcantarilla de 60" de diámetro o mayor, grandes volúmenes de relleno, o paso de peces. se debería considerar un puente.

Se requiere el uso de cruces diseñados y construidos siempre que los caminos deban cruzar un arroyo o un curso de agua. Pueden ser permanentes, que incluyan un cruce con relleno entubados, un relleno blindado o un vado, o pueden ser temporarios, como un relleno en alcantarilla, un cruce de troncos o un puente temporario que se debe quitar antes del comienzo de la temporada húmeda o el período de invierno (generalmente considerado como que comienza a mediados de octubre en el oeste de EE.UU.). Todos los cruces de arroyos de caminos forestales y rurales hechos para permanecer en el lugar durante uno (1) o más períodos de invierno o temporada húmeda deben estar diseñados para pasar al menos el flujo de crecida pluvial de 100 años, inclusive las cargas de escombros orgánicos flotantes y sedimento. Esta es una buena práctica que a menudo exigen las regulaciones. Los cruces de caminos forestales más antiguos que necesitan reconstrucción también deben diseñarse conforme a los estándares actuales de flujo máximo de 100 años (los métodos para calcular el flujo de crecida de 100 años para pequeños arroyos no tapados se incluyen en el Capítulo 5 y en el Apéndice A). Estos estándares son adecuados para todos los caminos forestales, inclusive sistemas de caminos forestales y rurales. Las instalaciones de cruces de arroyos generalmente requieren permisos ambientales y detalles de diseño (o MPG) y es probable que estos requisitos varíen según su ubicación.

Algunos cruces de arroyos requieren un diseño cuidadoso adicional para adaptarse al paso de peces juveniles y adultos. Esos cruces requerirán consulta con expertos de organismos, y quizás asesores calificados, para determinar el mejor tipo de cruce y de diseño de paso de peces. Es probable que sea más exitoso preparar e instalar el cruce adecuado en primer lugar para cumplir los objetivos de paso, y quizás sea menos costoso, que tener que retroadaptar o sustituir una estructura mal diseñada que ya se ha construido.

c. Pendiente del camino

La inclinación del camino se llama "pendiente del camino". No es lo mismo que la pendiente de la tierra. La pendiente del camino en general se expresa en porcentaje (%). Un camino que se eleva o desciende 10 pies por cada 100 pies de largo tiene una pendiente de 10%.

Los trazados del camino se deben diseñar con pendientes leves a moderadas para minimizar el daño a la calzada, para permitir el drenaje frecuente y eficaz de la superficie del camino y por seguridad. Las pendientes del camino planas (<1%), como las de los fondos de los valles, a menudo son difíciles de drenar y pueden generar baches y otros signos de mal drenaje. Los caminos empinados tienen más probabilidades de sufrir erosión y daños de vehículos, especialmente si

se usan cuando están mojados. Esto también puede llevar a mayores peligros de seguridad en comparación con los caminos de menor pendiente. Los caminos empinados son más difíciles de drenar porque la escorrentía de la superficie a menudo fluye camino abajo en los surcos de las ruedas en lugar de hacia el borde exterior donde se puede liberar y disipar. En zonas nevadas, los caminos empinados pueden representar una peligro de seguridad si se utilizan durante los períodos de clima frío. Los nuevos trazados de caminos deben usar pendientes de 3% a 8%, o menos, cuando sea posible. Los caminos forestales utilizados para el transporte de madera deben conservarse generalmente por debajo del 12% (se debe intentar un máximo promedio de 8%) excepto en pendientes cortas de 500 pies o menos donde las pendientes del camino pueden subir hasta 20%. Estas pendientes de caminos más empinados se deben pavimentar o recubrir con rocas y drenar frecuentemente, especialmente si se utilizarán durante la temporada húmeda o los meses invernales. Las pendientes de caminos rurales que se usan para vehículos de pasajeros deben estar en el extremo más bajo de estos gradientes de caminos.

3. OTRAS LIMITACIONES PARA LA UBICACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO

Ya se ha discutido una cantidad de limitaciones físicas para la ubicación del camino, inclusive obstáculos y cruces de arroyos. Pero otros factores también limitan cuándo y dónde se puede construir un camino.

a. Limitaciones estacionales para la construcción

El clima puede dictar cuándo ocurren las condiciones más favorables y mejores para construir un camino. Por ejemplo, el clima mediterráneo de la costa de California es generalmente uno de inviernos húmedos y veranos secos, y estos extremos limitan la época del año en que las actividades de construcción pueden ser más efectivas. Aunque la construcción del camino no debe ocurrir durante condiciones de clima húmedo, hay una cantidad de actividades de planificación y reconocimiento que puede, y deben, tener lugar durante los períodos húmedos. De hecho, el invierno es el mejor período para el reconocimiento del campo y para identificar manantiales, filtraciones y pequeños arroyos que podrían no ser visibles durante la temporada seca.

Generalmente, las actividades de construcción y reconstrucción (mejora) se deben calcular para minimizar la erosión del suelo, para darle tiempo a la vegetación a arraigarse antes de que comience las precipitaciones fuertes, y para que el equipo pesado no tenga que trabajar sobre suelos húmedos. Finales de primavera hasta mediados de verano es el mejor período para el trabajo con equipo pesado en muchos lugares. Se requiere y es deseable cierta humedad para la compactación adecuada de los materiales de relleno, pero la construcción del camino no debe comenzar antes de que el suelo haya tenido tiempo de drenar y secarse. Las actividades de construcción pueden tener lugar durante condiciones de clima seco y suelo seco siempre que haya agua disponible para agregar humedad al suelo cuando sea necesario para compactación y control del polvo.

La Tabla 4 describe actividades que se pueden realizar segura y eficazmente durante diversas épocas del año. En algunos años hay períodos secos extendidos durante los meses de invierno cuando se puede realizar cierto trabajo con equipo pesado. Sin embargo, las regulaciones locales pueden limitar los tipos de trabajo que se pueden realizar durante la temporada húmeda, y cómo se debe realizar ese trabajo. Por ejemplo, las Regulaciones de Práctica Forestal de California de 2014 requieren que el trabajo de control de erosión se mantenga actualizado con las operaciones de perturbación del suelo (diariamente), que se prepare y presente un plan de operaciones invernales (de ser necesario) para guiar las operaciones de invierno, y que se cancele el trabajo inmediatamente antes de que las condiciones comiencen a afectar la calidad del agua.

b. Operaciones cerca de arroyos, lagos y humedales

Se debe dejar suficiente área amortiguadora o franja de filtro de suelo y vegetación no perturbados entre las actividades de construcción del camino, la reconstrucción del camino y mantenimiento del camino, y cerca

TABLA 4. Cálculo de las actividades de planificación y construcción del camino para un clima mediterráneo[1]

Temporada	Planificación y diseño	Disposición del campo	Construcción y reconstrucción	Inspección y mantenimiento	Cierre
Invierno	+[1]	+	No	+	No
Primavera	+	+	✓ (fines)	+	–
Verano	+	–	+	+	+
Otoño	+	–	✓ (principios)	+	+

[1]Claves de los símbolos: + = temporada buena o excelente para esta actividad. ✓ = Momento aceptable o bueno para realizar este trabajo. – = no es una buena temporada para este tipo de trabajo. No = no es un buen momento para realizar trabajo de construcción o cierre utilizando equipo pesado, a menos que haya un período seco extendido. Cada temporada tiene períodos cuando el trabajo se puede realizar. El trabajo con equipo en clima húmedo, si se realiza, se debe planificar y realizar cuidadosamente, con el trabajo de control de erosión actualizado.

de arroyos, lagos y humedales. El drenaje de la superficie del camino se debe dispersar y liberar en un área de filtrado con suficiente capa de terreno y distancia del talud como para infiltrar agua y atrapar todo sedimento que provenga de la escorrentía del camino. Se deben retener franjas de filtrado para todos los cursos de agua, inclusive arroyos fugaces e intermitentes que puedan no estar fluyendo en el momento de la construcción o el mantenimiento del camino.[3] **Los lechos de cauces y humedales no son buenas ubicaciones para caminos y nunca se deben usar para ese fin.**

El diseño y el ancho de la franja amortiguadora depende del fin del amortiguador (por ejemplo, moderación de la temperatura del agua, eliminación de sedimento, eliminación de nutrientes, y diversidad de las especies), tipo de vegetación, permeabilidad del suelo y gradiente del talud. La Tabla 5 incluye una lista de varios anchos mínimos de franjas de filtrado o amortiguación para proteger la calidad del agua, pero estas distancias pueden tener que modificarse según las condiciones locales del sitio, así como también los requisitos regulatorios. Los anchos de amortiguación están directamente relacionados con la pendiente de la tierra adyacente al arroyo y la permeabilidad del suelo; los taludes más empinados o los suelos menos permeables requieren distancias de amortiguación más largas. Aunque los anchos de amortiguación recomendados en la Tabla 5 varían entre 30 pies a 100 pies, el ancho de amortiguación deben ser de un mínimo de 30 pies para proteger la calidad del agua. Las regulaciones pueden dictar anchos de amortiguación aceptables y operaciones que se pueden realizar dentro del área de amortiguación.

3 Consulte el Apéndice C para ver los requisitos de la Norma de Práctica Forestal de California con respecto a la protección de los cursos de agua.

TABLA 5. Anchos mínimos recomendados para franjas de amortiguación/filtrado entre caminos forestales y arroyos para mejorar o proteger la calidad del agua[1]

Ancho recomendado[2]	Autores
≥50 ft	Woodard y Rock (1995)
≥80 ft	Young et al. (1980)
≥100 ft	Lynch et al. (1985)
≥30 ft	Dillaha et al. (1989)
≥60 ft	Nichols et al. (1998)
≥30 ft	Corley et al. (1999)
≥60 ft	Shisler et al. (1987)

[1]adaptado de Fischer et al. (2000)

Donde hay vegetación inadecuada junto al camino, se pueden agregar barreras físicas (troncos, arbustos, cunetas, etc.) o estructuras de retención de sedimentos/estanques para atrapar parte del sedimento que proviene de la superficie del camino o los terraplenes. Por ejemplo, la eficacia de filtrado de las franjas de filtrado se puede mejorar considerablemente si se coloca desperdicio maderero en la base de los terraplenes a lo largo del trazado del camino, dejando salida para que pase la fauna. **Estas estructuras se llaman camellones de filtrado. Las cunetas internas y las alcantarillas de alivio de cunetas se deben liberar sobre taludes con vegetación y *nunca* en canales de arroyos naturales o cursos de agua.**

4. CÓMO MANTENER UN CAMINO ESTABLE

Construir o mejorar un camino se debe considerar un compromiso de largo plazo de recursos (dinero y equipamiento) y personal. Si no puede hacer ese compromiso, entonces no se debe construir el camino, o se debe construir como camino temporal con estructuras de drenaje que se quiten después del uso. Muchos caminos sin salida construidos durante la cosecha de madera u otras actividades de extracción de recursos pueden y deben ser designados como temporales. Si y cuando deben reconstruirse en el futuro, los cruces de arroyos se pueden reconstruir y se le puede volver a dar inclinación al camino y volver a abrirlo.

Un camino construido con estructuras de drenaje y cruces de arroyos se debe mantener durante el invierno o el período de clima húmedo (a medida que ocurren las tormentas), durante el verano o el período de temporada seca (mientras se utiliza), y antes de cada temporada de clima húmedo (para preparar el camino para las precipitaciones y la escorrentía). Se deben realizar frecuente y regularmente inspecciones y actividades de mantenimiento periódico as y pluviales durante varias de las primeras temporadas de lluvia a medida que el camino se "asienta" y se estabiliza. Cada año que sigue, se deben revisar regularmente el camino y sus estructuras de drenaje y, de ser necesario, se deben reparar.

Los caminos deben estar accesibles para poder inspeccionarlos y mantenerlos de manera eficaz. Se deben instalar portones a lo largo de caminos temporales y no pavimentados para limitar el acceso durante el clima húmedo por parte del público o intrusos con el fin de evitar daños a la calzada y las estructuras de drenaje. El uso de barreras permanentes, como troncos o cunetas grandes y bermas de suelo, para evitar el acceso no deseado también evita inspecciones y mantenimiento que son críticos para mantener un camino estable. Las barreras permanentes se deben utilizar únicamente en caminos cerrados o clausurados, y no en caminos que pueden requerir mantenimiento.

Cuando disminuye la necesidad de un camino, no es suficiente cerrar el camino simplemente abandonándolo o colocando barricadas o un portón. Si un camino no se inspeccionará o mantendrá durante múltiples temporadas, se debe clausurar pro activamente o "proteger contra tormentas" (estabilizarse contra la erosión que provoca daños). Esto se hace excavando los cruces de arroyos y quitando las alcantarillas, y excavando material de relleno potencialmente inestable que podría fallar y transportarse alimento a los canales de arroyos locales durante tormentas invernales (consulte el Capítulo VIII). En la mayoría de los casos el camino se puede volver a abrir cuando se vuelve a necesitar para la gestión de tierra u otros fines.

5. DÓNDE ENCONTRAR AYUDA

Se dispone de muchas personas experimentadas y manuales prácticos para ayudarlo a tomar decisiones sabias sobre planificación, diseño, ubicación, construcción, reconstrucción y abandono pro activo de caminos forestales y rurales. No hay nada como la experiencia para poder desarrollar un buen proyecto, así que busque profesionales y operadores y operadores respetados que realizan estas tareas regularmente y aprenda de ellos. La Tabla 6 muestra las fuentes típicas que puede contactar para obtener orientación sobre planes para dónde, cómo y cuándo construir un camino en California y en gran parte de Estados Unidos. Es probable que encuentre fuentes de información similares en su área.

TABLA 6. Fuente de información para planificar, construir, mantener y abandonar pequeños caminos privados

Fuente sugerida	Fotos aéreas	Datos espaciales	Informes climatológicos	Vegetación	Permisos	Asistencia técnica	Mapas y bibliografía			
							Suelos	Geología	Topografía	Caminos
Federales										
NRCS	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
USDA	✓	✓		✓			✓		✓	✓
USFS	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
BLM	✓	✓		✓			✓			✓
Servicio de extensión de la USDA						✓	✓	✓	✓	✓
USGS	✓	✓						✓	✓	
NOAA			✓							
Cuerpo de Ingenieros del Ejército					✓					
Estatales										
Departamento Forestal y Protección contra Incendios	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Servicio Geológico	✓	✓				✓	✓	✓	✓	
Departamento de Transporte					✓					✓
Departamento de Peces y Vida silvestre		✓			✓	✓				✓
Junta Regional de Control de la Calidad del Agua					✓	✓				
Sistema de Extensión Cooperativo				✓		✓	✓		✓	✓
Universidades (Departamento Forestal, de Geología e Ingeniería)		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Bibliotecas universitarias				✓			✓	✓	✓	✓

TABLA 6. Fuente de información para planificar, construir, mantener y abandonar pequeños caminos privados

Fuente sugerida	Fotos aéreas	Datos espaciales	Informes climatológicos	Vegetación	Permisos	Asistencia técnica	Mapas y bibliografía			
							Suelos	Geología	Topografía	Caminos
Del condado										
Departamentos de Obras Públicas, Caminos o Construcción	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓
Departamentos de Recursos Naturales	✓			✓		✓				✓
Departamento de Planificación	✓				✓	✓				
Biblioteca del condado				✓?			✓	✓	✓	✓
De la ciudad y locales										
Biblioteca de la ciudad				✓?			✓	✓	✓	✓
Gubernamentales					✓					
Otras fuentes										
Private consultants (forestry, geology, engineering, wildlife, etc.)	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Outdoor stores									✓	✓

[1]NRCS—Natural Resources Conservation Service (Servicio de Conservación de Recursos Naturales); USDA—Departamento de Agricultura de Estados Unidos; USFS—Servicio Forestal de Estados Unidos; BLM—Oficina de Gestión de Tierras; USGS - Servicio Geológico de Estados Unidos; NOAA—Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.

I. PERMISOS

Antes de comenzar todo proyecto de construcción de caminos, puede que se requieran permisos, acuerdos y otras autorizaciones específicas federales, estatales y del gobierno local. Estos permisos y acuerdos se requieren para asegurar que los proyectos se consideren y evalúen con respecto a (1) sus efectos adversos sobre el medioambiente (por ejemplo, efectos negativos sobre la calidad del agua, especies sensibles o en peligro, o hábitats críticos), (2) planes de diseño y construcción adecuados, y (3) planes potenciales de mitigación en caso de impactos ambientales no intencionales.

A continuación se indican algunos ejemplos de permisos requeridos para actividades de construcción de caminos para California. Los requisitos regulatorios son diferentes para cada área del país, pero es importante investigar y determinar los que se aplican a su área.

1. DEL CONDADO

El Departamento de Obras Públicas y/o los Departamentos de Construcción a menudo tienen ordenanzas de calificación que describen cómo se pueden construir los caminos privados y cómo estos caminos se pueden conectar con los caminos públicos existentes. Se pueden requerir permisos, y los Departamentos de Planificación del Condado también pueden desear revisar los caminos propuestos que se están construyendo en divisiones de lotes pequeños y subdivisiones de tierra, incluso en áreas rurales. Se pueden requerir ciertos estándares relacionados con el uso propuesto de caminos y accesos de vehículos de emergencia. En áreas de construcción o mantenimiento de un camino propuesto que debajo tiene suelo o basamento rocoso que naturalmente contiene amianto, también se pueden necesitar medidas de mitigación especiales para cumplir los requisitos de la Junta de Recursos Aéreos de California. La Medida Tóxica Aérea de Amianto para Construcción, Preparación, Explotación y Minado en California es administrada por cada Distrito de Gestión de Calidad del Aire del Condado.

2. ESTATALES

Cada estado en EE.UU. tiene sus propias regulaciones y estándares para el trabajo en caminos forestales y rurales, algunas más estrictas que los otros. En California, los organismos regulatorios estatales con jurisdicción sobre los caminos y actividades relacionadas incluyen el Departamento de Transporte, el Departamento de Peces y Vida silvestre, el Departamento Forestal y Protección contra Incendios, y las Juntas Regionales de Control de la Calidad del Agua. Varios otros organismos tienen jurisdicción especial. El Departamento de Transporte de California (Caltrans) controla las conexiones de caminos privados con caminos y carreteras mantenidos por el estado. Se puede requerir un honorario y fianza o depósito de solicitud para este tipo de trabajo. También debería consultar a la Comisión Costera de California al planificar un camino dentro de la Zona costera. Para caminos nuevos, puede ser necesaria la autorización arqueológica en áreas donde los registros muestran actividad o habitación prehistórica. Para desarrollar bancos de roca o sitios de préstamos de más de un acre de tamaño, o que superen las 1000 yardas cúbicas de material de sobrecarga o material rocoso, se debe consultar al Departamento de Conservación sobre los requisitos de desarrollo y reclamación de la Ley de Rehabilitación y Minería Superficial (SMARA) de California (SMARA, por su sigla en inglés) (California Office of Mine Reclamation,2012).

Se debe notificar al Departamento de Peces y Vida silvestre sobre toda construcción, reconstrucción y eliminación de caminos o proyectos relacionados que darían como resultado el desvío o la obstrucción de un flujo de arroyo natural o la modificación física del lecho o los bancos de cualquier arroyo o lago. Se debe presentar una modificación formal llamada Acuerdo de Alteración de Lagos y Lechos de Arroyos (LSAA, por su sigla en inglés) (a veces llamado "permiso" 1600 ó 1603) ante el Departamento en el Formulario 1603, describiendo el trabajo propuesto e incluyendo un costo de solicitud[4] (consulte el Apéndice B). Las estructuras de cruce de arroyo, vados, escolleras u otras medidas

4 El costo de solicitud no se necesita para planes comerciales de tala de madera.

de estabilización de bancos permanentes o temporales, instalaciones de alcantarillas, puentes, o arrastres sobre cruces temporales son algunos de los proyectos sujetos al proceso de notificación del LSAA (Apéndice B).

Para construir o reconstruir un camino para la tala comercial de árboles, leña u otros productos forestales, un Silvicultor profesional registrado en California debe presentar un plan de tala de madera (THP, por su sigla en inglés) ante el Departamento Forestal y Protección contra Incendios (CAL FIRE). Esto incluye todo producto comercial de madera u otro producto vendible de obras de construcción reconstrucción de caminos. Se deben seguir regulaciones específicas para la planificación, el diseño, la construcción y el mantenimiento de estos caminos de explotación forestal (Apéndice C). También se han desarrollado estándares de caminos seguros contra incendios para caminos de subdivisión rurales que requieren la revisión CAL FIRE antes de la construcción.

La Junta Estatal de Control de Recursos Acuíferos y la Junta Regional de Control de la Calidad del Agua con jurisdicción en su área administran y hacen cumplir las disposiciones de la Ley de Calidad del Agua Porter-Cologne de California, así como también la Ley Federal de Agua Limpia. Se debe consultar a estos organismos siempre que la calidad del agua y los usos beneficiosos del agua se puedan ver afectados. El sedimento que ingresa en los arroyos y los cursos de agua es un contaminante grave y las actividades de construcción, reconstrucción y mantenimiento de caminos, si no se realizar adecuadamente y con cuidado, puede provocar polución aguas abajo. Las acciones de limpieza y corrección ordenadas por la Junta pueden ser costosas y provocar una demora considerable, así que siempre es mejor seguir las prácticas que protegen la calidad del agua.

3. FEDERALES

Las regulaciones federales también se pueden aplicar a sus actividades de construcción de caminos. En muchos casos, las autoridades reguladoras federales pueden haber sido delegadas a los organismos estatales. En California, el Servicio de Peces y Vida silvestre de Estados Unidos, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, y otros, tienen jurisdicción sobre ciertos aspectos de los proyectos de construcción y el ambiente donde ocurren. Si la financiación de cualquier parte de tu trabajo en el camino surge de fuentes federales, entonces es más probable que se aplican diversas regulaciones federales. Usted es responsable de determinar qué organismos tienen jurisdicción sobre su proyecto, y de trabajar con ellos antes de realizar cualquier actividad de construcción en el campo. Deberá consultar a los organismos locales y estatales para ver si algunas de estas entidades reguladoras federales afectan su proyecto.

La Tabla 7 brinda una lista de permisos, certificaciones y autorizaciones federales y del estado de California que se requieren típicamente para proyectos de construcción de caminos, junto a la información de contacto.

4. DE OTROS ESTADOS Y PAÍSES

Para proyectos de caminos propuestos en otros estados, debe contactar a los organismos gubernamentales de su estado específico para determinar qué permisos, acuerdos u otras autorizaciones se requieren para el proyecto. Además de los permisos federales y estatales, con frecuencia se requieren permisos del gobierno local. Contáctese con los departamentos de planificación del condado local, los Distritos de Conservación de Recursos, u otros organismos locales para determinar qué permisos del condado o ciudad se requieren para su proyecto. Asegúrese de planificar por adelantado al solicitar y adquirir permisos. En algunos casos, obtener los permisos necesarios puede demorar de dos a tres meses, o más. No solo es importante comprender qué regulaciones ambientales se aplican a su proyecto y saber qué permisos se requieren, sino que también debe revisar y comprender las implicaciones y consecuencias de no cumplir el proceso regulatorio y de obtención de permisos.

5. COSTOS DE LOS PERMISOS

Los requisitos de permisos para proyectos de construcción de caminos pueden ser costosos. En algunos casos,

TABLA 7. Lista de permisos, acuerdos o autorizaciones potenciales que se requieren típicamente para proyectos de construcción de caminos1[1]

Nombre del permiso, acuerdo o autorización	Organismo	Actividades del proyecto	Información de contacto
Federales			
Liberación de material dragado en aguas de EE.UU. (Sección 404 del permiso)	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. (USCOE, por su sigla en inglés)	Toda actividad de construcción realizada en aguas de EE.UU. (por ejemplo, aguas salobres, humedales y otros cuerpos de agua).	http://www.usace.army.mil/Missions/CivilWorks/RegulatoryProgramandPermits.aspx
Trabajo en aguas navegables (Sección 10 del permiso)	Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. (USCOE, por su sigla en inglés)	Toda actividad de construcción realizada en aguas navegables de EE.UU. (por ejemplo, aguas salobres, humedales y otros cuerpos de agua).	http://www.usace.army.mil/Missions/CivilWorks/RegulatoryProgramandPermits.aspx
Permiso General de Construcción (NPDES)	Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.	Toda actividad de construcción que requiere perturbación del suelo de más de 1 acre de tamaño.	http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/cgp.cfm
Ley Nacional de Política Ambiental (NEPA)	Variable, depende del organismo federal y el tipo de proyecto.	Según el proceso de la NEPA, los proyectos de construcciones federales deben desarrollar Evaluaciones Ambientales o Declaraciones de Impacto Ambiental para asegurar que los proyectos se diseñen, ubiquen y operen de maneras que reduzcan los impactos ambientales adversos y aumenten los efectos beneficiosos.	http://ceq.hss.doe.gov/nepa/citizens_guide_Dec07.pdf
Permiso de Toma Incidental/Sección 7 de la Ley Federal de Especies en Peligro de Extinción (Sección 10(a)(1)(B) del permiso)	Departamento de Peces y Vida silvestre de California de EE.UU. (USFWS, por su sigla en inglés). Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS, por su sigla en inglés)	Toda actividad de construcción no federal que pueda tener un impacto adverso sobre especies o hábitats críticos indicados federal o estatalmente. Observe que el Permiso de Toma Incidental §7 involucra consultas entre los organismos federales únicamente (por ejemplo, USACE, NRCS). Si no hay organismos federal involucrado, la autorización de toma ocurre por la §10 de la Ley de Especies en Peligro de Extinción.	http://www.fws.gov/endangered/permits/ http://www.nmfs.noaa.gov/pr/permits/incidental.htm
Estatales (California)			
Acuerdo de Alteración de Lagos o Lechos de Arroyos (“permiso” 1600)	Departamento de Peces y Vida silvestre	Esta notificación (no es técnicamente un permiso) se requiere para actividades de construcción que substancialmente desvían u obstruyen el flujo natural de todo río, arroyo, o lago; substancialmente cambien o usen material del lecho, canal o banco de cualquier río, arroyo o lago; o depositen o eliminen escombros, desechos u otro material que contenga pavimento destrozado, descascarado o tierra donde pueda pasar a cualquier río, arroyo o lago.	http://www.dfg.ca.gov/habcon/1600/
Permiso de Desarrollo Costero	Comisión Costera de California	Para todo proyecto de construcción dentro de la Zona costera. Nota: La emisión de un permiso de desarrollo costero a menudo se delega al condado en el cual ocurrirá la actividad a través de un Plan Costero Local.	http://www.coastal.ca.gov/cdp/cdp-forms.html

TABLA 7. Lista de permisos, acuerdos o autorizaciones potenciales que se requieren típicamente para proyectos de construcción de caminos1[1]

Nombre del permiso, acuerdo o autorización	Organismo	Actividades del proyecto	Información de contacto
Certificación de la Calidad del Agua (Requisitos de Descarga de Desechos (WDR)/ Sección 401 del permiso)	Junta de Control de Recursos Acuíferos del Estado de California y las Juntas Regionales de Control de la Calidad del Agua	Todo proyecto de construcción que pueda dar como resultado una liberación de contaminantes en aguas de Estados Unidos debe obtener una certificación estatal de la calidad del agua que afirme que la actividad cumple todos los estándares, limitaciones y restricciones de calidad del agua aplicables. Si un proyecto requiere un Permiso Sección 404 CWA del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, cae en otra jurisdicción federal y tiene el potencial de impactar Aguas del Estado, entonces se requiere un permiso Sección 401. Si un proyecto no requiere un permiso federal, pero involucra actividades de dragado o relleno que pueden dar como resultado una liberación en "Aguas del Estado", entonces se requiere un permiso de Requisitos de Liberación de Desechos. Proyectos pequeños de menos de 5 acres o que recorran menos de 500 pies de arroyo pueden ser elegibles para una exención categórica bajo el Título 14 (CCR), Div. 6, Cap. 3, Art. 19, Sec. 15333 o "Proyectos Pequeños de Restauración de Hábitat". Este permiso tiene limitaciones especiales y temporales, pero es adecuado para proyectos de caminos más pequeños y tiene costos más bajos.	http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/cwa401/
Ley de Calidad Ambiental de California (CEQA)	Variable, depende del organismo estatal o local y el tipo de proyecto.	Según el proceso de la CEQA, los proyectos de construcciones no federales deben desarrollar exenciones categóricas, listas de comprobación de estudio iniciales, declaraciones negativas mitigadas, o informes de impacto ambiental (EIR, por su sigla en inglés) para divulgar efectos adversos potenciales al público y encargados de tomar decisiones, así como también para asegurar que los proyectos se diseñen, ubiquen y operen de maneras que reduzcan los impactos ambientales adversos y aumenten los efectos beneficiosos.	http://ceres.ca.gov/ceqa/more/faq.html#enforce
Ley de Especies en Peligro de Extinción de California (CESA, por su sigla en inglés)	Departamento de Peces y Vida silvestre de California	Permiso de toma incidental para especies amenazadas y en peligro de extinción indicadas por el estado de California (por ejemplo, salmón coho, rana de patas rojas de California) como se describe en el Título 14 CCR, Secciones 783.4(a) y (b).	http://www.dfg.ca.gov/habcon/cesa/incidental/incid_perm_proced.html
THP, NTMP, y otras regulaciones de tala de madera comercial	Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California	Construcción o reconstrucción de caminos relacionad con la tala de madera comercial en California.	http://calfire.ca.gov/resource_mgt/resource_mgt_forestpractice.php
Ley de Rehabilitación y Minería Superficial de California (SMARA)	Departamento de Conservación de California	Para desarrollar bancos de roca o sitios de préstamos de más de un acre de tamaño, o que superen las 1000 yardas cúbicas de material de sobrecarga o material rocoso, se debe consultar al Departamento de Conservación sobre los requisitos de desarrollo y reclamación de la Ley de Rehabilitación y Minería Superficial de California (SMARA, por su sigla en inglés).	http://www.conservation.ca.gov/omr/lawsandregulations/Pages/SMARA.aspx

[1]Esta tabla solo incluye los permisos estatales requeridos en el Estado de California. Verifique con su gobierno estatal y federal para determinar qué permisos se requieren para su proyecto. También se pueden requerir otros organismos del condado/la ciudad. Consulte a su gobierno estatal para determinar qué permisos se requieren.

los costos de permisos pueden representar aproximadamente entre el 5 y 10% del presupuesto general del proyecto según el tamaño del mismo, los tipos de tratamientos implementados, los recursos naturales que se impactan y la cantidad de permisos requeridos. Los proyectos de construcción o restauración de caminos pueden ser subsidiados con dinero de becas distribuido y controlado por organismos federales o estatales. Algunos programas de becas. como el Programa de Becas para la Restauración de Pesquerías administrado por el Departamento de Peces y Vida silvestre de California, involucra un proceso de permisos programático donde todos los permisos y las autorizaciones son asegurados por el organismo que subsidia la beca a través de un proceso de permisos único. Esto reduce el tiempo y el costo de adquirir múltiples permisos de organismos federales, estatales y locales. De igual manera, los procesos de permiso coordinados por el condado pueden estar disponibles a través de su oficina de Conservación de Recursos local o a través de programas de asistencia a terratenientes. Contáctese con sus organismos locales estatales o del condado para determinar si su proyecto puede recibir asistencia financiera y para permisos de programas federales o estatales.

J. PROFESIONALES Y LICENCIAS DE PROFESIONALES

Según las regulaciones y leyes del estado, las obras de construcción y restauración de caminos que involucra movimiento de tierra puede requerir inspección, supervisión, diseño o certificación por parte de profesionales certificados. Además, los problemas geológicos, geomórficos, hidrológicos o de ingeniería complejos que ocurren en su propiedad pueden requerir consultas e inspección por parte de un profesional certificados. El tipo de profesionales certificados requeridos en su proyecto dependerá del tipo de problemas o condiciones sensibles que existan, o el tipo de trabajo de construcción o restauración que se propone. En algunos casos, los profesionales certificados pueden brindar aportes importantes para las decisiones en el campo cuando surgen condiciones imprevistas durante la fase de construcción de los proyectos de construcción y mejora del camino. La Tabla 8 muestra los profesionales certificados estándar que brindan asistencia y experiencia en proyectos de construcción y restauración de caminos en muchas jurisdicciones.

Por ejemplo, si el propietario de la tierra ha identificado un problema de deslizamiento de tierra que existe dentro del área del proyecto propuesto, entonces se debe utilizar un especialista geotécnico certificado, como por ejemplo un Geólogo Ingeniero Certificado, para analizar adicionalmente el problema, evaluar riesgos y dar recomendaciones para su control y corrección. También se puede requerir consultar a profesionales certificados y experimentados en situaciones que necesitan una evaluación más detallada de las condiciones del campo, opciones de prescripción y métodos de tratamiento para abordar procesos geológicos o geomórficos complejos, o en situaciones que requieren análisis altamente técnicos o utilizan métodos de tratamiento complejos.

Si se cortarán árboles durante las actividades de restauración y los troncos y la madera se venderán como subproductos del trabajo de restauración, el proyecto puede estar sujeto a las respectivas prácticas forestales del estado (por ejemplo, Ley y Reglas de Prácticas Forestales de California). Un silvicultor profesional registrado puede ayudar con la preparación de permisos requeridos para operaciones forestales comerciales. Si, por otra parte, la madera no se venderá sino que se utilizará en el proyecto (por ejemplo, para colocar en el canal del arroyo o para usar como protección del banco), puede que no sea necesario un plan de tala de madera. En cualquier caso, se recomienda consultar al departamento forestal estatal local (por ejemplo, CALFIRE).

TABLA 8. Lista de profesionales certificados que generalmente trabajan en proyectos de construcción de caminos

Tipo de profesional certificado	Profesional de California título certificado	Áreas típicas de experiencia y trabajo en el proyecto
Ingeniero civil, hidráulico o estructural	IC - Ingeniero civil	Diseñar de puentes, paso de peces, estructuras en el arroyo, taludes y diseño y construcción generales de caminos.
Ingeniero geotécnico	IG - Ingeniero geotécnico	Diseño de movimiento de tierra, cimientos de puentes y estructuras; evaluación de mecánicas de suelo y rocas en relación al desarrollo, como por ejemplo diseños de diques, canales y reservorios; análisis de riesgo geológico; su trabajo se superpone considerablemente con el del Geólogo Ingeniero, a continuación.
Geólogo ingeniero	GIC - Geólogo ingeniero certificado o registrado	Investigaciones geológicas; evaluación, diseño y solución de desperdicio de masa o inestabilidades de taludes; estructuras existentes y potenciales dentro de arroyos y control de pendiente; cruces de arroyos, y construcción y reconstrucción general de caminos. Supervisión y diseño general del proyecto de construcción
Geólogo	GP/GR - Geólogo profesional o Geólogo registrado	Evaluación y drenaje de subsuperficie de deslizamiento de tierra o inestabilidades del relleno; estructuras existentes y potenciales dentro de arroyos y diseño de cruce de arroyos; y construcción y mantenimiento general de caminos. Supervisión general del proyecto de construcción de caminos.
Silvicultor	SPR - Silvicultor profesional registrado	Planes de tala de madera y otros temas de gestión forestal; supervisión general de planificación, diseño y construcción del camino.
Arquitecto paisajista	APC - Arquitecto paisajista certificado	Construcción y diseño de mantenimiento y supervisión generales del camino (excluyendo evaluación de deslizamiento de tierra o inestabilidad de relleno).
Contratista paisajista	(CA-C27)—Licencia de contratista paisajista—SL	Construye, mantiene, repara, o instala o subcontrata el desarrollo de sistemas de paisaje e instalaciones para jardines públicos y privados y otras áreas que están diseñadas para mejorar estética, arquitectónica, horticultural o funcionalmente mejorar la tierra dentro o alrededor de una estructura o tracto o lote de tierra.
Contratista ingeniero general	(CA-A) Licencia de contratista ingeniero general - CG	Realiza nivelado de la tierra y proyectos de movimiento de tierra, excavación, nivelación, formación de cunetas, pavimentado y recubrimiento y obras de cemento y concreto en relación a carreteras, calles y caminos, así como también otros tipos de obras fijas que requieren habilidades y conocimientos especializados de ingeniería.
Contratista de movimiento de tierra y pavimentado	(CA-C12) Licencia de contratista de movimiento de tierra y pavimentado	Cava, mueve, y coloca material de manera tal que un corte, relleno, una excavación, pendiente, cuneta, o túnel se pueda ejecutar.
Biólogo, arqueólogo, hidrólogo	Certificación específica según el área de experiencia	Investigaciones pertinentes a la presencia de especies de animales y plantas en peligro de extinción; o hábitats sensibles (por ejemplo, humedales); recursos culturales; o hidrología de agua superficial, respectivamente.

2 PLANIFICACIÓN

A. INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN DEL CAMINO

La buena planificación puede minimizar el impacto de una camino sobre el medioambiente y brindar un acceso de bajo mantenimiento y bajo costo a los propietarios de tierras. Es mucho mejor sentarse y planificar seriamente el camino y la red del camino antes que tomar decisiones irreversibles que cuestan dinero adicional, desperdician tiempo luego y dañan el medioambiente. La mala planificación y ubicación del camino a menudo se relacionan con las causas más comunes de falla del camino y altos costos de mantenimiento. La "planificación" del camino no debe ser el ámbito de operadores de equipos pesados que hacen un sendero de un punto al otro. En cambio, es un proceso sistemático que requiere la consideración de una cantidad de variables y es parte de una estrategia de gestión mayor que incluye transporte y planificación del uso de la tierra, logística, economía y protección ambiental.

Se deben seguir dos preceptos básicos de la planificación de caminos. **Primero, minimizar la cantidad de caminos construidos en una cuenca a través de la planificación de transporte en la extensión de la cuenca.** Si no es dueño de toda la cuenca, considere reunirse con otros propietarios para ver cómo la planificación de la red de caminos puede beneficiar a todos ahorrando dinero y provocando el menor impacto. La mayoría de los propietarios de tierras quieren provocar la menor perturbación y minimizar los costos de construcción y mantenimiento subsiguiente. Desarrollar un plan de camino coordinado y reducir la construcción de caminos en una cuenca conlleva un gran beneficio económico y ambiental. Los caminos se deben minimizar porque quitan tierra de la producción y a menudo causan erosión y degradación de la calidad del agua.

En segundo lugar, siempre que sea posible se deben usar los caminos existentes, a menos que usar dichos caminos provoque problemas más graves de erosión y calidad del agua o ambientales que construir un trazado nuevo en otro lugar. Las alternativas a caminos en áreas ambientales delicadas, como zonas junto a los arroyos y ribereñas, se deben identificar siempre que sea posible si su reapertura o uso provocaría impactos inevitables, adversos. Los caminos existentes requieren cierta reconstrucción o mejora, pero usarlos es generalmente mucho menos costosos que una construcción nueva. A veces, debido a los límites

que dividen propiedades, los caminos se han construido juntos en propiedades adyacentes. El uso cooperativo de caminos existentes puede prevenir esta clase de construcción duplicada e innecesaria en el futuro.

Trate bien a sus vecinos. Se deben hacer esfuerzos para desarrollar servidumbres o acuerdos que permitan el uso mutuo de caminos en o cerca de límites de propiedades, ahorrando tiempo y gastos. Los derechos de vía escritos y registrados benefician mutuamente a todas las partes involucradas. Dichos acuerdos deben definir la ubicación del camino, las rutas de ingreso y egreso, el ancho del camino, los niveles de uso, las responsabilidades de mantenimiento, consideraciones monetarias, y todo otro punto pertinente. Puede que se necesite una medición registrada adecuadamente para identificar claramente los límites. Se sugiere consultar a un abogado local experimentado para asegurarse de que se aborden todos los requisitos legales y de responsabilidad.

B. NECESIDAD DE CONTAR CON UN CAMINO

Dos de los pasos más importantes en la planificación de un camino son 1) determinar si en realidad se necesita o no el camino y 2) decidir qué norma de camino se necesita. Hágase estas preguntas:

- **¿Para qué se usará el camino?** ¿Se usará para acceso residencial, acceso para pastura o agricultura, transporte de madera, control de incendios y/o para recreación? ¿Qué clase y tamaño de vehículos, equipos de aserradero o vehículos comerciales se usarán?

- **¿Cuán a menudo y cuándo se usará el camino?** ¿Es para un uso único (por ejemplo, remoción de madera o minería) o uso diario (por ejemplo, acceso residencial)? ¿Cuán rápido espera que anden los vehículos? ¿Se usará únicamente durante los meses estivales secos o deberá usarlo durante condiciones de clima húmedo (por ejemplo, debe ser un camino para todos los climas)?

- **¿Hay un camino existente, ya sea en su propiedad o en una propiedad adyacente que se podría usar o reconstruir?** Si el camino se está construyendo para remoción de madera o extracción de otros recursos, ¿Se puede seleccionar un método alternativo de tala, depósito o extracción que acortaría el largo del camino nuevo o eliminaría la necesidad de un nuevo camino totalmente?

Una revisión sólida y detenida de las necesidades actuales y futuras de este camino asegurará que sea necesario y que sea adecuado para el tipo y nivel de tránsito esperados. Es frustrante, y potencialmente costoso, construir un camino que no se adapte a todos los usos necesarios. Al mismo tiempo se deben construir caminos forestales y rurales a la norma mínima necesaria para que se adapten a todos los usos y equipos razonablemente esperados.

C. TAMAÑO Y NORMAS DEL CAMINO

Luego de decidir por qué se necesita un camino, puede determinar el tamaño o la norma mínima que es adecuada para cumplir sus requisites (Figura 9). La Tabla 9 brinda normas mínimas sugeridas para caminos de un solo carril, superficie de grava compactada y superficie nativa con tránsito de menos de 100 vehículos por día.

Las curvas horizontales ocurren cuando el camino da la vuelta a una loma, un curso de agua u otro obstáculo, y las curvas verticales son aquellas en las que el camino pasa sobre la cresta de una colina. Ambas clases de curvas requieren un largo de visibilidad mínimo a una velocidad de marcha dada para asegurar distancias de detención seguras para camiones y otros vehículos.

También es importante brindar carriles de sobrepaso y apartaderos de paso en caminos angostos de un solo carril, y se necesitan rotondas al final de todos los caminos sin salida. Generalmente los apartaderos de paso se deben ubicar para poder ver de uno al siguiente, y para que el tránsito de frente pueda pasar con seguridad sin que los vehículos tengan que retroceder jamás.

En algunas situaciones, los caminos largos y rectos pueden alentar velocidades excesivas. Para desalentar velocidades de marcha inseguras, las secciones

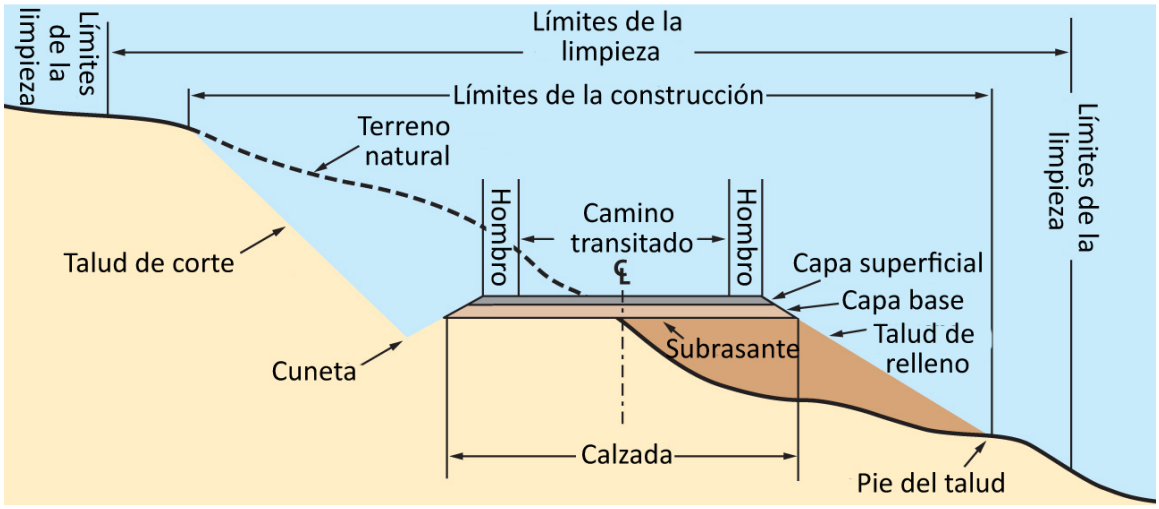


FIGURA 9.
Terminología de elementos del camino (Steinfeld y otros, 2007).

rectas de camino se deben limitar a 400 pies o menos. El camino se debe contornear al paisaje para minimizar cortes y rellenos. Las hondonadas rodantes o badenes, utilizados para el drenaje de la superficie del camino, también ayudan a mantener las velocidades de marcha a un nivel seguro.

Otras condiciones también pueden dictar el tamaño del camino Por ejemplo, en terreno erosionable, inestable o empinado, a menudo se prefieren pequeños caminos angostos debido a su huella más pequeña, sus requisitos de excavación reducidos, y a su menor impacto ambiental. Los caminos secundarios y otros caminos de poco tránsito a menudo son más angostos y de normas menores que los caminos troncales que atienden grandes áreas o sirven como enlaces de conexión importantes en la red de caminos.

Si son favorables todas las demás condiciones, las consideraciones financieras y los usos planificados pueden desempeñar papeles importantes al determinar la norma y el tamaño del camino. Los costos son directamente proporcionales a la norma del camino, y los caminos de estándar elevado generalmente se construyen donde los retornos económicos de la gestión de la tierra (como la explotación forestal, la minería o el desarrollo residencial) pueden pagar las mejoras agregadas, o donde los usos planificados requieren caminos de normas elevadas (por ejemplo, para el acceso en clima húmedo a propiedades residenciales).

TABLA 9. Normas mínimas típicas para caminos rurales[1]

Norma de diseño	Colectora o camino principal	Camino de acceso rural o secundario
Velocidad de diseño (mph)	40–55	20–30
Subrasante del camino (pies)	16–20 pies de ancho (opcional cuneta de 2-3 pies)	12–16 pies de ancho (opcional cuneta de 2 pies)
Ancho de la superficie de tránsito (pies)	12–16 pies	12 pies
Pendiente del camino (%)	12% máx.	15% máx.
Radio de la curva (pies)	80 pies min.	50 pies min.
Forma del camino	Peralte hacia afuera, entre laderas, corona (5%)	Peralte hacia afuera, entre laderas, corona (5%)
Tipos de drenaje del camino	Cuneta, alcantarillas de alivio de cunetas, hondonada rodante	Cuneta, alcantarillas de alivio de cunetas, hondonadas rodantes, barreras de agua
Material de la superficie del camino	Grava, plástico sellado, pavimento	De materiales del lugar o de grava

[1]basado en Keller y Sherar (2003) y Departamento Forestal de Oregon (2000)

FIGURA 10.
Este camino permanente bien construido está diseñado para el uso durante todo el año. Está contorneado a la topografía natural, no tiene cuneta interna, tiene un leve peralte hacia afuera sin berma externa, se aplana ocasionalmente para brindar drenaje continuo de la superficie y se recubre con rocas para el tránsito durante el clima húmedo. Este diseño de auto mantenimiento brinda años de uso ininterrumpido.

La clasificación del camino también afecta indirectamente a la norma del camino.[1] Los caminos forestales y rurales a menudo se dividen en clases llamadas permanentes, estacionales y temporales, generalmente en orden decreciente de norma y tamaño del camino. **Los caminos permanentes** forman el centro de la red de caminos de todas las temporadas, y se recubren para permitir usos invernales, como por ejemplo transporte de troncos y acceso residencial durante todo el año (Figura 10). Los caminos permanentes tienen cruces de cursos de agua diseñados para atender un flujo de crecida de al menos 100 años, inclusive escombros y cargas de sedimento, en todos los arroyos. **Los caminos estacionales** son parte de la red de caminos permanentes con estructuras de drenaje (o vados) diseñados para pasar el flujo de 100 años, pero pueden no ser de norma suficiente para uso pesado, en clima húmedo o transporte (Figura 11). Tanto los caminos permanentes como los estacionales requieren inspección y mantenimiento regular, estacional y en el período de tormentas.

Los caminos temporales son caminos de normas menores con una superficie adecuada para el uso durante los períodos secos y estructuras de drenaje adecuadas para flujos durante el período de uso anticipado, pero se quitan antes del comienzo del período de clima húmedo (Figura 12).[2]

Al ser abandonados o cerrados, se quitan todas las estructuras de drenaje y rellenos de cruces de arroyos, y la superficie del camino se drena permanentemente utilizando una combinación de peralte hacia afuera, vados ondulantes, camellones y cunetas.

Para rutas que combinan el uso público y el uso comercial (por ejemplo, silvicultura o minería), las normas y el tamaño del camino también pueden estar dictados por las necesidades de equipamiento de minería, tala y almacenamiento, así como también la temporada de uso. Por ejemplo, los caminos federales de EE.UU. están clasificados para el uso combinado de silvicultura y recreación. Los caminos están clasificados por el tipo de uso y niveles de tránsito en cinco clases de mantenimiento. Otros tipos de uso de tierra tienen sus propios requisitos especiales o únicos de normas. Características como pavimentación o recubrimiento de rocas, carriles dobles y estructuras de drenaje de mayor

1 Ver el Apéndice C que menciona las Reglas de Prácticas Forestales de California que especifican estos requisitos.

2 Ver el Apéndice C que menciona las Reglas de Prácticas Forestales de California que especifican estos requisitos. Los caminos temporales en planes de explotación de madera pueden seguir en vigencia durante la duración del plan aprobado (varios años) antes de que se eliminen solo si sus estructuras de drenaje están diseñadas para soportar el evento de flujo de diseño de 100 años y el recubrimiento del camino y el drenaje de la superficie están diseñados para el uso esperado durante ese período. Es decir, debe cumplir las normas de al menos un camino estacional.

FIGURA 11. *Los caminos estacionales están construidos con las mismas especificaciones que los caminos permanentes, pero no están recubiertos para el tránsito en todos los climas. Típicamente brindan acceso a áreas de cuenca durante el período de verano o seco. En superficies del camino potencialmente erosionables se pueden colocar camellones antes de cada invierno (no se muestran), o peraltes hacia afuera con vados ondulantes para brindar un drenaje rápido de la escorrentía de la superficie.*

FIGURA 12. *Los caminos temporales a menudo son rutas secundarias construidas cerca de caminos permanentes o estacionales que brindan acceso de corto plazo a áreas de cuencas. Generalmente tiene peralte hacia afuera, no están recubiertos y se usan solamente durante condiciones de suelo seco. Todos los cruces de arroyos deben excavarse y eliminarse físicamente al completar las operaciones o antes de la llegada de la temporada de clima húmedo (invierno) (15 de octubre para caminos forestales no federales de California). En áreas forestadas, si la calzada está quebrada o desgarrada, se pueden plantar árboles para devolver la productividad al sitio.*

tamaño pueden aumentar considerablemente los costos de construcción. Si no se necesitan estas características, dado el uso planeado del camino y los requisitos de protección ambiental, no se deben incluir en el proyecto.

D. DISEÑO DEL SISTEMA DE CAMINOS

En la planificación de caminos forestales y rurales, los conceptos de "menos es mejor" y "evitar lo peor" generalmente describen el enfoque más económico y ambientalmente sólido a la planificación de la construcción del camino y el diseño del sistema de caminos. Algunos de estos conceptos importantes se mencionan a continuación:

1. Minimice las millas de camino totales en su cuenca;
2. Minimice la construcción de caminos nuevos utilizando caminos existentes que sean estables y estén en buenas condiciones;
3. Minimice la construcción de caminos permanentes y estacionales utilizando estas normas solo cuando sea absolutamente necesario; utilice caminos temporales para minimizar el mantenimiento de largo plazo y los costos de reconstrucción y reducir el daño ambiental;
4. Minimice estrictamente la cantidad de cruces de cursos de agua construyendo caminos cerca de lomas;
5. Minimice los cortes, rellenos y despejes de vegetación contorneando caminos con el paisaje; especialmente evitando terreno empinado;
6. Minimice las obras de construcción del camino cerca de arroyos y zonas ribereñas, y sobre áreas inestables, cañadas internas y taludes empinados;
7. Minimice el ancho del camino;
8. Minimice el gradiente del camino;
9. Minimice la concentración de escorrentía sobre y desde el nuevo camino; y
10. Evite áreas problemáticas y obstáculos serios cuando sea posible.

El diseño del sistema de caminos se ve influenciado por muchos factores, que incluyen topografía, límites de propiedades, obstáculos (afloramientos de roca, áreas inestables, humedales, etc.), y actividades de uso de tierra propuestas. Los controles sobre la ubicación de un camino incluyen características naturales y elementos artificiales, y se resumen en la Tabla 10.

1. TÉCNICAS DE TALA Y PROCESAMIENTO

Para propietarios de terrenos madereros, los sistemas de caminos a menudo se planifican alrededor del método preferido de tala y procesamiento de madera para el terreno, y rutas de transporte para los troncos. El derrape de tractor colina abajo, una técnica de procesamiento común en el pasado, requería que los caminos se construyeran en posiciones de ladera más baja donde las pendientes pueden ser más empinadas, los suelos menos estables y los arroyos más grandes y más incididos en el paisaje, o cerca de llanuras de inundación y zonas ribereñas donde los valores acuáticos son más elevados. Estas condiciones pueden conducir a mayor erosión y pérdida de suelo por la construcción del camino, mayor costos de mantenimiento a largo plazo, y mayores impactos ambientales. En la silvicultura, el procesamiento con cables permite que la mayoría de los caminos se construyan cerca de lomas y en áreas de laderas superiores donde los impactos ambientales generalmente se reducen considerablemente. La planificación integrada de técnicas modernas de procesamiento y la ubicación y el diseño del camino logran el sistema de camino más económica y ambientalmente sólido para ese uso de tierra.

2. CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO VERSUS RECONSTRUCCIÓN (MEJORA) DEL CAMINO

En los últimos 70 años, se han construido decenas de miles de caminos de normas bajas en tierras forestales y rurales privadas en California y en todo el oeste de Estados Unidos. La mayoría de estos caminos se construyeron para atender la tala de madera, la ganadería

TABLA 10. Algunos controles artificiales afectan la ubicación del camino[1]

Control	Comentario
Legal	Los límites de propiedades limitan la ubicación del camino. Hable con propietarios adyacentes y establezca acuerdos escritos de derecho de vía para compartir caminos y reducir la construcción del camino.
Ubicación específica	Los puntos de comienzo y final de un camino a menudo están fijos. Pueden ser ciertas características geográficas (por ejemplo, la cima de una loma) o una intersección de caminos deseada. Estos representan controles importantes.
Seguridad	Cada clase de camino y nivel de uso tienen requisitos específicos de seguridad. Se debe aplicar el sentido común para fijar la velocidad, las pendientes, el radio de las curvas, la distancia de vista y los apartaderos de paso. Las regulaciones pueden dictar específicamente ciertos parámetros relacionados con la seguridad del camino.
Control de contaminación	Los caminos deben evitar áreas problemáticas. Deje bastante lugar para atrapar el sedimento en una zona de amortiguación antes de que llegue a un arroyo. No deje ningún punto de descarga directa donde la escorrentía fluya directamente a un arroyo. Evite llanuras de inundación, deslizamientos de tierra, suelos inestables o erosionables, humedales y cursos de agua, así como también pendientes de más del 40% cuando sea posible.
Elementos de diseño	¡Los límites físicos para el radio de las curvas, la pendiente del camino, la distancia de detención, el largo del terraplén y la separación de los arroyos los fija usted! Diseñe a fin de reducir los costos de mantenimiento y el potencial de contaminación. El ancho del camino puede estar dictado por los requisitos de vehículos de emergencia o acceso de equipos.
Peces migratorios	Observe y mantenga amortiguadores sustanciales. Sepa qué especies usan sus arroyos, sus requisitos de hábitat, los períodos susceptibles de su ciclo de vida, y sus límites de tolerancia ambiental. Puede que se necesiten permisos de organismos regulatorios (por ejemplo, Departamento de Peces y Vida silvestre, Servicio Nacional de Pesquerías Marinas, etc.)
Consiga los permisos de caminos	Emitidos por el Departamento de Transporte del estado o el condado jurisdiccional para caminos que se conectan a carreteras públicas. Las ubicaciones de las intersecciones pueden estar restringidas.

[1] modificado de USDA-SCS/USFS (1981)

y el desarrollo rural. Algunos de estos caminos ahora están abandonados y cubiertos por vegetación. Algunos se construyeron en lugares que no hoy serían aceptables para la construcción de un camino nuevo. Cuando estas áreas se vuelven a considerar para la explotación forestal adicional y/o el desarrollo de tierra rural, se deben tomar decisiones con respecto a si es mejor o no usar el sistema de caminos existente mal mantenido o abandonado, o construir una nueva red de caminos en un lugar mejor utilizando técnicas y normas avanzadas (Figura 13).

La respuesta yace en considerar los impactos económico y ambiental. En muchos casos, la reconstrucción se puede ver como una oportunidad de mejorar rentablemente las condiciones de la cuenca y reducir la amenaza de la erosión a largo plazo, y al mismo tiempo dar la oportunidad de acceder económicamente a un área explotada o gestionada anteriormente.

Los caminos se pueden reconstruir para utilizarlos, estabilizarlos o cerrarlos permanentemente. Por ejemplo, en un reingreso forestal final en un área a menudo es posible abrir temporalmente un camino antiguo para actividades de silvicultura, y luego cerrarlo sistemática y permanentemente al completar las operaciones, así eliminando todas las amenazas de erosión. Planificar proactivamente para esta opción, donde se pueda utilizar, es ventajoso tanto económica como ambientalmente. De igual manera, un sistema de caminos antiguo, abandonado, se puede ubicar en un sitio ambientalmente adecuado, pero que ahora está cubierto de vegetación. En este caso, la reconstrucción puede costar considerablemente menos que la nueva construcción en un lugar distinto y dar como resultado poca erosión. Excepto en los peores casos, donde reabrir un camino podría causar un riesgo de erosión excesivo, los caminos antiguos que no son necesarios y presentan amenazas ambientales pueden reabrirse temporalmente sin importar las normas de caminos (por ejemplo, abierto por primera vez) para poder ser clausurados permanentemente.

Cuando se planea la reconstrucción de un camino, y para que sea parte de la red de caminos permanentes y estacionales, es mejor anticipar mejorar

FIGURA 13.
Debido a nuestra mayor conciencia de los impactos potenciales a los arroyos en una cuenca, algunos caminos que se construyeron en el pasado no se construirían en los mismos lugares hoy. En este ejemplo, un camino lateral a volteo construido junto a un arroyo grande que tiene peces y las alcantarillas de alivio de cunetas aún descargan escorrentía lodosa al canal durante las tormentas (debajo de la persona en la foto).

todas las estructuras de drenaje conforme a las normas de diseño actuales (flujo máximo de 100 años, incluso escombros y cargas de sedimento) y rediseñar el drenaje de la superficie del camino conforme a normas más modernas (por ejemplo, peralte hacia afuera y vados ondulantes). Las regulaciones pueden dictar algunas de las normas de reconstrucción que ocurren. Por ejemplo, en la Ley de Práctica Forestal y Reglas de California se requieren la reubicación y la mejora de todos los cruces de arroyos para atender el flujo máximo de 100 años, incluso escombros y cargas de sedimento, en cruces de cursos de agua que necesitan reconstrucción.[3]

3. SELECCIONAR SUELO FAVORABLE PARA CAMINOS

Al diseñar un nuevo sistema de caminos en una cuenca, se debe identificar y utilizar el suelo más favorable donde sea posible. El suelo favorable consiste en lomas, collados, bancos naturales y pendientes naturales más planas. Se necesita menos excavación si el camino se construye en áreas de gradiente comparativamente bajo y utiliza bancos naturales. Generalmente, una pendiente leve puede mejorar el drenaje del camino, pero las pendientes inclinadas presentan una cantidad de problemas. Se prefieren suelos bien drenados para los caminos a fin de mantener una superficie de tránsito seca. El terreno a evitar incluye áreas de roca dura, pendientes de cañones internos, pendientes empinados, zonas de protección de cursos de agua y lagos, suelos altamente erosionables, planicies de inundación, áreas propensas a inundación, áreas ribereñas, áreas húmedas y pantanos, áreas de suelos inestables o que contengan amianto naturalmente, y hábitat de fauna delicada (Figura 14).

Si se requieren cruces de arroyo, debe identificar las mejores ubicaciones para los cruces primero y luego planificar para llevar el camino a esos lugares. Los cruces de arroyos idealmente se colocan donde el canal es recto y angosto, los bancos son bajos y el suelo es firme y rocoso. Los acercamientos al cruce deben ser lo más bajos o planos posibles y fuera de la planicie de crecida de 100 años, y los bancos deben permitir el cruce directamente perpendicular al canal.

4. TRAZADO DEL CAMINO A TRAVÉS DE TERRENO DIFÍCIL

Evitar los obstáculos es casi siempre la mejor solución de la construcción de caminos en terreno difícil.

3 Ver el Apéndice C que menciona las Reglas de Prácticas Forestales de California que especifican este requisito.

Opción inaceptable: No se deben construir o reconstruir caminos cerca de canales de arroyos en los que se requieren múltiples cruces. Es posible que muchos caminos antiguos se hayan construido en estos lugares, son costosos de mantener y pueden afectar mucho al arroyo. Siempre que sea posible, estos caminos deben ser clasurados y trasladados a ubicaciones más favorables.

Opción menos recomendable: Se deben evitar los caminos construidos en taludes de cañón empinados o internos siempre que sea posible. De lo contrario, podrían requerir técnicas de construcción especiales, como disposición final de balcón completo. Los caminos que necesiten mucho mantenimiento y pendientes en estas áreas pueden ser inestables y propensos a fallas que impacten en los arroyos.

Opción preferida: Los caminos deben estar alineados para sacar provecho de los bancos, las pendientes de gradiente baja, las áreas de ladera superior y las lomas. En general, los caminos en estos lugares están más alejados de los arroyos, tienen menos cruces de arroyos, son menos costosos de construir, más fáciles de drenar y requieren menos mantenimiento.

FIGURA 14.
Ubicación del camino (Modificado de: (Adams y Storm, 2011).

De hecho, **reconocer y evitar las pendientes inestables es sin duda el método más efectivo y rentable de administrar terreno propenso aludes**. Se deben tomar medidas similares de evasión para suelos altamente erosionables, pendientes empinadas, cursos de agua, humedales y otros obstáculos que es probable que amenacen la integridad del camino o degraden las condiciones ambientales. De ser posible, se deben evitar todos los obstáculos serios a la construcción de caminos a través del retrazado completo o cambiando localmente la pendiente y eludiendo puntos problemáticos a medida que se encuentran. **Es mucho mejor planificar una ruta que contenga pendientes fluctuantes que construir un camino recto que ignore el paisaje que atraviesa.** Los costos de construcción y mantenimiento se minimizarán al apegarse al terreno más favorable.

En orden de prioridad, el planificador y diseñador del camino debe considerar:

1. **Evitar** pendientes o suelos inestables.

2. **Prevenir** la desestabilización utilizando técnicas de construcción de caminos especiales, cuando no se pueden evitar pendientes potencialmente inestables (consulte a un geólogo calificado).

3. **Estabilizar** pendientes que muestran signos de inestabilidad utilizando técnicas especiales desarrollados por un ingeniero certificado o un geólogo ingeniero.

4. **Proteger** recursos cuesta abajo cuando un área inestable no se puede evitar, prevenir o estabilizar física o económicamente.

Los requisitos federales y estatales para la planificación, la ubicación, la construcción y el mantenimiento de los caminos forestales en EE.UU. a menudo incluyen la protección de recursos a través de la aplicación de las mejores prácticas de gestión (MPG). Los requisitos más comunes incluyen los siguientes:

- Evitar rellenar humedales y bajíos si existen alternativas practicables—especialmente en áreas de reproducción y nidificación de aves migratorias y áreas de desove de peces.
- Limitar la cantidad, el largo y el ancho de caminos forestales y caminos de maquinaria al mínimo necesario para lograr los objetivos de gestión forestal y rural, coherente con las condiciones topográficas y climáticas.
- Ubicar los caminos fuera de las zonas de gestión ribereña (ZGR), excepto en cruces de arroyos.
- Colocar puentes o alcantarillas en el relleno del camino para evitar la constricción de los flujos de crecida esperados - otros métodos de diseño también pueden ser adecuados.
- Estabilizar el relleno para prevenir erosión y sedimentación - antes, durante y luego de la construcción del camino.
- Minimizar el uso de equipos en humedales fuera de áreas de relleno.
- Minimizar la perturbación de vegetación de humedales y acuática durante el diseño, la construcción y el mantenimiento de caminos.
- Diseñar, construir, y mantener cruces de humedales para evitar perturbar el movimiento de peces y otras especies acuáticas.
- Usar relleno de buena calidad de fuentes de tierras altas cuando sea posible.
- Colocar el relleno para no afectar ninguna especie amenazada o en peligro de extinción y para prevenir toda modificación adversa o destrucción de hábitats críticos para estas especies.
- No colocar relleno cerca de tomas de agua públicas o privadas o donde se pueda erosionar y transportar a un arroyo.
- No colocar relleno en áreas de producción concentrada de mariscos.
- No colocar relleno en Sistemas nacionales de ríos naturales y panorámicos, zonas ribereñas o canales de arroyos.
- Utilizar relleno limpio, estable y que no sea altamente erosionable.
- Quitar todo el relleno temporal y restaurar las áreas perturbadas a su elevación y pendiente originales.

SI es imposible mover el trazado para evitar obstáculos serios, es probable que los costos de construcción y los requisitos de mantenimiento aumenten considerablemente a medida que se utilicen técnicas de construcción especiales (como la disposición final de material de relleno) para construir un balcón del camino estable y minimizar la erosión posterior a la construcción.

E. UBICACIÓN PRELIMINAR DEL CAMINO

El camino debe ser trazado y ubicado por una persona con cierto conocimiento del área a ser atendida por el camino y del terreno donde se construirá el camino. Primero se debe bosquejar una ubicación tentativa del camino en fotografías aéreas y mapas topográficos. En esta etapa, se deben desarrollar y trazar varias rutas alternativas para investigarlas durante un reconocimiento posterior del campo. Estas ubicaciones alternativas se deben adaptar visualmente a la topografía (haciendo un paralelo aproximado de las líneas de contorno) lo más posible para minimizar el recorte y el relleno. Las fotos aéreas y las imágenes satelitales (por ejemplo, Google Earth) son útiles para identificar características naturales en el paisaje que no aparecen en el mapa topográfico.

En la Figura 15 se muestra un procedimiento para marcar un trazado en mapas topográficos. Utilizando el contorno conocido impreso en el mapa, junto a un conjunto de divisores de medición, fácilmente puede trazar un curso tentativo para el camino y mantenerse dentro de los límites de pendiente permitidos. Al combinar este método con observaciones de fotografías aéreas, se pueden ubicar algunos de los obstáculos y puntos de control reconocibles, y se puede identificar y trazar una ruta con una pendiente promedio adecuada en el mapa topográfico.

La Tabla 11 muestra los cómputos para el ejemplo de la Figura 15, inclusive tres trazados posibles para un camino a construirse desde el punto "1" al punto "4"). Se puede seguir una metodología simple de 6 pasos para llegar a estos "trazados en papel".

1. Marque los puntos de comienzo (1) y final (4) del camino.
2. Marque otros puntos de control conocidos a lo largo de la ruta (los puntos de control son características naturales que dictan o limitan su elección de ubicación del camino, como un cruce de arroyo, lago, deslizamiento de tierra, afloramiento de rocas o collado en una loma).
3. Compute la diferencia de elevación entre cada punto de control.
4. Compute la pendiente promedio estimada de cada segmento del camino entre puntos de control (dividir la diferencia en elevación entre dos puntos por el largo del camino entre ellos da como resultado la pendiente sostenida o general del segmento del camino).
5. En un divisor, fije la distancia de la escala igual al intervalo de contorno (C.I., por su sigla en inglés) dividida por la pendiente porcentual decimal (distancia = C.I./pendiente). Luego simplemente marque los trazados del camino primarios y alternativos usando los divisores como los fijó, y muévase de una línea de contorno a la siguiente.

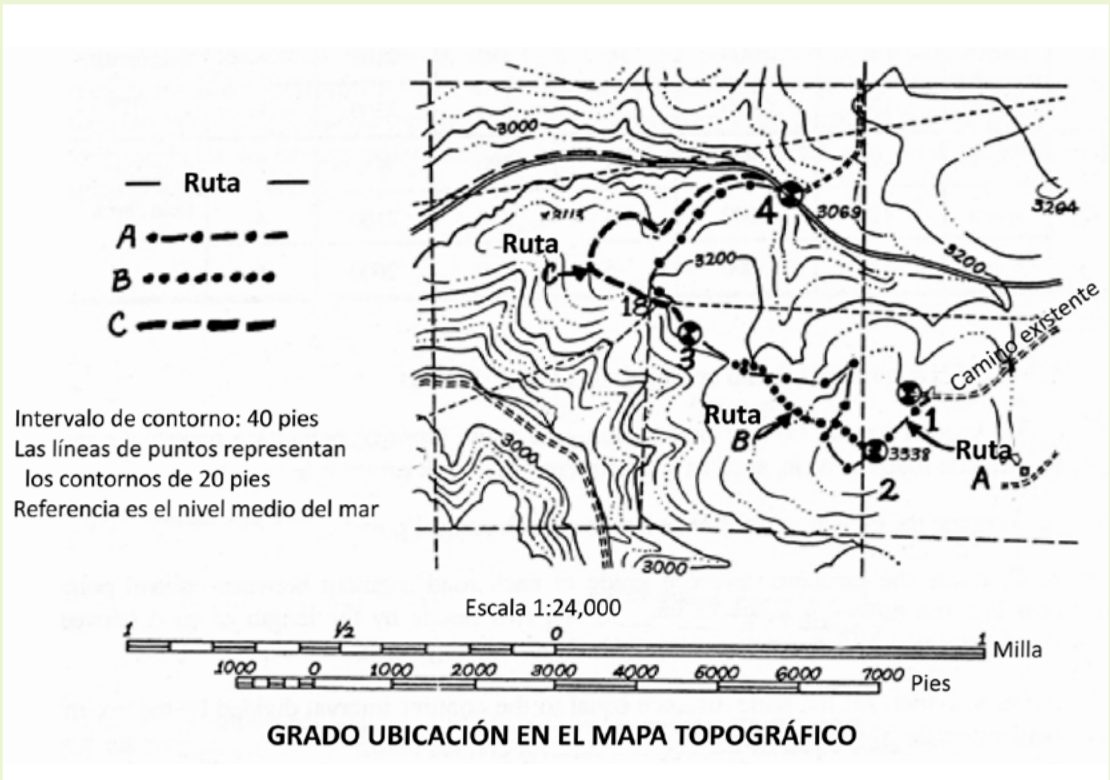


FIGURA 15.
En este mapa topográfico, se han identificado tres rutas de camino preliminares en una ladera. Identificar posibles rutas alternativas en mapas y fotos puede ahorrar tiempo y dinero cuando se realiza el siguiente paso de reconocimiento de campo. Siempre se deben identificar varias rutas alternativas en el proceso de planificación ya que las condiciones del campo pueden requerir un ajuste menor o mayor de la ruta (USDA-SCS 1981).

TABLA 11. Controle las computaciones de sección y pendiente para las tres rutas posibles del camino (consulte la Figura 12)[1]

Ruta	Extensión del camino	Diferencia de elevación entre puntos de control (pies)	Distancia de camino estimada entre puntos de control (pies)	Pendiente promedio estimada del camino (%)	Fijación de distancia de calibrador	Distancia medida del camino (pies)	Nueva pendiente estimada del camino (%)	Comentario
A	1 a 2	+58	800	+7	290	800	7	La ruta es demasiado larga; vuelva a intentarlo
	2 a 3	-128	3.200	-4	500	3.200	4	
	3 a 4	-150	2.400	-6	330	2.200	7	
B	1 a 2	+58	800	+7	290	800	7	La ruta está bien; verifique el campo
	2 a 3	-128	2.000	-6	330	2.100	6	
	3 a 4	-150	2.400	-6	330	2.200	7	
C	1 a 2	+58	800	+7	290	800	7	La ruta está bien; verifique el campo
	2 a 3	-128	2.000	-6	330	2.100	6	
	3 a 4	-150	3.000	-6	400	2.600	6	

[1]USDA-SCS/USFS (1981)

Por ejemplo:

- Intervalo de contorno = 40 pies
- Pendiente máxima deseada: = 8% (o 0,08)
- Computación: 40/0,08 = 500 pies

En este ejemplo, debe recorrer 500 pies antes de subir 40 pies para mantener la pendiente en 8%. Los divisores se deben fijar a un espaciado igual a 500 pies en el mapa. Luego los divisores se pueden usar para marcar dónde el camino propuesto cruzará cada línea de contorno en el mapa (a intervalos de 500 pies).

6. Si algún segmento del camino no llega al punto de control identificado o puntos finales, o si la pendiente requerida entre los puntos sería demasiado empinada, entonces los segmentos individuales o todo el camino se debe volver a trazar hasta que cada segmente alternativo y pendiente sean satisfactorios.

Con cada trazado alternativo disponible, al menos en papel, se pueden hacer otras pruebas antes ir al campo y explorar las rutas. Puede superponer las rutas con los mapas de suelo para identificar sitios potencialmente inestables o erosionables. Se pueden ver fotos aéreas e imágenes satelitales para identificar posibles deslizamientos de tierra o afloramientos rocosos que estén en el paso de una o más rutas. Los límites de propiedad se pueden identificar y, de ser necesario, se puede obtener permiso para explorar trazados posibles que están en propiedad adyacente.

Para la mayoría de los caminos, medio día en la oficina puede ahorrar mucho tiempo perdido en el campo tratando de identificar posibles trazados para el camino. Recuerde, los mapas topográficos no siempre son precisos en los pequeños detalles del paisaje, así que ningún trazado es satisfactorio hasta que se realice el reconocimiento del campo. La mayoría de los balcones pequeños, arroyos y áreas inestables no aparecen en la hoja común topográfica de escala 1:24.000. Si bien la dirección general del trazado, desde el punto de inicio hasta el punto final se pueden realizar antes de tiempo y luego usarse para guiar el trabajo de campo subsiguiente, el reconocimiento y la evaluación del campo son el siguiente paso crítico para confirmar la ruta del mapa e identificar todas las características marcadas y no marcadas a lo largo del trazado posible.

3 RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y UBICACIÓN

A. EXPLORACIÓN DEL TRAZADO

Ahora es el momento de recorrer las rutas propuestas en el campo, para explorar, medir y registrar las condiciones reales en el campo, y determinar la viabilidad, las ventajas y las desventajas de cada trazado. Si otra ruta se ve bien en el campo, no dude en recorrerla, marcarla, registrar observaciones y pendientes, y dibujar su posición en el mapa. **Recuerde, la construcción de caminos es una de las actividades desestabilizantes principales realizadas en la silvicultura, la gestión de tierras y el uso de tierra silvestre, y la evasión es generalmente el medio más rentable de tratar con el terreno inestable y otros obstáculos importantes.** Aléjese de obstáculos delicados como taludes inestables, suelos erosionables y cañones de arroyos empinados.

Primero, recorra toda la extensión del camino propuesto para familiarizarse con la topografía y las condiciones de la tierra e identificar características importantes que no eran visibles en las fotos aéreas o el mapa topográfico. Los elementos y condiciones a identificar y ubicar en el mapa en este primer reconocimiento incluyen:

1. topografía favorable (especialmente balcones y áreas de bajo gradiente para plataformas, apartaderos de paso, eliminación de desechos y sitios de construcción),
2. puntos de control (puntos de comienzo y final, collados, y otros sitios),
3. obstáculos (especialmente suelos inestables o erosionables, grandes afloramientos de rocas y áreas húmedas),
4. canales de arroyos (inclusive su grado de incisión) y puntos de cruce favorables,
5. ubicaciones de cañones internos,
6. áreas de taludes empinados y/o inestables, taludes cóncavos especialmente empinados en la parte superior de bajíos naturales, y
7. cualquier otro peligro o control obvio.

8. Es importante anotar todos los puntos de control en este momento, y solo se necesita un marcado mínimo para indicar la ruta recorrida, junto a toda otra característica importante para utilizar o evitar. La ubicación ideal del camino es un terreno con una inclinación transversal leve de 10 a 30%, porque la construcción del camino requiere cortes y rellenos mínimos, pero sin embargo permite un buen drenaje de la superficie.

B. CÓMO RECONOCER PELIGROS Y OBSTÁCULOS

Identificar muchos "obstáculos" o peligros en el campo puede ser bastante simple. Arroyos, áreas de superficie húmeda (manantiales y filtraciones), afloramientos de rocas y taludes empinados usualmente ya son evidentes. Se puede necesitar capacitación y experiencia para identificar otros obstáculos potenciales para un camino estable. Estos incluyen un hábitat de fauna delicada, ubicaciones de especies de plantas en peligro de extinción, sitios arqueológicos, y una variedad de condiciones hidrológicas y geológicas "peligrosas" (Tabla 12). La identificación final de estas áreas problemáticas potenciales debe ser realizada por especialistas capacitados.

Por ejemplo, se puede necesitar un geólogo para ubicar geología de subsuperficie inestable, materiales de basamento rocoso suaves o débiles, zonas de contacto y fallas, capas de rocas susceptibles a fallas cuando se corta por la construcción de caminos, áreas de deslizamiento de tierra existentes y potenciales, bancos de arroyos y cruces de arroyos potencialmente inestables, y la adaptabilidad de material de desecho local para su uso en rellenos y cruces de arroyos. Muchas de estas condiciones pueden no ser evidentes para las personas no capacitadas observador. Es importante identificar todas las áreas inestables y potencialmente inestables a lo largo del trazado propuesto y tratarlas como puntos de control. Evite áreas inestables y sitios de cruce de arroyos uniendo todos los taludes estables y ubicaciones de cruces de arroyo adecuadas.

Cuando se ha identificado un trazado final, se pueden requerir un biólogo especializado en fauna y un botánico para investigar el trazado y el terreno lindante en busca de especies en peligro de extinción o especies de inquietud especial. Ocasionalmente se puede necesitar un arqueólogo para identificar sitios culturales que deben evitarse o mitigarse antes de que pueda comenzar la construcción. Si no está seguro de si necesita o no asesoramiento especializado, pregunte a los organismos reguladores adecuados con responsabilidad sobre esos recursos (consulte Capítulo I, secciones I y J), No harán el trabajo de consultoría técnica por usted, pero pueden darle indicaciones, describir los requisitos legales, brindar asesoramiento sobre la necesidad de obtener ayuda adicional y describir dónde encontrarla.

Los especialistas y los profesionales cualificados identifican problemas, sugieren trazados alternativos para evitar muchas de estas áreas problemáticas, y diseñan mitigaciones para áreas problemáticas que no se pueden evitar. El gasto de estas consultas profesionales, en la mayoría de los casos, está bien justificado y se recupera rápidamente con los costos de construcción y mantenimiento más bajos durante los primeros años de existencia del camino. También se obtienen beneficios al minimizar los impactos sobre los cursos de agua a lo largo del trazado. **Los llamados caminos "de bajo costo" pueden ser muy costosos si están mal planificados, ubicados o construidos, mientras que los caminos que inicialmente cuestan levemente más de construir terminan costando mucho menos en el largo plazo cuando se calculan los gastos de mantenimiento y reconstrucción.**

C. CÓMO MARCAR EL TRAZADO PROPUESTO

Primero, se realiza un marcado preliminar de la ruta aproximada. Para esto, y luego el diseño detallado del campo, se deben llevar las siguientes herramientas y materiales:

1. un clinómetro portátil o nivel de Abney (para medir las pendientes del camino y los gradientes de las laderas),

2. una cinta medidora, un telémetro o cadena de medición (para medir distancias),

3. un altímetro (para medir elevaciones),

TABLA 12. Algunos controles naturales que afectan la ubicación del camino

Control		Comentario
Collados		Control importante para la ubicación del camino.
Lomas		Control importante y a menudo un sitio de camino satisfactorio.
Cruces de arroyos		Control importante. Busque ubicaciones con taludes leves y ubicaciones lo suficientemente anchas como para que entre el camino. Se necesitan buenos sitios para puentes o alcantarillas. Evalúe y diseñe para peces migratorios donde sea necesario. Necesita acuerdo de Peces y Fauna estatal.
Balcones		A menudo buena ubicación para uniones de caminos, curvas agudas, plataformas, apartaderos de paso, etc.
Acantilados o afloramientos rocosos		Cruzar sobre o por debajo a una ubicación segura. Las rocas que se pueden quebrar son menos costosas que quitar rocas duras que necesitan ser minadas.
Inestabilidades de la ladera (por ejemplo, deslizamientos de tierra)		Control importante. Evitar o cruzar en el punto más seguro Pedir asistencia a un profesional geológico o geotécnico.
Humedales (por ejemplo, ciénagas, pantanos, praderas húmedas)		Control importante. Evitar donde sea posible o cruzar en el punto más seguro. Puede necesitar autorización o acuerdo de Peces y Fauna estatal.
Fondo del valle	Ancho	Gradiente bajo, ubicación deseable del camino si está por sobre la línea de inundación. Si cruza un arroyo, cruce y salga de la planicie de inundación rápidamente. Se debe requerir poca excavación. Los cruces de arroyos necesitarán un acuerdo de Peces y Fauna estatal.
	Angosto	Mala ubicación debido a inundaciones, erosión, y potencial e polución; y costos elevados para cruzar el arroyo si serpentea. Mantenga el camino sobre la planicie de inundación. Los cruces de arroyos necesitarán un acuerdo de Peces y Fauna estatal.
Taludes	>40%, pero <60%	Evite el vertido lateral y los rellenos de hendiduras (mantas delgadas de relleno colocadas sobre taludes empinados) en los cuales quedan expuestas grandes áreas desnudas a la erosión. Este sedimento flojo puede ser difícil de controlar debido a que se necesitan amortiguadores largos.
	≥60%	Se debe evitar la construcción en áreas inestables. La construcción de caminos en balcón y la disposición final de material serán necesarios donde los taludes permanezcan empinados junto a canales de arroyos. **Procesa únicamente con cuidado extremo.** Evite construir caminos sobre estos taludes empinados, de ser posible.
	Cresta de la loma	Se requiere un buen trazado y probablemente poca excavación. Los caminos deben recorrer el acotamiento de la loma para brindar un buen control de drenaje. Se requieren menos alcantarillas. Se encontrarán pendientes adversas en lomas desparejas. Los caminos secundarios tendrán una pendiente adversa.
Aspecto		Los requisitos de mantenimiento en los climas húmedos se pueden minimizar en taludes con orientación sur para promover el secado y el derretimiento de la nieve. En climas secos, los taludes con orientación norte tiene más vegetación y experimentan mejor revegetación y menos erosión. Los climas extremadamente húmedos o secos anulan este efecto.
Talud rocoso (badén)		Coloque los caminos sobre la ladera donde la roca se mete en la ladera, no cuando está paralela a o sale de la ladera. Consulte a un geólogo profesional o pida asistencia técnica o asesoramiento.
Suelos		Donde sea posible, evite construir caminos sobre suelos naturalmente erosionables o inestables, o aquellos que contienen naturalmente amianto. Compruebe los mapas de suelos en busca de problemas potenciales y pida asesoramiento a agentes de extensión de la USDA, el NRCS o geólogos calificados. Los suelos congelados requieren cuidado especial; pida asistencia.

[1] modificado de USDA-SCS/USFS (1981)

4. estacas y/o señales colores para marcar el trazado, peligros y obstáculos),
5. una brújula de mano (para comprobar la orientación),
6. un mapa y/o fotos aéreas (que muestren los trazados alternativos marcados antes), y
7. una unidad GPS de mano de calidad para brindar buen control espacial sobre la ubicación de los puntos de control, la línea central del camino y otras características y elementos geográficos a lo largo del trazado propuesto; estos puntos de datos se pueden usar para brindar un mapa más exacto del trazado y se pueden describir electrónicamente en un mapa topográfico con geo referencias.

Luego, se realiza una prospección de la ubicación del camino, utilizando una o dos personas. Según el primer marcado, y la identificación de obstáculos y peligros, se identifica una ruta tentativa en el terreno. Comenzando en un extremo, se marca aproximadamente la línea central de la ruta con estacas y/o señales a lo largo de una línea de pendiente seleccionada previamente (la pendiente promedio de esta ruta se determinó en el procedimiento de mapa de 6 pasos descrito antes). La pendiente entre cada señal se mide usando un clinómetro o un nivel Abney. Las señales, por convención de color, se deben colocar en la línea central aproximada, o se pueden colocar para marcar el borde superior del corte marginal (para que no se destruyan durante la construcción). Los cortes y los rellenos, y las características de drenaje también se pueden señalar. En las lomas y balcones amplios se deben identificar y señalar posibles ubicaciones para plataformas, apartaderos de paso del camino y lugares de eliminación de desechos (Figuras 16 y 17). Su la pendiente fija predeterminada no cumple exactamente el punto final

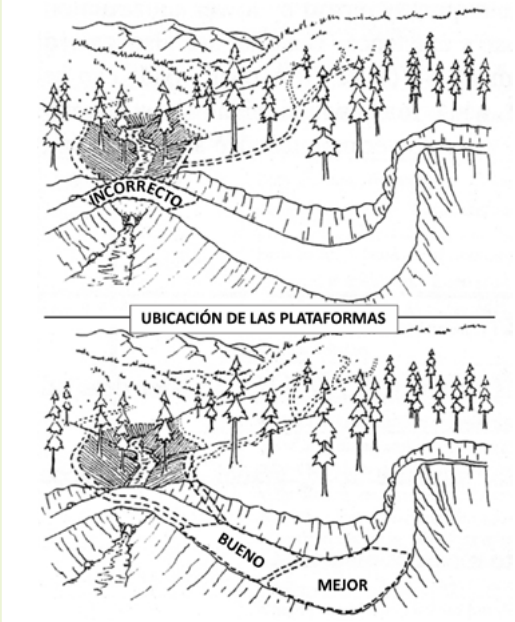


FIGURA 16.
Las plataformas de descarga de troncos en sistemas de caminos forestales se deben mantener al tamaño mínimo absoluto necesario para atender equipos de procesamiento, carga y transporte y la cantidad mínima necesaria para eliminar recursos de madera. Las plataformas construidas en terreno suave y lomas amplias bien alejadas de canales de arroyos tienen menos probabilidades de causar problemas de calidad de agua, mientras que las plataformas construidas en taludes empinados y cerca de cursos de agua pueden generar impactos graves (Servicio Forestal de la USDA, 1963).

FIGURA 17.
Pequeña plataforma de troncos utilizada para procesamiento con cables que se ha construido en este camino forestal de un solo carril. Está ubicada correctamente en la punta de una cresta y sirve también como desvío de vehículos. Se ha utilizado corte y vertido lateral mínimos. Si se ha acumulado vertido lateral o escombros a lo largo del borde exterior, se debe excavar o estabilizar.

deseado, puede trabajar desde ese punto final hacia atrás y conectar las dos prospecciones en un lugar conveniente.

El marcado de curvas y curvas cerradas requiere un poco más de planificación y cuidado durante el diseño del camino. Cada curva debe tener el radio suficiente para que los camiones y el equipo anticipado maniobre fácil y seguramente (Figura 18). El radio no debe ser menor que 35 pies para camionetas estándar y vehículos de campo, y de 50 a 55 pies para remolques de tractores (como remolques de troncos o de ganado). Se sugiere un radio de curva horizontal mínimo de 200 pies para caminos que soportan un tránsito de 20 mph.

Donde las curvas son cortas y suaves, se pueden ubicar a ojo para seguir la topografía y la ubicación señalada de la pendiente. Las curvas más pronunciadas (como aquellas donde los caminas cruzan canales de arroyos profundamente cortados y donde las curvas cerradas se usarán para subir una colina empinada) requieren cierta prospección. **El método de la estaca central es uno de los métodos más simples para marcar estas curvas durante la prospección del camino.** Primero, decida el radio de la curva. Luego, utilizando un hilo o una cinta del largo del radio deseado (o utilizando un telémetro), simplemente identifique y coloque una estaca en el centro de la curva y en la línea central en un arco extendiéndose hacia afuera desde la estaca central (Figura 19).

El método de la estaca central supone que el terreno es plano a medida que hace el arco. En general esto no es cierto, así que se necesita cierto ajuste de los largos marcados en el campo para compensar la inclinación de la ladera (consulte la Tabla 13). Para usar el método de la estaca central, se deben marcar las distancias horizontales reales en el terreno. Para obtener la distancia del talud, multiplique la distancia horizontal (el radio deseado de la curva) por el multiplicador correcto que se muestra en la Tabla 13. Por ejemplo, para doblar por el talud anterior con un radio horizontal de 110 pies en una ladera con una pendiente de 65%, la curva se debe marcar 131 pies cuesta arriba (110' x 1.19 = 131') y 131 pies cuesta abajo desde la estaca central. Derecho hacia adelante, sobre el contorno, la estaca se marca a los 110 pies.

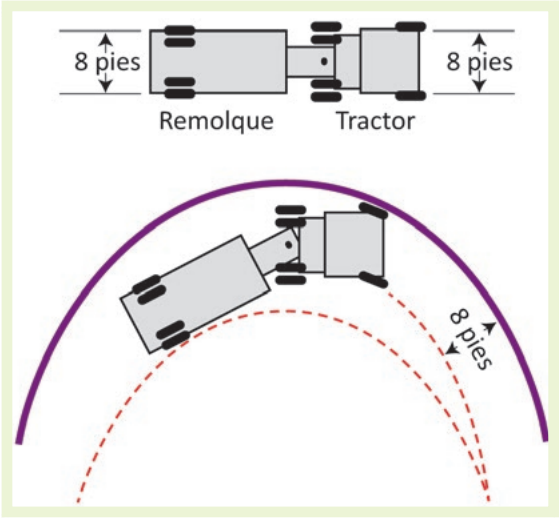


FIGURA 18. *Un vehículo saliendo del camino en una curva horizontal. Según el radio de la curva, el ancho del camino debe ensancharse en la curva para soportar el tipo de tránsito vehicular esperado: cuando más cerrada es la curva, más ancho es el camino. (Kramer, 2011)*

TABLA 13. Cómo convertir distancias horizontales en "distancias de taludes" verdaderas medidas en laderas necesarias para marcar curvas y curvas cerradas del camino

Gradiente del talud (%) (use un clinómetro)	Factor de corrección de la pendiente para determinar la distancia verdadera del talud[1]
10	1
15	1,01
20	1,02
25	1,03
30	1,04
35	1,06
40	1,08
45	1,10
50	1,12
55	1,14
60	1,17
65	1,19
70	1,22

[1]Distancia de talud verdadera = Distancia horizontal medida e x Factor de corrección de la pendiente.

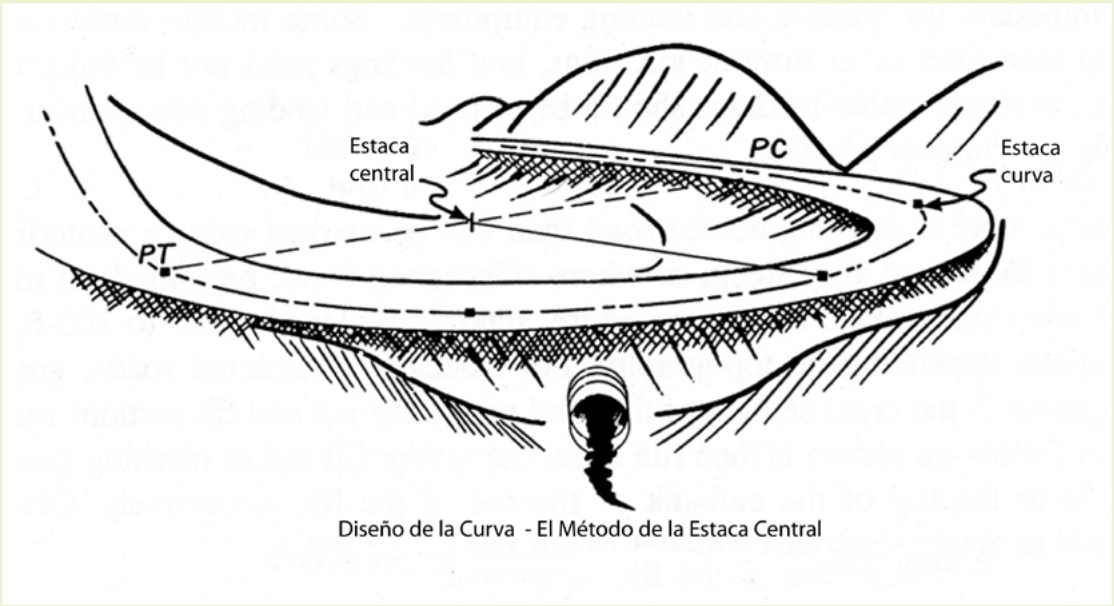


FIGURA 19. *Marcado con estacas e identificación del diseño simple de la curva utilizando el método de la estaca central (Consulte el Apéndice D). (USDA – SCS, 1983).*

Idealmente, el camino dentro de una curva cerrada debería tener poca o nada de pendiente para que los caminos y los equipos puedan pasar con seguridad y no levante la superficie del camino mientras toma la curva y sigue subiendo. Esto puede requerir aumentar la pendiente promedio del camino al entrar y salir de la curva cerrada. Según el radio de la curva, la pendiente del camino al menos debe reducirse en la curva para brindar un buen paso a los vehículos y equipos (Tabla 14). Donde se necesitan curvas más prolongadas, el Método de la vara del diseño de la curva puede ser más conveniente (consulte el Apéndice D).

Las plataformas y los apartaderos de paso se deben identificar y marcar con estacas al mismo tiempo que se marcan con estacas las curvas. Generalmente, los desvíos deben poder verse entre sí y estar ubicados donde se requiera un mínimo de excavación para aumentar el ancho del camino (Figura 20). Las plataformas deben tener el largo y el ancho necesarios para atender remolques de plataforma baja (equipamiento), equipo de procesamiento y carga, y otros vehículos comerciales y camiones que puedan usar el camino. Algunas grúas forestales móviles que se usan en operaciones de silvicultura pueden trabajar directamente en un camino de carril único o en ubicaciones de apartaderos de paso y no es necesario construir plataformas. En caminos a reconstruir, se deben reutilizar las plataformas estables y se debe evitar donde sea posible agrandar o expandir las plataformas.

TABLA 14. Reducciones sugeridas en la pendiente del camino a través de curvas de distintos radios[1]

Radio de la curva (pies)	Reducción en la pendiente del camino (%)
150 a 460	1
90 a 150	2
65 a 90	3
50 a 65	4

[1]USDA-SCS/USFS (1981). Se sugiere que las pendientes del camino en las curvas cerradas sea plana (0%) o muy baja.

Para situaciones que requieren un camino de alta ingeniería que se pueda marcar usando una prospección de ubicación con línea central (por ejemplo, donde los taludes son muy empinados, o donde el vertido lateral no es apropiado o permitido), puede ser necesario fijar estacas de pendiente e inclinación. En este procedimiento se colocan las estacas a intervalos de 50 a 100 pies, según la topografía, a lo largo del trazado. Para caminos construidos con vertido lateral sobre taludes leves, las estacas de pendiente se colocan primero en puntos en la sección transversal del camino donde se unen las secciones de corte y relleno y se reducen a cero. Luego se realiza una prospección de seguimiento para establecer las estacas de corto y/o relleno que marcan puntos en el terreno que estará en la parte superior del corte marginal o el pie del relleno, respectivamente. La prospección de la pendiente se puede usar luego para obtener estimaciones precisas de los volúmenes de corte y relleno.

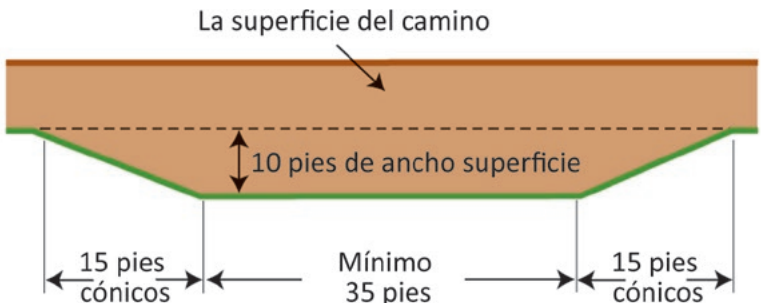


FIGURA 20. *Los apartaderos de paso comunes permiten que los vehículos se pasen con seguridad al retirarse a un costado y volver a un camino de un solo carril en caminos de bajo estándar. Los apartaderos de paso y las plataformas se deben ubicar de manera que aprovechen los balcones y las crestas amplias donde se puede desarrollar un ancho adicional del camino con un mínimo de excavación y vertido lateral. Los apartaderos deben ser intervisibles (Kramer, 2001).*

NOTAS:

4 DISEÑO DEL CAMINO Y CRUCES DE ARROYOS

A. INTRODUCCIÓN

1. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO

A menudo el diseño del camino es un resultado combinado de factores económicos y ambientales que influencian los costos de construcción, operación y mantenimiento. Lamentablemente, debido a que los costos de construcción se sienten de inmediato, la economía era la consideración más importante utilizada al escoger el diseño final del camino. Sin embargo, los costos excesivos del transporte y la dificultad de recorrido de un camino, los elevados costos de mantenimiento del camino, así como también los altos costos ambientales pueden tener un efecto mucho mayor sobre la economía de largo plazo de las operaciones forestales o rurales, o el desarrollo rural, que el ahorro en la construcción inicial de un camino de bajo estándar, mal ubicado o diseñado inadecuadamente.

Los caminos se diseñan el tipo y la frecuencia de uso esperados. La mayoría de los caminos forestales y rurales están diseñados como "caminos de bajo volumen" que soportan un promedio de menos de 400 vehículos por día (Keller y Sherar, 2003), y tienen una geometría de diseño adecuada para ese nivel de uso. El diseño excesivo puede ser un error costoso. Por ejemplo, los costos de construcción para un camino de 14 pies de ancho en un talud empinado puede ser casi 30% más elevado que para un camino de 12 pies de ancho en la misma ubicación, simplemente por los 2 pies adicionales de ancho de excavación. También es probable que los costos de mantenimiento de largo plazo sean más elevados para el camino más ancho. Por este motivo, es importante determinar los tipos principales de vehículos y el volumen y la velocidad del tránsito esperados para que se puedan estableces las normas requeridas mínimas del camino mucho antes de que comience la verdadera construcción.

Se deben diseñar tanto el largo como el ancho del camino a los estándares mínimos para los usos anticipados del camino. Los caminos angostos son cunetas internar reducen considerablemente los volúmenes de excavación y vertido lateral, por ende reduciendo la altura del corte marginal y disminuyendo la probabilidad de fallas del talud (Tabla 15). Por ejemplo, construir un camino con peralte hacia adentro con una cuneta interna de 3 pies de ancho requiere mover casi 60% más de

TABLA 15. Volumen de tierra excavada para caminos de balcón con diversos anchos y gradientes de ladera

Gradiente de la ladera (%)	Volumen excavado para construir un camino de balcón suponiendo cortes marginales de ½:1 (yardas³ excavadas por pies de camino)			
	Ancho del camino 12 pies	Ancho del camino 14 pies	Ancho del camino 16 pies	Ancho del camino 18 pies
30	0,94	1,28	1,62	2,17
35	1,13	1,54	2,01	2.55
40	1,33	1,82	2,37	3,00
45	1,55	2,10	2,75	3,48
50	1,78	2,42	3,16	4,00
55	2,02	2,81	3,60	4,55
60	2,28	3,11	4,06	5,14
65	2,57	3,50	4,57	5,78
70	2,87	3,91	5,11	6,46
75	3,20	4.36	5,69	7,20

material durante la construcción que si el camino tuviera peralte hacia afuera y no tuviera cuneta (Tabla 15).

El diseño del camino comienza con la planificación de la ubicación del camino. La selección de la ruta final limita muchas decisiones de diseño futuras. Dos preguntas importantes que se deben responder al principio del proceso de planificación son 1) diseño del prisma del camino 2) diseño del diseño de la superficie. Dirigir el trazado cruzando o alrededor de diversos obstáculos y peligros puede dictar el uso de ciertos diseños de prisma del camino. Además de éstas, hay situaciones especiales que surgen a menudo y requieren consideraciones especiales de diseño del camino.

Al considerar el diseño del prisma del camino, es imposible enfatizar excesivamente la importancia del drenaje al mantener caminos estables y proteger la calidad del agua. Los caminos se deben construir y diseñar para que provoquen la perturbación mínima de los patrones de drenaje naturales. Se deben incluir disposiciones en todo proyecto de camino disposiciones para dos componentes de drenaje: 1) drenaje de la superficie del camino (inclusive drenaje que se origina desde el corte marginal, la superficie del camino y el terraplén) y 2) drenaje de la ladera (incluso el drenaje de manantiales, barrancos y arroyos grandes que cruzan el trazado del camino).

Finalmente, debido a que la morfología y la hidrología de las laderas varía enormemente en el paisaje, rara vez se puede aplicar uniformemente un único tipo de diseño de prisma del camino y drenaje de la superficie a un camino nuevo o reconstruido. ¡Un tamaño no se adapta a todas las circunstancias, y es mejor variar tanto el diseño del prisma del camino como el diseño de la superficie para adaptarse a las condiciones locales!

2. CÓMO DISEÑAR CAMINOS PARA MINIMIZAR LA CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA Y PROTEGER LA CALIDAD DEL AGUA

Los caminos pueden afectar negativamente los arroyos, la calidad del agua y el hábitat acuático de varias maneras, inclusive la erosión y la entrega de sedimento, alterando la hidrología de las laderas y los arroyos, y liberando fugas químicas en arroyos y cursos de agua. El sedimento se entrega a los arroyos como resultado de procesos de erosión tanto episódicos (generalmente relacionados con tormentas) y crónico (todo evento de escorrentía). La erosión desatada por tormentas más

común incluye los lavados de cruces de arroyos (formación de barrancos), desvíos de arroyos (y la creación de barrancos en laderas y fallas de taludes resultantes), erosión en la salida de alcantarillas, formación de barrancos en laderas, erosión de bancos, y fallas en terraplenes de caminos y plataformas (apartaderos de paso).

En la erosión crónica, el sedimento se entrega en arroyos cada vez que hay un evento de precipitación y escorrentía suficiente como para causar erosión de las áreas de suelo descubierto, escorrentía concentrada sobre superficies de canino compactadas y cunetas, y transporte de sedimento a arroyos cercanos. Las áreas más comunes de suelo descubierto relacionadas con los caminos incluyen superficies de camino no pavimentadas, como por ejemplo terraplenes sin vegetación, cortes marginales, cunetas y superficies de deslizamiento de tierra. **Si el sendero de escorrentía de una de estas áreas de tierra descubierta entrega escorrentía de superficie y sedimento erosionado (inclusive agua turbia) a un arroyo se llama "conectado hidrológicamente" al sistema del arroyo. La conectividad hidrológica se refiere al largo o a la proporción del camino o red de caminos que drena escorrentía directamente a arroyos u otros cursos de agua.**

Un camino o segmento de camino conectado hidrológicamente se ha definido como: "Todo segmento del camino que tenga un sendero de flujo de superficie continuo a un canal de arroyo natural durante un evento de escorrentía de 'diseño'." Se ha sugerido un evento correntía de «diseño» adecuado para muchos fines como el de la tormenta de 6 horas 1 vez al año, con condiciones de humedad antecedentes correspondientes al mes más húmedo del año. Este es el tipo de evento de precipitación y escorrentía frecuente que es probable que genere escorrentía de superficie de la mayoría todas las superficies de suelo compactado y descubierto. **Durante los eventos de escorrentía, un camino conectado hidrológicamente se convierte en parte extendida de la red de arroyos naturales. Las cunetas internas que drenan en cruces de arroyos y las cunetas junto al camino que drenan a barrancas más abajo debajo de alcantarillas de alivio de cunetas son los segmentos de camino más comunes que están conectados hidrológicamente con los arroyos** (Figura 21). Otras estructuras de drenaje de caminos (por ejemplo, vados ondulantes y camellones) también pueden descargar escorrentía y sedimento a cursos de agua cercanos. Donde exista una conexión hidrológica, la escorrentía concentrada, los sedimentos erosionados y los químicos asociados al camino tienen una ruta directa a la red de canales naturales y aguas superficiales.

En comparación con las laderas sin caminos, los caminos siempre aumentan la conectividad hidrológica. La conectividad hidrológica se ve afectada por procesos naturales e intervención humana. Aumentará con la mayor intensidad y duración de las precipitaciones o deshielos. En contraste, la conectividad se reducirá donde haya obstrucciones de sedimento y

FIGURA 21. *Los acercamientos de caminos a puentes a menudo están conectados hidrológicamente. Este acercamiento de corte transversal a un puente temporal drena directamente en el arroyo.*

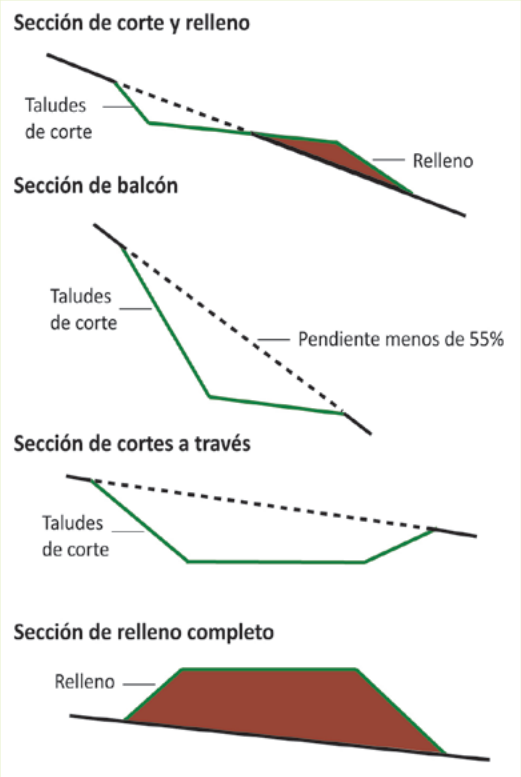


FIGURA 22. *Diagramas idealizados que describen (a) un camino de balcón parcial o de corte y relleno (tanto con corte como con vertido lateral); (b) un camino con balcón total (todo el material transportado al sitio final, sin vertido lateral); (c) una sección a través de corte (todo corte y el material transportado al sitio final); y (d) camino con relleno completo (a través) (sin corte - todo el relleno colocado y compactado en capas poco profundas). Las superficie del camino pueden ser con peralte hacia afuera, con peralte hacia afuera con una cuneta, coronados con una cuneta, o con peralte hacia adentro con una cuneta, según las condiciones locales (Modificado de: Kramer, 2001).*

áreas de depósito natural, donde los suelos son profundos y permeables, las laderas suaves y sin barrancos, los arroyos están alejados, y los drenajes transversales tiene poco espacio entre ellos en el camino. **Todos estos factores del camino y la ladera son importantes para predecir las distancias de recorrido del sedimento debajo de drenajes transversales, y en la planificación y el diseño para reducir la conectividad y la contaminación de sedimento.**

Se pueden emplear medidas simples de ubicación, diseño, construcción y mantenimiento del camino para reducir la conectividad hidrológica. La conectividad se puede reducir mediante la buena ubicación del camino, como por ejemplo lugares en laderas superiores alejadas de arroyos. La conectividad hidrológica también se ve incrementada al aumentar la frecuencia de cruces de arroyos; así que el camino debería ubicarse donde haya menos cruces. La conectividad hidrológica en caminos existentes se puede reducir enormemente con diseños que eliminen cunetas y conviertan las formas del camino de peralte hacia adentro a peralte hacia afuera, así como también construyendo frecuentes estructuras de drenaje de superficie del camino y cunetas para dispersar la escorrentía del camino a fin de que no llegue al arroyo. **Reducir la extensión del camino que está conectado hidrológicamente a arroyos directa e inmediatamente mejora la calidad del agua y protege el hábitat acuático aguas abajo.**

B. DISEÑO DEL PRISMA DEL CAMINO Y LA SUPERFICIE DEL CAMINO

1. DISEÑO DEL PRISMA DEL CAMINO

Los prismas del camino se pueden diseñar para que sean **balcón, balcón parcial** (corte parcial y relleno parcial, también llamado corte y relleno parcial) o **relleno completo** (Figura 22). Los caminos que se construyen sin disposición final son caminos de **balcón parcial** donde los desechos generados durante la nivelación inicial se utilizan para ampliar la calzada y llenar depresiones y canales de arroyos cruzados por el camino. Esta ha sido la práctica de construcción utilizada más comúnmente para los caminos forestales y rurales. El relleno se coloca y se compacta, o (más comúnmente) se vierte lateralmente y libremente en la ubicación deseada. Sin embargo, hay muchas circunstancias en las que el vertido lateral ya no es aceptable y se necesitan diseños y métodos alternativos para reducir los impactos ambientales y brindar una calzada estable. El cuarto tipo de diseño es un camino **a través de corte** donde el trazado se corta a través de una loma y durante una sección breve el camino tiene un corte marginal a ambos lados. Las secciones del camino a través de corte, si se necesitan, deben ser cortas porque no se drenan fácilmente.

Puede que los caminos necesiten ser de balcón en taludes empinados (los de más de 55%), especialmente donde el camino está cerca de o se acerca a un curso de agua, o donde la calidad del agua podría verse impactado por las obras del camino (Figura 23)[1]. La construcción del balcón requiere que todos los desechos generados cortando la ladera se deban usar para

1 Consulte el Apéndice C para ver los requisitos de la Norma de Práctica Forestal de California con respecto a taludes de balcón.

FIGURA 23. *Camino de balcón completo. La altura del corte marginal, la inclinación de la ladera natural y la pequeña cantidad de vertido lateral indica que este camino es de balcón y cortado totalmente en materiales de la ladera nativa. Observe que el camino no tiene cuneta interna.*

rellenar los cruces de arroyos locales y lugares bajos en el camino nuevo, o transportados a un sitio de almacenamiento estable donde los materiales de desecho no corran el riesgo de ingresar a un curso de agua.

Fuera de los cruces de arroyos, que siempre son de relleno completo, los segmentos de camino construidos con técnicas de **relleno completo** son menos comunes, pero pueden ser utilizados en tierras bajas, fondos de valles húmedos, áreas húmedas extendidas, o donde el camino se deba elevar para brindar un drenaje adecuado en la subsuperficie, o donde no se aconseje cortar la ladera. Los caminos que usan esta técnica usualmente se limitan a secciones breves donde las laderas son potencialmente inestables y los cortes del talud podrían desatar movimiento del suelo. Las secciones de relleno completo del camino a menudo se soportan con rellenos diseñados estructuralmente con caras de relleno casi verticales.

Diseño de corte y relleno: Para la mayoría de los propietarios de tierras forestales y rurales, se ha preferido el uso de la construcción de corte y relleno porque minimiza la cantidad y el costo del movimiento de tierra. En otras palabras, menos tierra movida generalmente significa menos gastos (Figura 24). La mayoría de los caminos más viejos en el paisaje probablemente se construyeron con esta técnica de construcción, utilizando solo una excavadora para la construcción del camino.

Sin embargo, el uso indiscriminado de construcción de caminos con vertido lateral (el método más simple de construcción de corte y relleno) probablemente ha causado más problemas a los propietarios que cualquier otro tipo de construcción de caminos. Las técnicas de construcción de vertido lateral no se deben utilizar en inclinaciones de más de 55 a 60 por ciento porque da como resultado terraplenes de casi 67 por ciento, el ángulo de reposo (estabilidad) promedio para la mayoría de materiales de suelo flojos (Figura 25). Por este motivo, **la construcción con vertido lateral se debe limitar a áreas de inclinación leve donde los arroyos están lejos del prisma de la carretera.**

Se pueden usar técnicas de construcción de corte y relleno en taludes levemente más empinados cuando las ranuras excavadas y los balcones de subpendiente se utilizan para desarrollar rellenos estables y bien compactados. En general, los cortes deben igualar el volumen de relleno necesario, más aproximadamente el 20 por ciento para permitir la expansión y el fijado del relleno suelto. Es decir, el suelo aflojado, excavado, ocupará casi 20% más de espacio que cuando estaba "en el lugar" (antes de que fuera excavado). Durante el

FIGURA 24. *En contraste al camino de la Figura 23, este camino de balcón parcial se construyó con gran cantidad de vertido lateral. Al menos la mitad de la calzada está construida sobre materiales de relleno.*

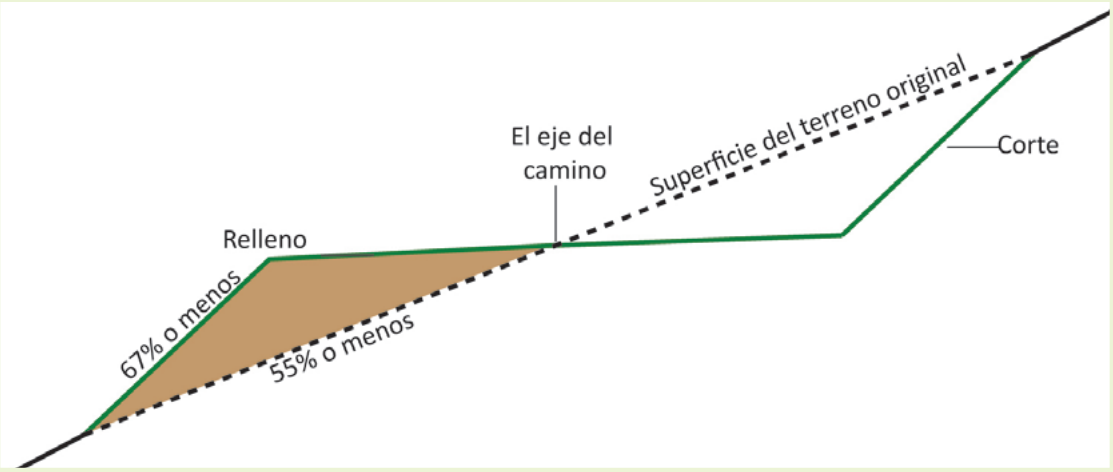


FIGURA 25. *Para la mayoría de los materiales de tierra, el vertido lateral sobre taludes naturales de más de 55% de inclinación dará como resultado taludes de vertido lateral empinados, flojos, inestables que se erosionan fácilmente o que son propensos a los deslizamientos de tierra. La cara de un talud de vertido lateral no debe superar el 67% para la mayoría de los materiales (menos con suelos granulares o no cohesivos. Este es el ángulo máximo de estabilidad para la mayoría del material de suelo no compactado de vertido lateral.*

proceso de corte y relleno, es fundamental evitar dejar que el material de vertido lateral o los residuos ingresen en arroyos o cursos de agua, o que sean colocados en taludes inestables o empinados donde puedan erosionarse y entrar en un curso de agua cercano.

El ángulo de inclinación del corte y de los terraplenes es muy importante para construir caminos estables. Hay un intercambio al determinar el ángulo de talud de corte óptimo para construir (Tabla 16). Los taludes de corte deben diseñarse para lograr máxima estabilidad y también mínima exposición de suelos descubiertos.

Los cortes y los terraplenes generalmente se expresan como proporciones horizontal a vertical, como por ejemplo ½:1, 1:1, o 1½:1 (Tabla 1). Los bancos de los caminos se pueden cortar tan empinados como lo permita la estabilidad del material, que vería de ¼:1 para materiales de roca muy estables a 3:1 para suelos erosionables o inestables (Tabla 17). La estabilidad de los taludes de corte también depende mucho de los

TABLA 16. Ventajas y desventajas de taludes de corte empinados[1]

Ventajas y desventajas de taludes de corte empinados	Desventajas de taludes de corte empinados
1. Menos derecho de vía	1. Difíciles de revegetar
2. Menos material excavado	2. Propensos a ondulaciones
3. Menos material de vertido lateral	3. Propensos a rajaduras de tensión y fallas
4. Menos talud expuesto a la erosión de la superficie	4. Un riesgo levemente mayor de falla rotacional

[1]BCMF (1991)

tipos de suelo, las condiciones del agua subterránea y el clima local. Las observaciones de taludes de corte en lugares similares a su proyecto de camino propuesto brindan información útil sobre el desempeño en el campo de los cortes de diversas alturas y ángulos. Utilice esta información de campo para ayudarlo a diseñar los mejores cortes posibles. A continuación se muestra una guía general de las inclinaciones máximas de los cortes del camino en diversos materiales de roca y suelo (Tabla 17). Observe que los taludes húmedos, los suelos inestables o erosionables, y las rocas muy fracturadas o cimentadas pueden requerir cortes de talud más leves.

La altura del corte y el ángulo del corte también afectan la estabilidad del talud de corte final. Los cortes que son estables a ½:1 a una altura de 6 pies no pueden ser estables cuando la altura del corte es el doble de alto en 12 pies. Los cortes más altos llevan a mayor fuerza gravitacional y menor estabilidad en la cara del talud. Es más probable que los cortes altos (profundos) intercepten agua emergente del suelo que puede debilitar el talud de corte y provocar fallas que bloquean el camino o dan como resultado problemas persistentes de mantenimiento de cunetas y calzada.

Los terraplenes se pueden construir a una variedad de ángulos según las propiedades del material utilizado, la cantidad de compactación aplicada adecuadamente, la humedad del suelo y el tipo y la densidad de vegetación que se establece en la superficie. En contraste con los taludes de corte, un ángulo típico de terraplén de 1½:1 o 2:1 será estable bajo condiciones normales de suelo y sitio. Cuando mayor es el contenido de fragmento rocoso en el suelo, más empinado puede ser el terraplén y seguir siendo estable. Un ángulo de inclinación de 2:1 se cubre de vegetación y brinda la mejor estabilidad de largo plazo a la mayoría de los rellenos. En general, las acumulaciones gruesas de suelo flojo, seco, y vertido lateralmente que no están compactado no soportan una inclinación de más del 60 por ciento, mientras que muchos materiales de relleno que se colocan y se compactan adecuadamente en capas delgadas y horizontales de menos de 1 pie (elevadores) pueden ser estables en pendientes hasta o levemente

TABLA 17. Tipos de suelo/roca comunes y proporciones de inclinación estables[1]

Tipo de suelo/roca	Proporción de inclinación (horizontal:vertical)
Mayoría de las rocas	¼:1 a ½:1
Mayoría de las rocas en el lugar	¾:1 a 2:1
Roca muy fracturada	1:1 a 1 ½:1
Suelos granulares gruesos flojos	1 ½:1 a 3:1
Suelos de arcilla pesada	2:1 a 3:1
Zonas ricas en arcilla o áreas de filtraciones húmedas	2:1 a 3:1
Relleno de mayoría de los suelos	1 ½:1 a 3:1
Relleno de roca angular dura	1 1/3:1 o más plano
Cortes y rellenos bajos (<6 – 10 pies de altura)	2:1 o más plano (para revegetación)

[1]De Keller y Sherar 2003. Observe que la estabilidad del talud también es muy particular según el tipo de suelo y ángulo de inclinación, y algo relacionada con las precipitaciones, la humedad del suelo y otros factores.

mayores que 1½ a 1 (67%), o más empinadas. Mientras la capa delgada de materiales angulares de vertido lateral puede soportar una inclinación más empinada que 65%, una cuña de vertido lateral flojo puede no ser estable incluso a una inclinación del 50% (Figura 26).

Los rellenos estables se pueden construir en inclinaciones moderadas y empinadas utilizando métodos de balcones, ranuras y compactación en capas. Aquí, se excava un balcón en la base del relleno propuesto, y se colocan capas de suelo húmedo y compactado sobre este balcón estable. La estabilidad del relleno se puede aumentar más comenzando con un balcón con peralte hacia afuera que ayuda a anclar la base del relleno en la ladera nativa. A veces se utiliza una ranura para "bloquear" el relleno en los suelos nativos o materiales del basamento rocoso subyacentes más estables o más densos. Entonces el relleno se puede compactar en elevadores sobre este balcón y es posible hacer ángulos más empinados de terraplenes. Un relleno con ranuras y balcones depende de que el relleno sea tan fuerte como, o más fuerte que el suelo removido en la excavación. Este balcón y la ranura traban el relleno en el lugar sobre el talud y evitan que el relleno desarrolle un plano de falla donde se coloca en la superficie del terreno natural (Figura 26).

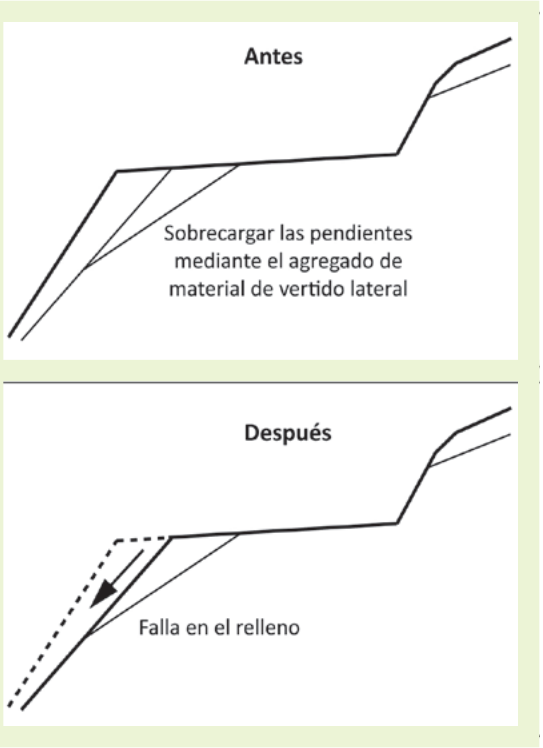


FIGURA 26. *Sobrecargar los taludes empinados con material de vertido lateral sin compactar puede dar como resultado un deslizamiento de tierra que daña los arroyos cientos de pies aguas abajo (Modificado de: BCMF, 1991).*

En áreas críticas, se pueden construir rellenos diseñados que utilizan geotextiles de refuerzo u otros soportes internos con caras casi verticales. Son especialmente útiles en secciones cortas del camino donde otros rellenos serían inestables o erosionarse y provocar sedimentos que podrían ingresar a un curso de agua. En tales casos, puede ser necesario o prudente emplear un ingeniero geotécnico o geólogo calificado y experimentado para diseñar un camino de corte y relleno estable. Según la estabilidad de los materiales de roca y suelo del talud de corte, puede ser más simple y menos costoso construir un camino de balcón donde todo el material excavado simplemente se transporta fuera del sitio y se deposita en un sitio de almacenamiento estable.

2. DISEÑO DE LA SUPERFICIE (FORMA) DEL CAMINO

El diseño de la superficie del camino es en realidad el diseño del drenaje de la superficie del camino, y debería elegirse basándose en mantener la seguridad para los usos buscados, proteger la integridad del camino y minimizar la erosión y la contaminación de sedimento en los arroyos. Se deben cumplir las tres normas de diseño. Las superficies del camino se pueden diseñar como con peralte hacia fuera, coronada o con peralte hacia adentro (Figura 27). A menudo se utilizan más de uno de estos diseños de superficie del camino a lo largo de la extensión del camino. Un camino nunca debe tener una forma plana porque no tendría drenaje. Una forma de camino plana que no drena de un lado ni del otro es propenso a tener charcos y baches en áreas sin pendiente, o surcos y erosión de la superficie si sube o baja una colina. Los caminos planos, mal drenados, a menudo requieren un alto nivel y frecuencia de mantenimiento.

Los caminos con peralte hacia afuera se consideran la forma de camino mejor y más preferida en la mayoría de las circunstancias. Los caminos con peralte hacia adentro y con corona requieren cunetas internas, y las cunetas en general requieren mantenimiento regular. Además de los costos de construcción (los caminos con cunetas requieren considerablemente más costos de excavación y construcción—consulte la Tabla 15), es importante

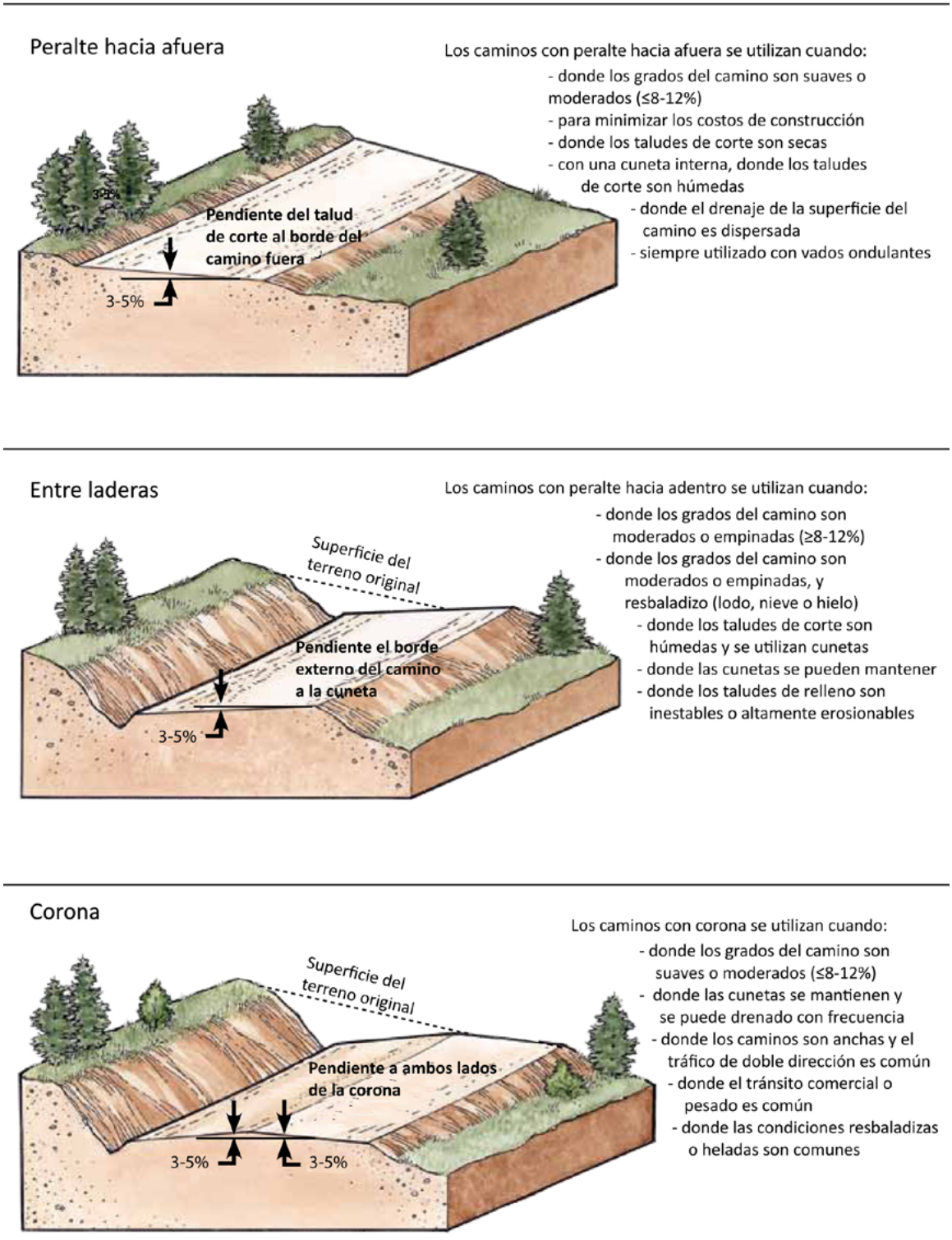


FIGURA 27. *Las formas de las superficies de caminos incluyen con peralte hacia adentro, con peralte hacia afuera y coronados. El diagrama describe un camino con peralte hacia afuera sin cuneta (arriba), un camino con peralte hacia afuera sin cuneta (centro), y un camino coronado con una cuneta interna (abajo). Generalmente se prefieren las formas de peralte hacia afuera debido a los costos de construcción y mantenimiento más bajos. Donde los cortes marginales están húmedos con flujo de manantiales una forma de camino con peralte hacia afuera se puede combinar con una zanja interna. Observe que los caminos con peralte hacia adentro y coronados generalmente requieren más corte en la ladera y tiene cortes marginales más elevados que los caminos con peralte hacia afuera debido al ancho adicional necesario para una cuneta (Modificado de: (Adams y Storm, 2011).*

considerar los requisitos y los costos del mantenimiento de largo plazo al decidir si construir un camino con peralte hacia afuera o un camino con peralte hacia adentro/con corona.

La forma del camino para obtener un drenaje adecuado no es una propuesta definitiva. Por ejemplo, los caminos que rodean el paisaje pueden alternar de peralte hacia afuera a peralte hacia adentro a medida que el camino

recorre la ladera. Los caminos que tiene peralte hacia afuera durante gran parte de su extensión también pueden tener peralte hacia adentro localmente para abordar condiciones locales (por ejemplo, una curva externa pronunciada). Aunque algunos cortes marginales húmedos pueden requerir las construcción de una cuneta interna (o desagüe de piedra en cuneta) para el drenaje, la calzada en sí misma puede ser una candidata digna para el peralte hacia afuera. **En definitiva, es crítico diseñar adecuadamente las superficies del camino para minimizar la erosión de la calzada, la cuneta, el corte marginal y el terraplén al tiempo que se minimiza el transporte de sedimento a los arroyos.**

a. Caminos con peralte hacia afuera, con o sin una cuneta interna

Generalmente se recomienda que la mayoría de los caminos forestales y rurales se construyan como caminos con peralte hacia afuera de un solo carril (ancho mínimo), con mínimo corte y relleno, donde las condiciones sean adecuadas. Se pueden colocar apartaderos de paso intervisibles para permitir el paso. Es probable que una sección transversal del camino con peralte hacia afuera provoque la menor perturbación y movimiento del suelo, genere menos impacto ambiental y tenga menos costos de mantenimiento que otros diseños. Los caminos con peralte hacia afuera dispersan y drenan la escorrentía a lo largo de todo el borde externo del camino (Figura 28). Son menos costosos de construir y menos difíciles y costosos de mantener que los caminos con peralte hacia adentro, siempre que se construyan en ubicaciones adecuadas en la ladera

Si las laderas son secas, y los cortes marginales a lo largo de los caminos existentes muestran poca o ninguna evidencia de agua emergente (manantiales o filtraciones) durante la temporada de lluvias, no hay motivo para construir o mantener una cuneta interna a lo largo de un camino. Analizar las características hidrológicas del corte marginal y la ladera le permitirá determinar si necesita una cuneta interna a lo largo del camino.

Los caminos construidos donde la superficie se puede mantener seca y con drenaje libre generalmente deben tener peralte hacia afuera para dispersar la escorrentía. Las condiciones que podrían limitar el peralte hacia afuera del camino incluyen: 1) inclinaciones empinadas del camino (≥20%) que pueden hacer que darle peralte hacia afuera al camino sea difícil; 2) el uso invernal de un camino no cubierto (las condiciones

FIGURA 28. *Un camino con peralte hacia afuera bien construido que muestra una superficie con corte mínimo y de drenaje libre continuo, y sin berma externa . El camino sigue la topografía y si pendiente ondulante y vados ondulantes dispersan la escorrentía de la superficie.*

de nieve o lodo en un camino empinado con peralte hacia afuera podrían ser peligrosas); o 3) la escorrentía cuesta arriba o el flujo excesivo de manantiales desde el corte marginal o la calzada (que podría hacer necesaria una cuneta de drenaje interna).

Sin embargo, muchos caminos con cunetas son también candidatos para el peralte hacia afuera de la superficie, de ahí la escorrentía de drenaje de la superficie hacia afuera y no hacia la cuneta. La cuneta interna lleva flujos de agua relativamente clara de filtraciones y manantiales, mientras que la superficie del camino con peralte hacia afuera asegura que la escorrentía turbia del camino y el sedimento fino erosionado de la calzada drenen al borde externo del camino donde se puede descargar con seguridad a la vegetación y suelos no perturbados. El peralte hacia afuera por ende minimiza los flujos en la cuneta interna y reduce el potencial de erosión y entrega de sedimento desde la superficie del camino.

Claramente, si las condiciones lo permiten, los caminos deben construirse con una superficie con peralte hacia afuera, sin cuneta ni bermas a lo largo del borde externo del camino. SI se necesitan bermas por un tema de seguridad, se deben interrumpir frecuentemente a lo largo de su extensión para permitir el drenaje de la superficie del camino dispersado. La Tabla 18 muestra los criterios de diseño para el grado de peralte hacia afuera necesario para drenar las superficies del camino sobre inclinaciones diferentes. El diseño de superficies del camino con peralte hacia afuera, especialmente en inclinaciones más empinadas, también debería considerar la seguridad donde la superficie del camino pueda ser resbalosa (por ejemplo, en condiciones de lluvia o nieve) durante partes del año.

Donde los terraplenes son estables, los caminos se deben diseñar y construir con el ancho mínimo y con un leve peralte hacia afuera de 3 a 5% (Figura 29). Sin embargo, en la mayoría de los caminos, especialmente aquellos con pendientes que supera el ocho por ciento (8%), dar un peralte hacia afuera no siempre es suficiente para quitar la escorrentía de la superficie de los surcos de las ruedas y fuera del camino con rapidez. Aquí, además del peralte hacia afuera, se necesitan interceptores de agua (para caminos estacionales o temporales) o vados ondulantes (para caminos permanentes y estacionales) a fin de desviar la escorrentía de la superficie fuera de los caminos con peralte hacia afuera.

Donde un camino con peralte hacia afuera gira en una curva externa el peralte hacia afuera frecuentemente se pega a una forma de camino con peralte hacia adentro en la dirección del giro, y luego vuelve a un peralte hacia adentro en el siguiente tramo recto. Estas medidas de seguridad se llaman comúnmente súper peralte hacia adentro (girando alrededor de una loma) o súper peralte hacia afuera (girando alrededor ce una depresión o un bajío). La forma del camino mantiene a los vehículos "en bancos" leves alrededor de las curvas en el camino y les permite mantener velocidades constantes sin incrementar el riesgo de derrapar fuera del camino que gira. Las secciones cortas de forma de camino alternada también permiten el drenaje disperso de la superficie del camino.

TABLA 18. "Inclinación" de peralte hacia afuera para caminos de hasta 8% de inclinación[1]

Pendiente del camino	"Inclinación" de peralte hacia afuera para caminos no cubiertos	"Inclinación" de peralte hacia afuera para caminos cubiertos
≤ 4%	3/8" por pie	1/2" por pie
5%	1/2" por pie	5/8" por pie
6%	5/8" por pie	3/4" por pie
7%	3/4" por pie	7/8" por pie
≥ 8%	1" por pie	1 ¼" por pie

[1]Departamento Forestal de California (1984)

FIGURA 29. *La forma del camino cambia a medida que el camino recorre la superficie. Por ejemplo, un camino con peralte hacia afuera tiene un peralte hacia afuera empinado o "en banco" a través de las curvas interiores, un peralte hacia afuera constante a través de extremos rectos y una forma de peralte hacia adentro leve al recorrer un curva exterior. El camino puede tener un peralte hacia afuera de 2-3% a través de la superficie transitables mientras que el acotamiento tiene un peralte hacia afuera más empinado para asegurar que la escorrentía y el sedimento dejen la calzada.*

b. Caminos en corona

Una superficie de camino en corona es una que tradicionalmente cae levemente alejándose de la línea central del camino y drena a ambos lados de la corona (Figura 30). La corona se utiliza más comúnmente donde los caminos son lo suficientemente anchos como para un tránsito de dos carriles. La corona también se puede utilizar para fines de seguridad para mantener separado el tránsito y donde las pendientes del camino son inclinadas o es común que haya nieve; la forma de corona ayuda a evitar que los vehículos se resbalen fuera del camino.

La porción interna del camino en corona drena hacia adentro al corte marginal y la cuneta, mientras que la porción externa drena hacia afuera al terraplén,

FIGURA 30. *Los caminos coronados tiene su pico cerca del centro del la calzada y cada lado de la superficie del camino drena a una cuneta. Este segmento estable, coronado del camino es un corte a través en la ladera y las cunetas se drenan frecuentemente para prevenir la erosión de la cuneta.*

reduciendo por ende el volumen de escorrentía de la superficie del camino (y sedimento fino) que fluye a la cuneta interna. Se puede dar el pico a la corona en el centro del camino, básicamente al dividir el drenaje de la superficie del camino por la mitad, o compensar desde el centro para que más porción de la superficie del camino drene hacia un lado el otro. Por ejemplo, dar forma de corona en el 1/3 interior de la superficie del camino da como resultado que la mayor parte de la escorrentía de la superficie y el sedimento se descarguen en el exterior del balcón del camino, muy parecido a un camino con peralte hacia afuera. Independientemente de la ubicación de la corona, aún se necesita una cuneta interna.

En caminos recubiertos con rocas y material nativo, dar la forma de corona requiere darle pendiente frecuente de mantenimiento y/o el uso de vados ondulantes para drenar el agua fuera del camino antes de que produzca surcos (Figuras 31a y 31b). La pendiente transversal recomendada es entre 4% y 6%, o ½" a ¾" de caída por pie horizontal de ancho. Cuanto más empinada es la pendiente transversal significa que hay menos potencial para que el agua penetre y debilite el camino y, por ende, intervalos más largos entre las operaciones de mantenimiento de la pendiente.

c. Caminos con peralte hacia adentro

Los caminos con peralte hacia adentro se deben construir solo donde el drenaje de la superficie del caminos se debe mantener fuera del terraplén (porque es

FIGURA 31A. *Corona en la línea central con adecuada pendiente transversal para un camino no pavimentado. El drenaje del camino fluye sin obstrucción hacia afuera de la superficie del camino y hacia la vegetación lindante. Observe el leve aumento de la pendiente en el acotamiento del camino para alentar el drenaje hacia afuera del camino (Center for Dirt and Gravel Road Studies, 2005).*

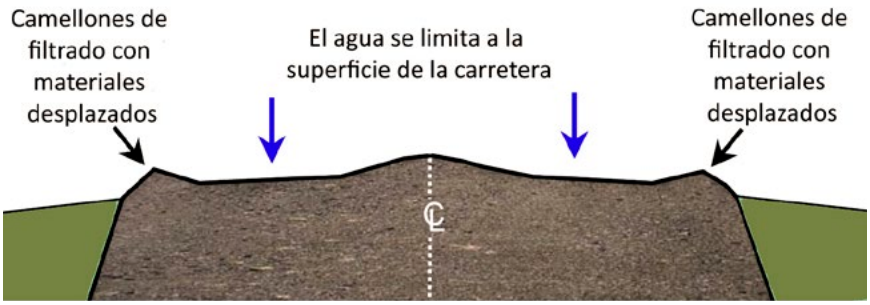


FIGURA 31B. *La corona en la línea central se ha deformado con el tiempo. El drenaje de la superficie del camino está atrapado sobre el camino por el movimiento de grava, las bermas de nivelación o los surcos que se provocan en el camino con el tránsito pesado. El drenaje del camino recorre la superficie del camino con surcos provocando erosión, pérdida de material del camino y mayor mantenimiento Se puede volver a dar forma al camino para restaurar el drenaje transversal, pero se necesitan vados ondulantes para proveer un drenaje eficaz y permanente de la superficie (Center for Dirt and Gravel Road Studies, 2005).*

inestable o el camino está ubicado justo junto a un arroyo), o donde dar un peralte hacia afuera crearía condiciones de conducción inseguras. Los caminos con peralte hacia adentro drenan la escorrentía de la superficie al interior de la calzada, generalmente a una cuneta, donde se combina con el flujo del talud de corte y áreas colina arriba y se descarga a alcantarillas de cruce de arroyos cercanas o alcantarillas de cunetas (Figura 32). La cuneta hace que la capa freática debajo del camino descienda al fluir fuera del suelo y a la cuneta.

Según el tipo de tránsito y los materiales de la superficie del camino, los caminos más empinados que aproximadamente el 8 al 10 por ciento pueden ser demasiado empinados para tener un peralte hacia afuera seguro. En esta escena, el peralte hacia adentro con una cuneta puede ser necesario, aunque el potencial de creación de barrancos en la cuneta aumenta con la pendiente del camino. Adentro, las cunetas se deben drenar a intervalos suficientes para prevenir la erosión de la cuneta y la formación de barrancos de salida, y en ligares donde el agua y el sedimento se puedan filtrar antes de llegar a un curso de agua. El "filtrado" se puede lograr mediante la vegetación densa, taludes suaves, fosas de sedimentación, o hileras de filtrado de escombros de madera y mantillo colocadas y aseguradas en el talud.

Al igual que con los caminos con peralte hacia afuera, las superficies de caminos con peralte hacia adentro empinadas pueden ser difíciles de drenar rápidamente. Los vados ondulantes (para caminos permanentes y caminos estacionales) o los interceptores de agua (para caminos estacionales o temporales, sin cubrir) se deben construir a intervalos suficientes como para que dispersen la escorrentía de la superficie del camino de segmentos empinados del camino (Tablas 3 y 19). Las cunetas

FIGURA 32. *Este camino rural con peralte hacia adentro drena en una zanja interna que muestra evidencia de socavación pasada. Las cunetas internas se deben drenar con alcantarillas de alivio de drenaje con la suficiente frecuencia como para prevenir la erosión de la cuneta, y también la erosión del talud donde se descarga la alcantarilla.*

TABLA 19. Espaciado máximo recomendado del vado ondulante y la alcantarilla de alivio de la cuneta, en pies, basado en el gradiente del camino y la erosionabilidad del suelo [1, 2]

Erosionabilidad del suelo	Gradiente del camino (%) y espaciado del vado ondulante (pies)				
	0–3	4–6	7–9	10–12	>12
Alta a moderada	250	160	130	115	100
Baja	400	300	250	200	160

[1]basados en Keller y Sherar (2003). También sugeridos por la Junta Forestal y de Protección Contra Incendios de California en el Anexo a la Norma Técnica Nro. 5 (consulte el Apéndice E).
[2]Si el drenaje de la superficie del camino está conectado hidrológicamente a un cruce de arroyos, instale el primer vado ondulante y/o alcantarilla de alivio de cuneta cerca del cruce, pero de manera tal que drene sobre el terraplén o la ladera y no entregue escorrentía en el curso de agua. La siguiente (segunda) estructura de drenaje se debería colocar para que tampoco descargue en el arroyo. Agregue tratamientos de alivio de drenaje adicionales a lo largo del camino conforme al espaciado aproximado recomendado en esta tabla.

y las alcantarillas necesitan mantenimiento ocasional para funcionar correctamente y para transportar los flujos que fueron diseñados para manejar. Cuando las cunetas se bloquean con depresiones del corte marginal, se deben limpiar. Sin embargo, el mantenimiento excesivo de las cunetas (en su mayoría la formación de la pendiente) puede provocar erosión continua y persistente, transporte de sedimento y contaminación de sedimento a los arroyos locales durante la escorrentía pluvial.

3. ESTRUCTURAS DE DRENAJE DEL CAMINO

Las estructuras de drenaje del camino incluyen las características de un camino, además de la forma del camino, diseñadas para drenar la superficie del camino y la escorrentía de la superficie fuera o lejos del prisma del camino. Las estructuras de drenaje del camino incluyen vados ondulantes, camellones, bermas de drenaje, cunetas y alcantarillas de alivio de cunetas. El propósito de todas las estructuras de drenaje es quitar el agua y alejarla de la calzada lo más rápidamente posible para que los materiales de la calzada no se saturen, y para que se minimice la erosión de la calzada/cuneta.

a. Vados ondulantes superficiales

Los vados ondulantes superficiales y una superficie del camino inclinada son críticas para mantener un camino bien drenado, con peralte hacia afuera. En caminos que suben (o bajan), especialmente en formas con peralte hacia afuera, la superficie del camino se puede drenar usando vados ondulantes superficiales o camellones. A diferencia de los caballones desviadores abruptos, los vados ondulantes superficiales se deben poder transitar por encima a las velocidades prevalecientes en el camino donde estén instalados. Los vados ondulantes superficiales son depresiones suaves e inclinadas construidas en la calzada (Figuras 33a, 33b). En la Tabla 20 se muestran las dimensiones de diseño típicas de los vados ondulantes superficiales. **Es importante usar vados ondulantes superficiales, en lugar de camellones, en los caminos con uso infrecuente porque el tránsito rompe y/o quiebra rápidamente los camellones. Los camellones se deben reservar para caminos estacionales no cubiertos que tienen poco tránsito y/o nada de uso durante la temporada húmeda.**

Los vados ondulantes superficiales generalmente se utilizan en caminos con peralte hacia afuera para drenar la escorrentía de la superficie del camino a la parte exterior del camino, pero se pueden construir en caminos con peralte hacia adentro, coronados o con peralte hacia afuera para drenar la escorrentía en cualquiera de las direcciones. Sin embargo, recuerde que el objetivo del drenaje eficaz es dispersar más que recolectar y concentrar la escorrentía del camino. Es probable que las estructuras de drenaje que drenan hacia el interior del camino probablemente requieran una mayor cantidad de alcantarillas de alivio de cunetas para evitar la erosión de la cuneta y/o la formación de barrancos en la ladera.

En general, los vados ondulantes amplios se construyen perpendiculares al trazado del camino, con una inclinación transversal de al menos 1 a 3 por ciento mayor que la pendiente del camino. La pendiente transversal del talud garantiza el drenaje adecuado hacia la parte exterior del vado. Si el peralte hacia afuera en el eje del vado ondulante es insuficiente, el agua no se drena, se deposita sedimento, y se forman charcos y baches. La morfología del vado da como resultado un movimiento hacia arriba y abajo o de ondulación leve al transitarse. Algunos vados ondulantes superficiales se construyen a un ángulo de 30 a 45 grados con respecto al trazado del camino, pero si el camino recibirá tránsito de camiones y remolques comerciales (por ejemplo, camiones que llevan troncos o remolques de ganado) este ángulo puede provocar una acción de balanceo y giro considerable para las cargas pesadas de camiones y remolques que pueden no ser aceptables.

Los vados ondulantes superficiales se construyen con un acercamiento largo y bajo en su lado cuesta arriba y una pendiente de elevación abrupta o pendiente invertida en su lado cuesta abajo (Figura 34, Tabla 20). Los vados se deben construir con suficiente profundidad en la subrasante del camino para que el tránsito y la corrección subsiguiente no los destruya. Su extensión y profundidad debe brindar el drenaje necesario, pero no un peligro de tránsito (Figura 35).

Los vados ondulantes superficiales se pueden desglosar en tres tipos, según el gradiente existente del camino y las condiciones del borde fuera del camino.

FIGURA 33A. *Vado ondulante superficial construido en un camino rural recubierto con rocas. El vado ondulante superficial representa un cambio en la pendiente a lo largo del trazado del camino y actúa para descargar agua que se ha reunido sobre la superficie del camino o fluye por ella. Este camino se ha convertido recientemente de un camino de alto mantenimiento, con peralte hacia adentro, con cuneta, a un camino de bajo mantenimiento, con peralte hacia afuera y con vados ondulantes superficiales.*

FIGURA 33B. *Esta vista lateral del camino con peralte hacia afuera muestra que el vado ondulante superficial no tiene que ser profundo ni abrupto para invertir la pendiente y drenar la superficie del camino. Este camino forestal con peralte hacia afuera tiene vados ondulantes superficiales que permiten que tránsito de todo tipo recorra la ruta sin cambiar la velocidad.*

TABLA 20. Tabla de dimensiones de vado ondulante[1]

Pendiente del camino (%)	Enfoque cuesta arriba[2] (distancia de inicio del vado ondulante cuesta arriba al abrevadero) (pies)	Pendiente invertida[2] (distancia de abrevadero a cresta) (pies)	Profundidad debajo de la pendiente promedio del camino al extremo de descarga del abrevadero[2] (pies)	Profundidad debajo de la pendiente promedio del camino al extremo cuesta arriba del abrevadero[2] (pies)
<6	55	15–20	0,9	0,3
8	65	15–20	1,0	0,2
10	75	15–20	1,1	0,1
12	85	20–25	1,2	0,1
>12	100	20–25	1,3	0,1

[1]USDA-SCS (1981)
[2]Consulte también la Figura 36

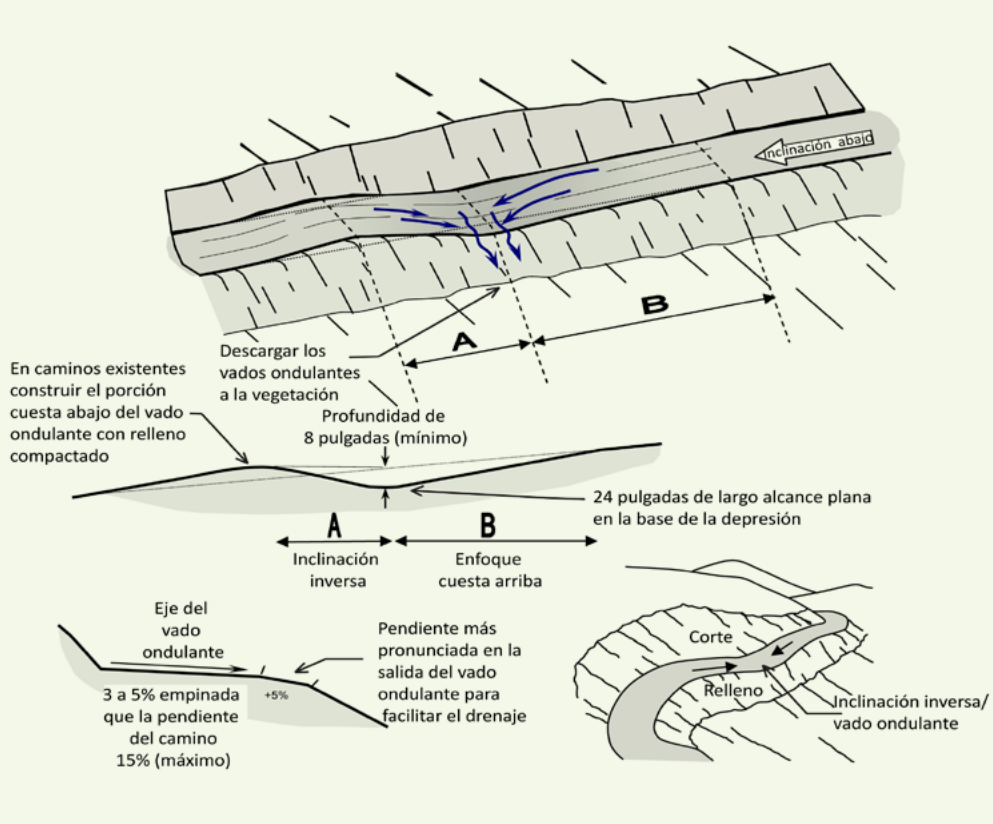


FIGURA 34. *Un vado ondulante superficial clásico de Tipo I, donde el acercamiento camino arriba (B) hacia el vado ondulante es varios puntos porcentuales más inclinado que el camino que se acerca y se extiende de 60 a 80 pies hasta el eje del vado. El lado más bajo de la estructura invierte la inclinación (A) a más de 15 pies, y luego baja para volver a unirse a la pendiente original el camino. El vado debe ser lo bastante profundo como para que no se destruya con la nivelación normal, pero no tan profundo como para que sea difícil de transitar o sea un peligro para el tránsito normal. La inclinación transversal externa del eje del vado debe ser 3% a 5% mayor que la pendiente original del camino (B) para que drene adecuadamente. El eje del vado debe tener suficiente peralte hacia afuera para que se limpie solo, sin desatar erosión excesiva o deposición de sedimento en el eje del vado (Modificado de: Best, 2013).*

FIGURA 35. *Este camino forestal con peralte hacia afuera es utilizado por camiones comerciales de explotación forestal y fue construido con vados ondulantes superficiales frecuentes para promover el drenaje de la superficie del camino. Los vados se construyeron como parte de la construcción del camino planificada para el uso de tránsito de camiones y remolques. Observe que los cortes marginales son rocosos, secos, y estables y no hay cuneta interna.*

La Figura 36 brinda las características de diseño generales de los tres tipos de vados ondulantes.

- Un vado ondulante Tipo 1 es el diseño estándar de vado ondulante para caminos que no tienen un corte a través o una berma grande que evitaría que el vado drenara al terraplén externo adyacente. Los vados ondulantes Tipo 1 se construyen en caminos con gradientes menores de 12–14%, y con o sin una berma externa pequeña que se puede quitar con facilidad. Si hay una berma exterior presente asegúrese de quitar la berma en toda la extensión del vado.

- Los vados ondulantes Tipo 2 están diseñados para caminos con gradientes menores de 12–14% dentro de un corte transversal pequeño, o que tienen una berma grande (por ejemplo, alta y/o ancha) en el borde exterior del camino. Este tipo de vado requiere "quebrar" o excavar el corte transversal exterior o berma grande por el eje del vado. El ancho del quiebre depende de las condiciones del camino (por ejemplo, ancho de la berma, inclinación del camino y materiales de la subrasante del camino).

- Los vados ondulantes Tipo 3 se sugieren para caminos con gradientes que superan 12–14% donde la inclinación del camino evita la construcción de un vado ondulante con una pendiente invertida. En vez de construir un vado con una pendiente invertida, un vado ondulante Tipo 3 se construye haciendo un peralte hacia afuera agresivo de 6–8% desde el borde interno al borde externo del camino para garantizar que la escorrentía viaje oblicuamente a través del camino y salga del camino dentro del peralte hacia afuera ondulante. Este peralte hacia afuera se desarrolla rompiendo la calzada y empujando el relleno del camino desde la mitad externa a la mitad interna del camino.

Espaciado de vados ondulantes—La frecuencia o "espaciado" de los vados ondulantes y las interrupciones de pendiente (Figura 37), y la cantidad de "peralte hacia afuera" necesario para drenar la superficie del camino, depende de la pendiente del camino, así como también de la superficie del mismo (Tabla 19). Para diseñar el espaciado de la estructura de drenaje, es útil ver caminos locales para determinar el espaciado máximo que es probable que funcione para los suelos y el cima de su área específica. Los ejemplos de criterios de diseño del espaciado de la estructura de drenaje para minimizar la erosión de la superficie del camino y las cunetas (camellones y vados ondulantes) se indican en la Tabla 3 y, alternativamente, la Tabla 19 (vados ondulantes y alcantarillas de alivio de cunetas).

Las tablas de drenaje brindan orientación y son comunes en la bibliografía, pero las observaciones locales son clave para determinar el espaciado más adecuado en su área particular. En general, el espaciado de las estructuras de drenaje del camino es adecuado cuando puede observar incisiones menores en el terraplén del camino donde ocurre la escorrentía, pero no hay surcos o barrancas en la ladera o no se extienden continuamente a taludes nativos debajo de la salida de la estructura de drenaje (Figura 38).

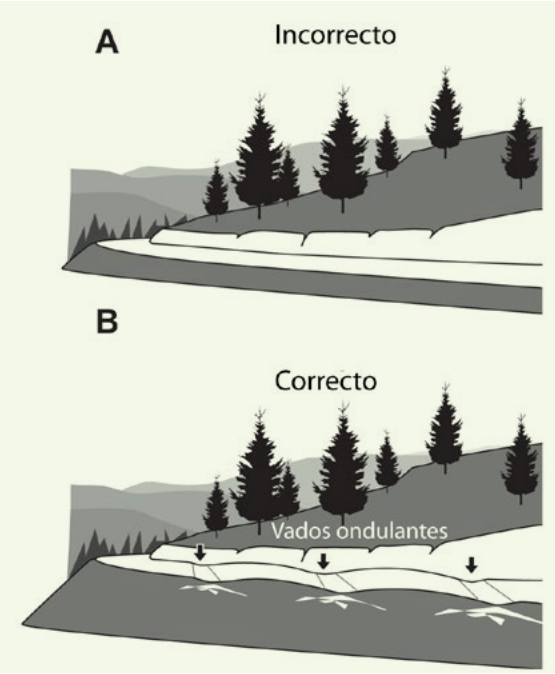
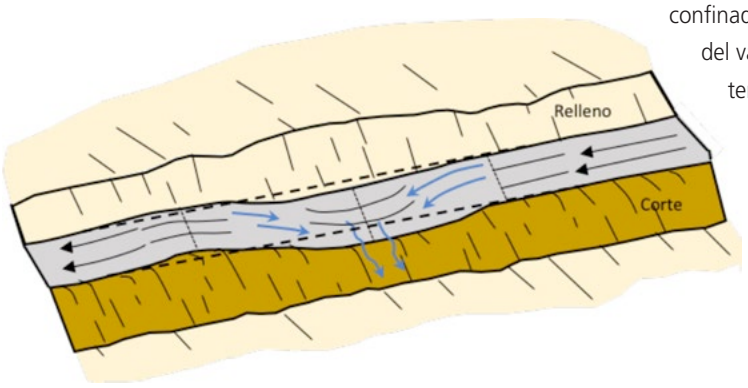


FIGURA 37. *Instalar vados ondulantes", u "ondular la pendiente" de un camino con peralte hacia afuera ayuda a garantizar que la escorrentía de la superficie no se concentre en la superficie del camino y erosione la calzada, y que la escorrentía del camino se disperse por la ladera. El espaciado de los vados ondulantes depende de la pendiente del camino, la erosionabilidad del suelo y la proximidad del curso de agua más cercano (Kramer, 2001).*

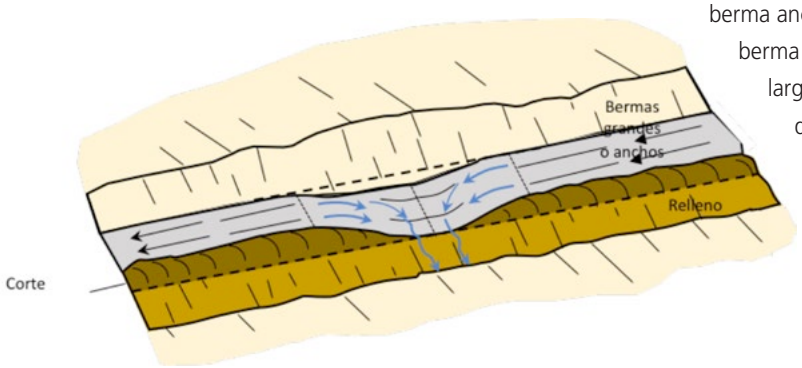
Vado ondulante superficiale tipo 1 (Estándar)

Los vados ondulantes superficiales tipo 1 se utilizan cuando las pendientes del camino son inferiores al 12-14 % y la escorrentía del camino no está confinada mediante un gran corte transversal o berma. El eje del vado debe ser perpendicular a la alineación del camino y tener una pendiente del 3-4 % a lo largo de la traza del camino. Los caminos empinados ya no tendrán dimensiones mayores y vados más abruptos para desarrollar una pendiente inversa a través del eje del vado. La traza del camino o la salida del vado pueden cubrirse con rocas para protegerlas de la erosión si es necesario.



Vado ondulante superficiale tipo 2 (Cortes a través o caminos con grandes bermas)

Los vados ondulantes superficiales tipo 2 se construyen en caminos de hasta 12-14 % de pendiente que tienen un corte transversal de hasta 3 pies de alto, o una berma ancha o alta que bloquea el drenaje del camino de algún modo. La berma o el material del corte transversal nativo deben eliminarse en el largo del vado, o al menos a través del eje del vado, en la medida que sea necesario para brindar un drenaje constante a la pendiente adyacente. La berma y el material de la pendiente pueden excavarse y ser transportados a su disposición final o el material puede ser vertido lateralmente a pendientes nativas de hasta 45%, siempre y cuando no ingresen a un arroyo.



Vado ondulante superficiale tipo 3 (la pendiente del camino más profunda)

Los vados ondulantes superficiales tipo 3 se utilizan cuando las pendientes de los caminos son mayores al 12 % y no hay posibilidades de desarrollar una pendiente inversa que también permita el paso del vehículo de diseño (las pendientes de caminos más profundas requieren inversiones de pendiente más abruptas y algunos vehículos no podrán cruzar sin tocar fondo).

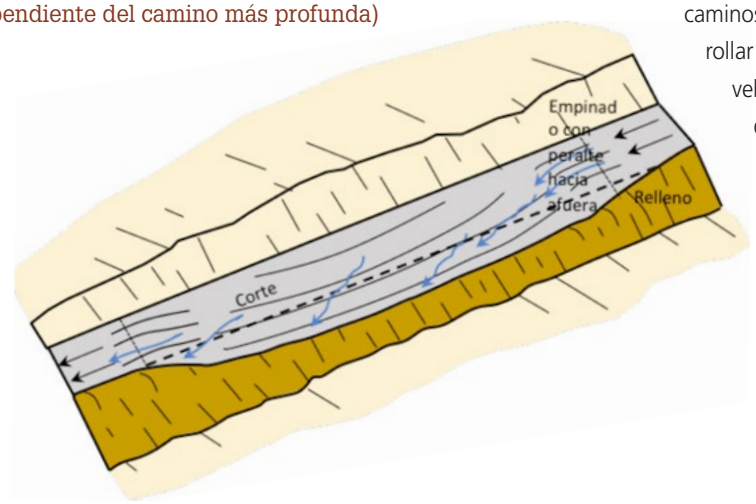


FIGURA 36. *Tipos de vados ondulantes.*

FIGURA 38. *Los vados ondulantes superficiales se deben espaciar en caminos con peralte hacia afuera para que la superficie del camino esté bien drenada y libre de erosión, y los taludes debajo de cada vado muestren mínima erosión. Tres vados ondulantes superficiales amplios (vea las flechas) son visibles en este segmento de camino mejorado utilizado por tránsito comercial y residencial.*

La guía básica de espaciado de la Tabla 19 se debe medir con la proximidad de los puntos de descarga con respecto a los arroyos y otros cursos de agua, y considerando los factores que podrían incrementar la probabilidad de que la escorrentía y el sedimento se transporte al arroyo, lago o humedal. Esas cosas que probablemente aumentan la probabilidad de entrega de sedimento incluyen factores como: una distancia corta al arroyo o curso de agua más cercano; taludes empinados; terrenos inestables, la presencia de barrancos o canales que podrían recolectar y transportar eficazmente la escorrentía del camino y sedimento; suelos descubiertos o densidad baja de vegetación; y suelos bajos o ricos en arcilla con índices bajos de infiltración. **Para representar la conectividad hidrológica en las tablas de espaciado de drenaje sugerido debe reducir considerable y progresivamente ese espaciado de las estructuras de drenaje a medida que se acerca a arroyos y otras aguas, representando la proximidad de arroyos o lagos, la inclinación de la ladera y otros factores que contribuyen.**

b. Camellones, camellones de caucho y alcantarillas de caja abierta

Los camellones también se pueden usar para drenar una superficie del camino. Son vados o abrevaderos bajos, abruptos y excavados con una loma cuesta abajo o berma en montículo que se construyen en un ángulo oblicuo cruzando el camino (Figura 39). Para mantener la mayor eficacia, el eje del camellón (incluso donde drena sobre la ladera adyacente) se debe construir a un gradiente levemente más empinado que el gradiente del camino que debe drenar. Esto evita la deposición dentro o en la salida de las estructura y mantiene el flujo y el transporte de sedimento a lo largo de su extensión.

Los camellones son útiles solo en caminos sin recubrir de normas bajas estacionales o temporales, donde no ocurre el uso durante el invierno o la temporada húmeda, porque el tránsito corta fácilmente la berma suave y llena el vado adyacente. Los camellones se deben construir en el espaciado adecuado conforme a la pendiente del camino (Figura 40; Tablas 3 y 19). Los camellones generalmente se nivelan nuevamente al comienzo de cada temporada de operaciones en las cuales el camino se utilizará y abrirá

FIGURA 39.
Los camellones a menudo se utilizan para drenar la escorrentía de la superficie de caminos estacionales y no recubiertos. Como los vehículos los rompen fácilmente, los camellones solo se utilizan en caminos no recubiertos donde hay poco o nada de tránsito en clima húmedo. En esta foto, se utilizan un camellón y una alcantarilla de alivio de cuneta para drenar toda la superficie del camino y el escorrentía de la cuneta del prisma del camino con peralte hacia adentro.

al tránsito, y luego se reconstruyen antes del comienzo de cada período invernal o de temporada húmeda.

Los camellones son estructuras de alto mantenimiento que son propensas a fallas si no se construyen y mantienen adecuadamente. Es probable que el tránsito invernal no autorizado rompa los camellones y dé como resultado la grave erosión de la superficie del camino y la contaminación del agua. La mayoría del tránsito no debe ingresar a los caminos que se drenan con camellones, especialmente durante la temporada húmeda donde los suelos son más blandos.

En caminos estacionales con rocas y caminos donde los camellones no se pueden construir ni mantener todos los años, ocasionalmente se construyen alerones gruesos de caucho o "camellones de caucho" en la calzada. El camellón de caucho es muy útil donde la graduación del camino no es necesaria pero la superficie del camino necesita mejor drenaje.

Estos dispositivos de desvío del drenaje a veces están hechos de franjas de caucho delgadas o telas de cintas transportadoras recuperadas, y se colocan a una profundidad de 12 pulgadas y se anclan en la calzada a un ángulo oblicuo al trazado del camino, muy similares a los camellones. Sobresalen aproximadamente 4 pulgadas sobre la superficie de tránsito y desvían la escorrentía de la superficie al costado del camino. Los alerones se doblan hacia abajo cuando los vehículos pasan sobre el camellón y luego inmediatamente vuelven a su posición para desviar la escorrentía. A diferencia de los camellones, los vehículos pueden transitar sobre el alerón sin tener que reducir la velocidad; se dobla y vuelve a su posición cuando pasa el vehículo. Las desventajas principales incluyen la instalación con mano de obra intensiva requerida para construir cada dispositivo de desvío, y la dificultad de alisar la superficie del camino que contiene frecuentes camellones de caucho.

También se pueden usar alcantarillas de caja abiertas (usualmente hechas de madera o metal) para drenar la superficie del camino, pero a menudo se llenan de tierra y rocas, son difíciles de nivelar, y usualmente requieren niveles mayores de mantenimiento para seguir abiertas y funcionales. Deberían tener una pendiente relativamente empinada para que se limpien solas durante eventos de escorrentía, y a menudo se les coloca una rejilla en la superficie para evitar que grandes rocas ingresen en la parte superior de la alcantarilla y obstruyan el flujo.

Al igual que los camellones, y para brindar máxima eficacia y un mínimo mantenimiento, estas estructuras de drenaje de caminos menos comunes se deben construir oblicuamente a través del camino de manera tal que su inclinación sea levemente mayor que la pendiente del camino que drenan.

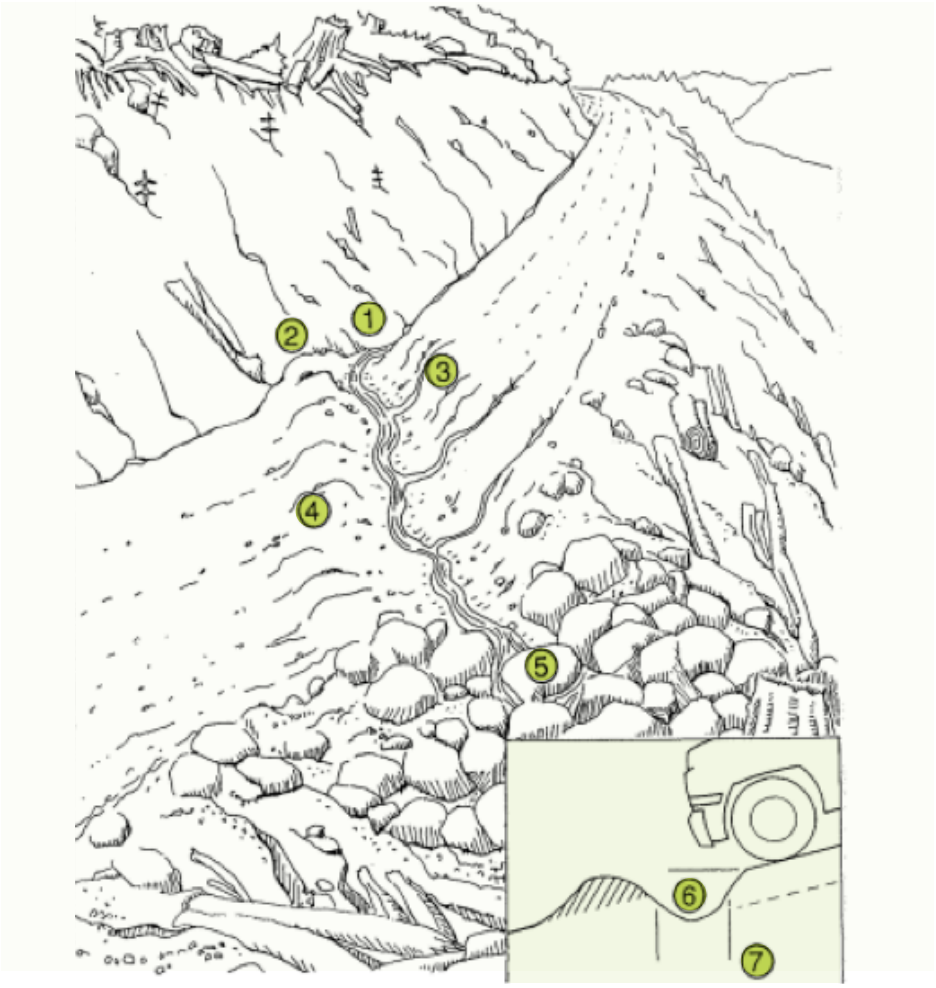


FIGURA 40. *Los camellones se construyen en caminos forestales y rurales no recubiertos que tendrán poco o nada de tránsito durante la temporada húmeda. El camellón debe extenderse al corte marginal para interceptar todo el flujo de la cuneta (1) y extenderse más allá del acotamiento del camino. Una berma (2) debe bloquear y evitar que el flujo de la cuneta continúe camino abajo durante los flujos de crecida. El camellón excavado (3) se debe construir para que sea auto limpiante, usualmente con un sesgo de 30° con respecto al trazado del caballón desviador con el material excavado colocado en bermas sobre la pendiente cuesta abajo del camino (4). El agua siempre se debe descargar sobre el lado cuesta abajo sobre un talud estable protegido por vegetación. Las rocas (que se muestran en la figura) no deberían ser necesarias si los camellones se colocan a espacios suficientemente cerca como para evitar erosión seria. (5) La profundidad de la cuneta transversal (6) y el ancho (7) deben permitir el tránsito de vehículos sin destruir la función del drenaje. Son posibles varios tipos alternativos de camellones, incluso uno que drena solo la superficie del camino (no la cuneta), y una que drena la superficie del camino en la cuneta interna (BCMF, 1991).*

c. Bermas de drenaje

Las bermas de drenaje generalmente se definen como una hilera continua de relleno y/o agregado, usualmente en el borde exterior de un camino, lo que evita que el agua de la superficie deje el camino (Figuras 41 y 42). Las bermas se pueden crear de varias maneras y tiene varios fines, o pueden ser el resultado de malas prácticas de nivelación. **Independientemente de su origen, las bermas del camino tienen la consecuencia negativa de recolectar y concentrar la escorrentía de la superficie del camino involuntariamente.** Las bermas ubicadas a lo largo del borde externo de un camino coronado o con peralte hacia afuera evita que la escorrentía del camino deje la calzada y pueden dar como resultado erosión de la calzada o del barranco donde la escorrentía concentrada se libera del camino.

No todas las bermas son malas. Por ejemplo, donde se han formado bermas a lo largo de la parte exterior de un camino con peralte hacia adentro, y la escorrentía de la superficie del camino fluye alejándose de la berma y hacia la cuneta interna, la berma no tendrá ningún efecto hidrológico negativo. De igual manera, a veces las bermas se usan como una medida de seguridad real o percibida para evitar que los vehículos se resbalen de caminos con peralte hacia afuera o coronados que son empinados o están construidos en una zona de nieve, o donde el camino es angosto y la ladera adyacente es extremadamente empinada. En otros lugares, se pueden construir bermas intencionalmente en el borde exterior del camino para evitar que el agua de drenaje fluya a un arroyo o a un área inestable (Figura 42). Los operarios niveladores usan a menudo bermas como reservorio temporal del material de recubrimiento del camino que se puede volver a llevar a la superficie del camino durante operaciones de alisado de mantenimiento de rutina.

FIGURA 41. *Esta berma externa en un camino coronado impide que la escorrentía de la superficie del camino drene sobre la ladera adyacente.. Si el camino tuviera peralte hacia adentro, la berma no interferiría con el drenaje del camino.*

FIGURA 42. *Extensión corta del camino donde se ha construido una berma de tierra a lo largo del borde exterior del prisma del camino para evitar que la escorrentía de la superficie fluya sobre el relleno altamente erosionable. Para evitar que la superficie del camino acumule demasiada escorrentía y se erosione, la berma se puede interrumpir intermitentemente y se puede utilizar una pequeña entrada y alcantarilla acampanada o drenaje-berma de hoja de metal para llevar la escorrentía cuesta abajo pasando la base del terraplén erosionable.*

Muchas otras bermas del camino a lo largo de caminos forestales y rurales se arman involuntariamente como consecuencia de la nivelación y el mantenimiento de rutina de la superficie del camino, dejando una berma pequeña (o grande) de material de desecho a lo largo del borde exterior del camino. Con el tiempo, estas bermas pequeñas se hacen permanentes al cubrirse de vegetación. Las bermas más grandes a menudos son el producto final involuntario de años de nivelación de rutina. **Las bermas del camino en la parte exterior de un camino con peralte hacia afuera o coronado pueden tener el mismo efecto que un corte transversal; la escorrentía del camino puede ser bloqueada por la berma y puede resultarle imposible drenar fuera de la superficie del camino. Recolecta, desvía y luego descarga la escorrentía donde puede provocar barrancos en el terraplén y/o la ladera.**

Las bermas se forman también debido a obstrucciones físicas que evitan la nivelación eficaz de la superficie del camino. El crecimiento de vegetación o árboles jóvenes en el borde exterior de un camino, o la presencia de una límite de propiedad o una cerca de ganado a lo largo del borde interior o exterior de un camino, puede evitar la nivelación eficaz de la superficie, y por ende provocar la formación de una berma residual. Las bermas del camino también son creadas por los equipos de mantenimiento del camino cuando deciden

almacenar materiales de desecho, creados en otro lugar (por ejemplo, al hacer trabajo de despeje), a lo largo del borde exterior de una sección ancha del camino.

Tratamientos de las bermas—Generalmente es buena práctica quitar completa o intermitentemente las bermas que bloquean la escorrentía del camino y evitan el drenaje eficaz del mismo. Si las bermas no bloquean ni desvían la escorrentía de la superficie del camino pueden quedar en el lugar sin efectos adversos. A menudo se pueden usar tratamientos simples para minimizar el impacto hidrológico de las bermas sobre los caminos, el drenaje de la superficie del camino y la calidad del agua aguas abajo:

- Mantenga el borde exterior de caminos con peralte hacia afuera o coronados libres de bermas a menos que se coloquen intencionalmente para controlar el agua o por seguridad del tránsito.
- Donde evitan el drenaje de la superficie del camino, elimine las bermas o quiebre las bermas en lugares estratégicos no erosionables para permitir que drenen a taludes estables y no erosionables.
- Donde no existan peligros para el tránsito, evite crear una hilera o pequeña berma de material a lo largo del borde de un camino con peralte hacia afuera o coronado durante la nivelación de mantenimiento que pueda formar una barrera para dispersar la escorrentía de la superficie del camino.
- Considere instalar una berma elevada en el borde exterior del camino sobre cruces de arroyos recién construidos para evitar que la escorrentía de la superficie del camino se descargue sobre y erosionen de terraplenes recién construidos hasta que estén bien cubiertos de vegetación.
- Las bermas también son buenas para utilizar donde el camino corre muy cerca paralelamente a un arroyo, el lago o humedal. Las bermas se pueden usar para controlar y dirigir la escorrentía de la superficie del camino, y para descargarla intencionalmente donde el sedimento no impacta arroyos, lagos o humedales.
- Cuando se necesitan bermas externas como medida de seguridad permanentes, interrúmpalas a intervalos frecuentes (por ejemplo, cada 30 a 60 pies) para quebrar el largo de la berma y la escorrentía acumulada que ocurriría de otra manera.
- Las bermas del camino sobre caminos con peralte hacia adentro no afecta el drenaje del camino y usualmente pueden quedar en el lugar con poco efecto negativo.
- Si no se necesitan, o si provocan problemas de drenaje y erosión del camino, las bermas del camino en caminos coronados o con peralte hacia afuera se pueden quitar parcial o completamente.
- Según la inclinación del talud y la proximidad del camino a un arroyo, las bermas se pueden quitar mediante excavación o vertido lateral. No se debe usar vertido lateral si existe la posibilidad de que desechos o sedimento erosionado ingrese a un curso de agua y/o aumente la inestabilidad del terraplén.

d. Cunetas

Históricamente, muchos caminos se han construido "automáticamente" con peralte hacia adentro, con una cuneta interna. Durante décadas, ese fue el estándar de diseño por defecto, aunque las laderas fueran o no húmedas y se necesitara o no realmente una cuneta. Los propietarios de tierras deben evaluar la humedad del suelo, generalmente durante la temporada húmeda, para determinar qué porción del camino en realidad requiere una cuneta para el drenaje y para mantener una calzada firme y estable. Las secciones de camino secas se deben construir, o reconstruir, con peralte hacia afuera, sin cuneta. En áreas húmedas, el camino aún puede ser con peralte hacia afuera si se necesita una cuneta interna para drenar el agua emergente (Figura 43).

Las cunetas bien construidas y mantenidas son importantes para la estabilidad de largo plazo de un camino con peralte hacia adentro o coronado. Las cunetas construidas con retroexcavadoras y excavadoras a menudo son superiores a las cunetas cortadas construidas con una topadora o niveladora porque se pueden cortar de

la subrasante en vez de excavar en el corte marginal. Sin embargo, son más difíciles y llevan más tiempo de construir y mantener. La sección transversal de la cuneta se debe diseñar para tolerar flujos pluviales esperados con la base de la cuneta al menos a 12 pulgadas por debajo de la calzada a fin de evitar que el agua ingrese a y sature el material de la superficie del camino y reduzca la fortaleza del mismo. Una cuneta relativamente profunda permite también un drenaje más rápido de la subrasante a la cuneta y ayuda a mantener una alta fuerza del suelo debajo de la calzada. Si el corte marginal y la cuneta están relativamente secas durante la mayor parte del año, la cuneta puede ser más superficial ya que la saturación de la calzada no debería ser un problema.

Hay dos tipos de cunetas junto al camino; aquellas conectadas hidrológicamente y que llevan escorrentía y sedimento a los arroyos, y las que no lo hacen. **Las cunetas del camino que drenan directamente a entradas de alcantarillas de cruces de arroyos generalmente son la fuente más común e importante de conectividad hidrológica entre caminos y arroyos.** Durante eventos de escorrentía actúan bastante como un arroyo fugaz, y sirven como "cintas transportadoras", que transportan la escorrentía del camino y el sedimento fino a la red natural de canales de arroyos. **Las extensiones de cunetas conectadas se deben minimizar, y las cunetas mismas deben construirse y mantenerse para minimizar la cantidad de sedimento que se entrega al cruce del arroyo.** Las cunetas anchas, de bajo gradiente, cubiertas de vegetación inmediatamente adyacentes al cruce del arroyo alientan la deposición de sediment (Figura 44). Las cunetas conectadas se deben nivelar lo más infrecuentemente posible, y luego sembradas y revegetadas luego del alisamiento. Idealmente, los caminos que drenan a cunetas conectadas deben cubrirse con rocas (o pavimentarse) para minimizar la erosión de la superficie o se les debe dar un peralte hacia afuera para que su escorrentía no drene a la cuneta.

En contraste, las cunetas que no están conectadas hidrológicamente a arroyos, lagos o humedales se deben mantener para que sean lo más eficaces posible para drenar rápidamente la escorrentía lejos del camino y a áreas amortiguadoras cuesta abajo adyacentes. Los gradientes de las cunetas en caminos con peralte hacia adentro deben ser lo suficientemente empinadas como para prevenir la deposición excesiva

FIGURA 43. *Este camino de subdivisión rural ha sido convertido de un camino con peralte hacia adentro, con cuneta a una forma de camino con peralte hacia afuera con vados ondulantes superficiales y una cuneta interna. Los vados ondulantes amplios se han construido a intervalos regulares para soportar todo tipo de tránsito. La cuneta ha sido retenida para drenar el flujo de manantial del corte marginal pequeño. La superficie del camino ya no drena hacia la cuneta.*

FIGURA 44. *Este camino con peralte hacia adentro, recubierto de grava drena a una cuneta vegetada. La cuneta está conectada a una alcantarilla de cruce de arroyo, pero la vegetación pesada en la cuneta evita que el sedimento se entregue al arroyo.*

de sedimento y permitir el drenaje rápido, pero no tan empinadas como para que den como resultado la erosión de la cuneta. El gradiente del camino generalmente dicta el gradiente de la cuneta. Los caminos con peralte hacia afuera no drenan hacia la cuneta, así que la acumulación de sedimento no es un problema.

En caminos empinados de más de 10% de pendiente, incluso pequeños volúmenes de flujo de cuneta pueden tener velocidades de flujo lo suficientemente elevadas como para provocar la erosión de la cuneta. En este caso, puede ser necesario blindar la cuneta para evitar la erosión, aunque blindar la cuneta la hará más difícil de mantener. Todo blindaje de canales o cunetas también debe respetar criterios de diseño específicos para ser eficaces. Arrojar rocas flojas en la cuneta probablemente provoca erosión en lugar de prevenirla. El blindaje de roca se debe formar en una forma de canal, con un fondo y paredes laterales para contener el volumen de flujo esperado.

Cuando se usan cunetas internas a lo largo de un camino, se deben instalar alcantarillas de alivio de cunetas para minimizar la concentración de escorrentía en la cuneta y dispersar la escorrentía a áreas cuesta abajo. **Si la cuneta muestra signos de erosión, es probable que se necesiten alcantarillas adicionales para interrumpir y dispersar el flujo de la cuneta. De igual manera, si las alcantarillas de alivio de la cuneta muestran abrasión extendida en o debajo de sus salidas, es una señal de que hay demasiado flujo que se descarga en el talud debajo del camino y que se necesitan una o más alcantarillas adicionales para drenar la cuneta y dispersar el flujo de la cuneta son provocar erosión cuesta abajo desde el camino** (Figura 45).

e. Alcantarillas de alivio de cunetas

Las cunetas conectadas hidrológicamente que drenan directamente en alcantarillas de cruces de cursos de agua deben tratarse y protegerse de perturbaciones y erosión, igual que un arroyo fugaz o un curso de agua Clase III. Las alcantarillas de alivio de cunetas se deben instalar suficientemente antes de cruces de cursos de agua para que el agua y el sedimento se puedan filtrar a través de un talud vegetado antes de llegar al arroyo. También se deben instalar a intervalos a lo largo del camino que estén lo suficientemente cerca para evitar la erosión importante de la cuneta y debajo de la desembocadura de la alcantarilla en la ladera nativa, y en lugares donde el agua y el sedimento recolectados no se descargan directamente sobre áreas inestables o en cursos de agua (Figura 46; Tabla 19).

FIGURA 45. *Si las cunetas muestran erosión excesiva , o si se forman largos barrancos debajo de la boca de una alcantarilla de alivio de cuneta, entonces la cuneta está transportando demasiado flujo y se necesitan alcantarillas de alivio de cunetas adicionales camino arriba para separar el flujo. Los barrancos debajo de las bocas de las alcantarillas son una fuente común de conectividad hidrológica, y entregan escorrentía del camino y sedimento erosionado al canal de arroyo cuesta abajo.*

Las tablas de espaciado para las alcantarillas de alivio de cunetas que se encuentran a menudo en la bibliografía, o incluso derivadas para su área particular, pueden brindar orientación sobre cuán frecuentemente se deben instalar estructuras de drenaje de camino para minimizar la erosión. **Sin embargo, no se recomienda una distancia o frecuencia de espaciado inflexible, derivada de una tabla de espaciado, porque las condiciones a lo largo de todos los caminos cambian y algunos lugares son más adecuadas para recibir escorrentía que otros. El rendimiento de la cuneta, la salida de drenaje de la cuneta, y el área receptora (inclusive el potencial de conectividad hidrológica) son los controladores más importantes**

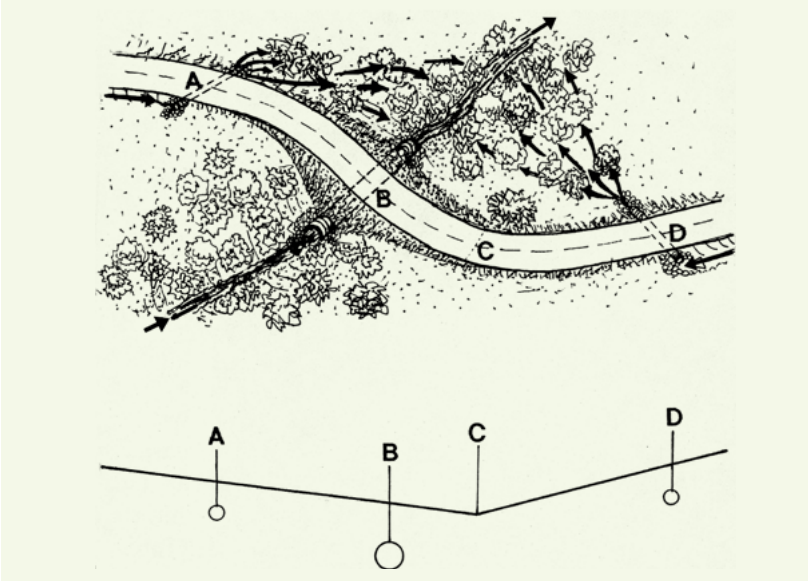


FIGURA 46. *Donde un camino se acerca a un cruce de arroyo (B), el flujo de la cuneta se debe llevar entubado a través del camino (A, D) y liberar al amortiguador vegetativo que puede filtrar la escorrentía antes de que llegue al curso de agua. Si la alcantarilla del arroyo se tapona con escombros o se ve superada por flujos de crecida, el flujo se derrama sobre el camino en al cambio de pendiente (vado de desvío crítico, o vado crítico) en el lugar "C" y de regreso al canal del arroyo (Modificado de: MDSL, 1991).*

para la colocación de las alcantarillas de alivio de cunetas y otras estructuras de drenaje del camino.

Las alcantarillas de alivio de cunetas no deben ser grandes, ya que llevan flujo solo desde el corte marginal, manantiales y a veces de una extensión limitada de la superficie del camino. **Se recomienda que se utilice un tubo de un mínimo de 18 pulgadas de diámetro para las alcantarillas de alivio de cuneta en ubicaciones forestadas (donde los escombros de madera están se transportan).** Las alcantarillas más pequeñas se taponan demasiado fácilmente, ya sea por escombros orgánicos transportados en la cuneta o por depresiones en el corte marginal sobre la entrada de la alcantarilla. Si el corte marginal sobre la entrada es inestable o se erosiona rápidamente, se puede instalar una boca de caída con ranura sobre la entrada para evitar que se tapone. Donde los caminos cruzan áreas de pastizales, sin bosque, el diámetro mínimo de alcantarilla se puede reducir levemente pero nunca debe ser inferior a 15 pulgadas.

Una regla general es instalar la alcantarilla a una pendiente de al menos 2% más empinada que la pendiente de la cuneta que lleva a ella, y sesgar la alcantarilla a un ángulo de 30° con respecto a la línea de la cuneta (Figura 47) para minimizar la erosión de la entrada y transportar eficazmente el sedimento a través de la alcantarilla (Figura 48). Generalmente una pendiente mínima de 10 por ciento a través de la alcantarilla es auto limpiante. Se puede usar protección de la entrada, como por ejemplo con blindaje de rocas o estructuras de caída, para minimizar la erosión, invertir el flujo con seguridad, evitar que se tapone la boca y ralentizar la velocidad del flujo al ingresar al tubo. Las alcantarillas se deben instalar para que descarguen al pie del terraplén para que su descarga no erosione el relleno. Si se fijan más superficiales, necesitan un desagüe redondo, un canal medio redondo/aforador o de tamaño adecuado y blindado para llevar el flujo de la alcantarilla a la base del terraplén.

Las bocas de alcantarilla que muestran erosión se deben proteger con desperdicio maderero y/o blindaje de rocas para evitar la erosión, pero no hay motivo para blindar automáticamente la boca de las alcantarillas de alivio de cuneta. **Si la erosión está aislada en el área de la boca de la alcantarilla, y no se extiende cuesta abajo como barranco, entonces el blindaje de la boca probablemente no es necesario. Donde la sedimentación en la entrada ocurre debido a cortes marginales con demasiada inclinación, se pueden instalar bocas de caída para evitar que se tapone la alcantarilla.** Las alcantarillas nunca deben ser "disparadas" fuera del relleno, por ende creando cascadas de drenaje del camino altamente erosivas y los resultantes barrancos en las bocas.

4. CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO

En lugares forestales y rurales se pueden requerir consideraciones especiales de diseño donde los caminos cruzan taludes inestables, áreas húmedas, cursos de agua y otros peligros u obstáculos potenciales. Algunos de ellos podrían involucrar usar materiales y métodos de subdrenaje nuevos y de última generación. Otros diseños especiales pueden involucrar simplemente la aplicación de métodos probados con el tiempo como exclusión, excavación, transporte final, instalación de puentes, recubrimiento del camino o requisitos adicionales para brindar mayor protección a la calidad del agua. Las guías para el diseño especial de caminos a menudo se pueden conseguir de parte de geólogos ingenieros o especialistas geotécnicos que se especializan en la construcción de caminos, de bibliografía y manuales, y/o proveedores de materiales y provisiones utilizados en el control de erosión y la ingeniería de caminos.

a. Diseño y presentación de plataformas

Los caminos forestales utilizados para la tala de madera comercial a menudo tienen áreas anchas, o plataformas, construidas a lo largo de sus sistemas de caminos donde se cargan los troncos cortados a camiones para transportarlos al aserradero. Las plataformas de troncos varían tremendamente en tamaño y frecuencia de un propietario de tierra a otro, pero sus requisitos de diseño difieren poco de otras secciones de un sistema de caminos (Figura 17). Las máquinas madereras más nuevas y con cables móviles pueden operar en secciones más angostas del camino, donde se requiere poco más de

FIGURA 47. *Alcantarilla de alivio de cuneta instalada a través de un camino permanente de bajo volumen. La alcantarilla se coloca en la base de este relleno de camino poco profundo y se le da un ángulo de aproximadamente 30° con respecto a al trazado del camino.*

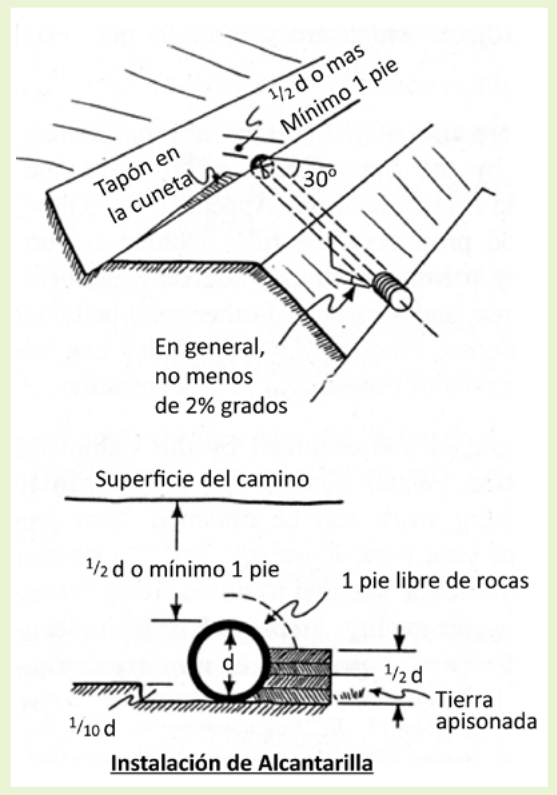


FIGURA 48. *Los elementos de una alcantarilla de alivio de cuneta instalada adecuadamente. La alcantarilla tiene un ángulo de aproximadamente 30 grados hacia el trazado del camino para ayudar a capturar el flujo y evitar que se tape la alcantarilla o se erosione el área de la entrada. Se coloca en la base del relleno (idealmente) o con una pendiente levemente más empinada que la pendiente de la cuneta servidora (pero nunca con una pendiente inferior al 2 por ciento). Como mínimo, la pendiente de la alcantarilla de alivio de cuneta debe ser suficiente como para evitar la acumulación de sedimento en la entrada o la deposición dentro de la alcantarilla misma (debería ser auto limpiante). (USDA-SCS, 1983).*

un desvío para que giren. Otras máquinas, que incluyen torres, pueden requerir que se construya una "plataforma de operación" totalmente individual en un camino adicional sobre el camino principal de transporte donde se colocan los troncos y luego se cargan en camiones.

Aunque dichas máquinas madereras grandes se hacen menos comunes, estas plataformas de legado se encuentran en muchos sistemas de caminos forestales más antiguos. Los propietarios que han comprado tierras anteriormente taladas para usar para silvicultura u otros fines deben identificar y evaluar cuidadosamente la estabilidad de largo plazo de las plataformas. Por ejemplo, las plataformas se pueden considerar buenos lugares de construcción para los propietarios rurales, pero la mayoría se construyeron prestando poca o nada de atención a la compactación adecuada.

La operación de tractores requiere plataformas de tamaño moderado que, con los años, pueden hacerse más grandes de lo necesario a medida que los desechos y los escombros se transportan a la red de senderos convergentes y luego se vierten lateralmente sobre el borde exterior de la plataforma. En el Pacífico Noroeste, se usaban históricamente topadoras para llevar troncos por pequeños canales de arroyos y taludes empinados; creando grandes plataformas. En la actualidad, usualmente se usan tractores solo en taludes leves y moderados y no en o cerca de canales de arroyos, así que es menos probable que sus plataformas impacten los arroyos.

El transporte con helicóptero requiere las plataformas más grandes, pero en menor cantidad, y usualmente están ubicadas en taludes altos y áreas de cimas de lomas. Su impacto sobre la hidrología y la entrega de sedimento se puede mitigar con mayor facilidad.

La frecuencia de las plataformas que se deben construir está controlada o influenciada por el tipo de equipo maderero, la inclinación de la tierra y la densidad de los árboles que se pueden talar a lo largo de la ruta. Por ejemplo, en taludes muy empinados, las plataformas estables podrían construirse únicamente sobre crestas de lomas amplias (Figura 16). En general, la construcción de plataformas debe limitarse a la menor cantidad y tamaño que sean absolutamente necesarios para las operaciones madereras.[2]

Los rellenos de plataformas que se colocan en taludes empinados o cerca ce cursos de agua se deben "insertar" o colocar en balcón dentro de la ladera y compactarse en elevadores superficiales (1 pie) desde abajo hacia arriba. Debe evitarse el vertido lateral. Además, las plataformas más antiguas que se reconstruyen o reutilizan no deben agrandarse mediante vertido lateral de desechos o escombros orgánicos. Donde los caminos están ubicados lejos del arroyo, los gradientes máximos de la ladera para construir plataformas pequeñas utilizando métodos de vertido lateral deben ser los mismos que para la construcción del camino: alrededor del 55 por ciento. Se recomienda que se construyan los balcones o balcones con inserciones para atrapar el vertido lateral y el relleno donde se construyen plataformas sobe taludes más empinados que 40%.

Se deben evitar las siguientes condiciones del terreno como sitios para plataformas (Figura 16): 1) taludes y suelos inestables, 2) taludes abiertos más empinados de aproximadamente 55% sin balcones naturales, 3) bajíos de cabecera empinados y taludes de cañones internos, 4) lomas angostas entre bajíos de cabecera, 5) todo talud empinado (>5O%) que conduzca sin aplastamiento a un curso de agua y 6) áreas sustentadas por roca sedimentaria muy empinada o rocas muy fracturadas.

Construir balcones completos para plataformas sobre taludes empinados produce tremendos volúmenes de material de desecho. Aunque los balcones completos podrían ser necesarios para que los rellenos resistan las vibraciones de los equipos y las cargas de peso, el desecho que se elimina como vertido lateral puede desestabilizar la ladera de abajo. Debe evitarse el vertido lateral durante la construcción o el trabajo de agrandamiento. Los testeros de barrancos y bajíos ya son sitios naturalmente inestables y tienen poco lugar para colocar escombros. Realizar vertido lateral en estos bajíos de cabecera empinados puede desatar flujos de escombros y torrentes (Figura 49). Aunque las lomas empinadas y angostas adyacentes a estos canales de cabecera empinados brindan buen desvío para las operaciones madereras, los costados de estas lomas a menudos son inestables e inadecuados para el vertido lateral.

b. Caminos convergentes

Los caminos convergentes en taludes empinados son un caso especial de construcción de caminos que comúnmente produce problemas de erosión y sedimento. En esta situación, un camino más bajo puede reducir y eliminar el soporte para el camino cuesta arriba. Además, el vertido lateral del camino superior puede extenderse cuesta abajo al camino más bajo, y el vertido lateral del camino más bajo puede seguir extendiendo el manto de suelo descubierto aún más cuesta abajo. Estas áreas empinadas de suelo descubierto son notablemente difíciles de estabilizar y revegetar.

2 Ver el Apéndice C que menciona las Reglas de Prácticas Forestales de California que especifican estos requisitos.

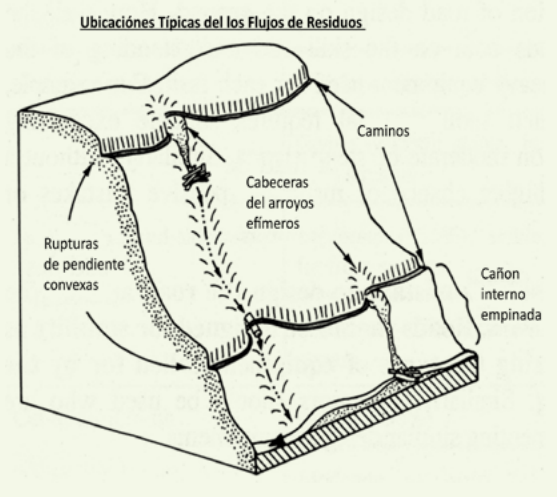


FIGURA 49.
Investigaciones recientes han indicado que ocurren muchos deslizamientos destructivos de escombros y flujos de escombros provocados por la construcción de caminos forestales en sitios específicos en la ladera. Los sitios más delicados, y por ende los que se deben evitar durante la construcción del camino y las plataformas, son los taludes empinados de cañones internos, bajíos de cabecera empinados o áreas de arroyos, y taludes empinados inmediatamente debajo de un talud convexo.

La mejor solución de diseño y planificación para caminos convergentes es ubicar las intersecciones del camino en taludes más leves, o planear que ocurran en lomas amplias que separan taludes de gradiente empanada (Figura 50). Si no se pueden evitar los taludes empinados, se recomienda que se construya el camino superior como un camino de balcón con todos los desechos transportados a un lugar estable, y el camino inferior construido con un camino con relleno diseñado o un camino de balcón para limitar el vertido lateral descontrolado. La intersección del camino se debe ubicar lo suficientemente cuesta arriba lejos de cursos de agua para que no se vea afectada la calidad del agua. Se pueden diseñar la construcción en balcón con transporte al sitio final, u otras soluciones creativas de ingeniería que minimizan el vertido lateral, para estos lugares "inevitables" donde el potencial de sedimentación o falla del talud es relativamente alto.

c. Desarrollo de cortes y rellenos estables

Generalmente los caminos se construyen cruzando laderas utilizando métodos de construcción de corte y relleno, o utilizando métodos de balcón (transporte al sitio final). La construcción de caminos equilibrada

FIGURA 50.
Donde los caminos se separan o convergen en una ladera empinada, hay una mayor probabilidad de socavación, inestabilidad, vertido lateral excesivo del talud y erosión subsiguiente. Las intersecciones del camino se deben ubicar en bancos, o en terreno menos ondulado, que tengan suelos estables, secos o rocosos debajo para minimizar los volúmenes de excavación requeridos y la inestabilidad y erosión subsiguientes.

de corte y relleno (sin transporte al sitio final) es adecuada siempre que los taludes son moderados y estables, y los taludes tienen una pendiente de menos del 40% al 50%. A medida que los taludes aumentan la inclinación, los métodos equilibrados de corte y relleno se hacen más difíciles de utilizar y las condiciones pueden requerir balcones y compactación para retener y controlar el relleno suelto.

Los caminos construidos a través de taludes empinados generalmente son más propensos a fallas que los de taludes moderados o leves en los mismos tipos de suelo. De igual manera, los suelos inestables o de granulación fina son más propensos a fallas durante los eventos de tormenta que los construidos sobre materiales secos, gruesos y angulares. Los rellenos del camino en áreas húmedas pueden parecer estables durante largos períodos, pero aún representan puntos débiles potenciales a lo largo del trazado del camino incluso años después de la construcción inicial del camino.

Se han desarrollado diagramas generales y guías para crear cortes marginales y terraplenes estables en materiales de suelo típicos (Tabla 17). Sin embargo, lo ángulos de corte marginal y terraplén serán altamente específicos al tipo y carácter de los suelos y la hidrología de la ladera por la cual pasa el camino. Los cortes en suelos erosionables, inestables o húmedos pueden provocar inestabilidad en laderas de otra manera estables, ya que la construcción del camino socava taludes naturales, remueve el soporte lateral, y expone manantiales y caudal de paso del agua del suelo cercano a la superficie. De igual manera, los suelos inestables, erosionables pueden no ser adecuados para la construcción del terraplén. Estas situaciones especiales pueden requerir el redireccionamiento del trazado o el uso de diseños especiales, incluso el corte en balcón y transporte al sitio final, el corte en balcón del terraplén, o la construcción de revestimiento del talud (contrafuertes de roca, suelos reforzados (diseñados) o estructuras de retención) (Figura 51). Si estos sitios son inevitables a lo largo de un trazado propuesto, o si un trazado de camino existente experimenta problemas continuos de estabilidad, un ingeniero geotécnico o geólogo ingeniero puede ayudar con uno o más diseños especiales.

En taludes más empinados que aproximadamente el 50% al 65%, o dentro de los 100 pies de un arroyo, casi siempre se prefiere la construcción de corte de balcón y transporte final al sitio. Los cortes marginales más elevados de la construcción de corte en balcón pueden incrementar el riesgo de fallas de los taludes de corte, pero la mayoría de estos se ven atrapados por el balcón del camino y no van más allá del camino o un arroyo. **Si la construcción de corte en balcón no es posible (digamos, debido a un banco de roca sólida) se pueden emplear la reubicación del camino o el uso de varias estructuras de retención,**

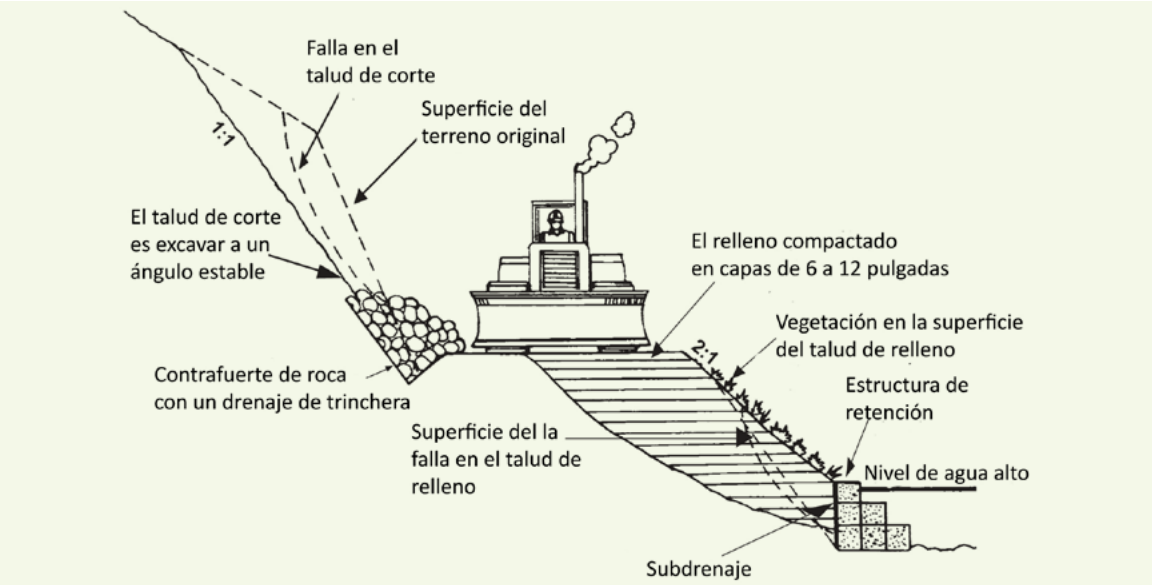


FIGURA 51. *Soluciones de estabilidad del talud con una variedad de medidas de estabilización. Además de los tratamientos simples de excavación, la mayoría de las soluciones de estabilidad del talud requieren consejos y/o diseño de un ingeniero calificado o un ingeniero geólogo (Modificado de: (Keller y otros, 2011)*

contrafuertes y rellenos diseñados donde se necesita un terraplén en taludes empinados. Estas estructuras requieren diseño y aumentan considerablemente el costo de la construcción o reconstrucción del camino, así que **se utilizan con poca frecuencia en caminos de bajo volumen en lugares forestales o rurales.**

Los contrafuertes de roca insertados en el talud basal son la estructura de retención del talud más simple y menos costosa (Figura 52). Debido a las grandes presiones de tierra involucradas, las estructuras de retención generalmente requieren diseño de ingeniería. Los fabricantes de materiales especiales de aplicación utilizados para retener estructuras de muros usualmente dan asesoramiento de ingeniería sobre el uso de sus productos. Las estructuras de retención se deben reforzar y plantar con cortes vivos entre los elementos estructurales para brindar mayor estabilidad de largo plazo.

El método más simple y directo de reparar terraplenes inestables es la excavación directa de los materiales de relleno inestables. Si la excavación reduciría considerablemente el ancho del camino utilizable, ensanchar el camino en el corte marginal es una solución simple y de bajo costo. **Para rellenos inestables a lo largo del borde exterior de un camino donde hay signos de inestabilidad (rajaduras y escarpas pequeñas), pero el camino no se puede mover al talud de corte, se puede usar una reparación de parche profundo.** Esto consiste en excavar los materiales inestables, crear un balcón estable en los suelos nativos, y luego volver a rellenar la excavación con elevadores compactados de tierra. Se colocan varias capas de geomalla o geotextiles para brindar soporte lateral adicional. La nivelación o pavimentado común de mantenimiento sobre las características de asentamiento no detiene ni repara un problema de asentamiento del terraplén.

d. Cortes a través

Hay una cantidad de formas de caminos y estructuras o características de drenaje que dirigen y controlan la escorrentía de la superficie en caminos rurales. Estas incluyen vados ondulantes superficiales, camellones, diversas formas del camino (con peralte hacia adentro, coronado o con peralte hacia afuera) y vados naturales en el trazado del camino. La mayoría de éstas se utilizan intencionalmente para dirigir la escorrentía de

FIGURA 52. *Este talud de corte húmedo y potencialmente inestable en un camino recientemente construido se estabilizó utilizando un contrafuerte de blindaje de roca grande. Para ser eficaces, los contrafuertes de roca y otras estructuras de retención deben ser diseñados por un ingeniero calificado o un ingeniero geólogo.*

la superficie del camino a lugares escogidos donde minimizan los impactos potenciales sobre la calidad del agua. Los cortes a través son características de drenaje del camino que a menudo son consecuencia involuntaria del trazado inicial del camino, las prácticas de construcción o las actividades de mantenimiento subsiguientes.

i. Características y ubicación

Hay dos tipos básicos de corte del camino; el corte del costado de la colina y el corte a través. (Figura 22). Un corte al costado de la ladera es una excavación a través de una ladera que deja un corte solo en la parte interior del camino. El corte y relleno así como también la construcción del camino en balcón crea un corte al costado de la ladera, y la superficie del camino se puede drenar en una cuneta en el lado interior del camino o en una ladera adyacente en la parte exterior del camino. En contraste, **un corte a través se define como un corte en la ladera nativa con taludes excavados en ambos lados del camino** y se caracterizan por excavaciones que varían de decenas de pies de alto hacia abajo hasta tan poco como varias pulgadas (Figura 53). **Comúnmente se encuentran donde se ha excavado un camino a través de una ladera o una loma o, más comúnmente, derecho hacia abajo por una loma o ladera relativamente leve.** A veces los cortes a través están diseñados o construidos para reducir la pendiente (inclinación) o lo curvado de un camino, y en otros casos para reducir la extensión de un camino nuevo.

Los caminos forestales y rurales de bajo volumen se deben construir siguiendo la topografía lo mejor posible, y no cortando a través de ella. La excepción ocurre cuando un camino está diseñado para velocidades elevadas de tránsito o se espera tránsito comercial considerable. En estos casos, se construyen grandes cortes en la ladera, o cortes a través de la ladera, para mantener el trazado relativamente recto y evitar tener que entrar y salir en el terreno naturalmente ondulante. En todos los lugares donde se construye un camino a través, en vez de alrededor, de una loma o colina, a menudo se construye un corte a través (donde hay un corte a cada lado del camino). Las lomas más grandes y más altas tendrán cortes marginales más altos y largos a cada lado del camino.

FIGURA 53.
Los segmentos de camino a través de corte pueden ser cortos o largos, y el grado del corte puede varias de varias pulgadas a decenas de pies de profundidad. El camino en esta sección de corte a través está bien drenada utilizando una forma coronada, con cunetas a ambos lados del camino. La superficie del camino y la cuneta se deben drenar al principio y al final de la sección del camino a través de corte para minimizar la erosión.

A veces se desarrollan involuntariamente cortes a través cuando se construye un camino recto hacia abajo de una loma o ladera leve para alcanzar un nivel más bajo del fondo del valle. Estos segmentos de camino con corte a través se construyen generalmente par acortar el camino de un punto al otro (un camino que baja un talud con gradiente en caída recta leve o moderada es mucho más corto que construir una curva cerrada amplia que cruza yendo y viniendo la ladera para llevar al punto de elevación más bajo). Cuando un camino se construye directo hacia abajo de una loma o ladera suave, se forma naturalmente un corte bajo.

Todos los cortes a través se comportan de manera similar, la escorrentía fluye recto hacia abajo por la calzada excavada del camino. El componente clave es que hay un corte excavado a ambos lados de la calzada y el drenaje de la superficie del camino se confina entre los dos cortes marginales, ya sea a lo largo de los costados de la calzada (usualmente cunetas) o por la superficie misma del camino donde los caminos son planos en forma transversal. **El mal drenaje es una característica de casi todos los caminos con corte a través y cuanto más largo es el corte a través, más grande será el volumen de agua que recolecta dentro y concentra a lo largo o sobre la superficie del camino.**

De igual manera, cuando más empinada es la pendiente del corte a través, mayor será la fuerza erosiva del agua que se contiene dentro de él durante eventos de escorrentía. Los segmentos del camino con cortes a través largo y/o empinados pueden producir arroyuelos extensos, surcos en el camino o barrancos sobre o a lo largo de la superficie del camino, y esta escorrentía concentrada y el sedimento erosionado se descarga del camino al final del corte a través. Además de su potencial de tener impacto sobre la calidad del agua, los segmentos de camino con corte a través son lugares que requieren altos niveles de mantenimiento.

ii. Tratamiento

Se pueden utilizar varios tratamientos para reducir los impactos de los caminos con cortes a través. Los mismos incluyen:

- Reubicar o volver a trazar el segmento del camino en un talud para que drene eficazmente en toda su extensión.
- Para cortes a través superficiales, donde uno o ambos cortes marginales son de menos de varios pies de alto, puede ser posible rellenar el corte a través y re desarrollar un drenaje eficaz de la ladera.
- Recubra (con roca o pavimento) el camino y las cunetas dentro del corte a través para reducir los índices de erosión y disminuir los requisitos de mantenimiento de largo plazo.
- Asegúrese de que la calzada tenga una forma del camino clara que drene el camino a uno o a ambos lados (en lugar de hacia el centro del camino).
- Construya (excave) "muescas" en el corte del camino cuesta abajo para drenar regularmente el corte a través a la ladera adyacente estable. Estos cortes de drenaje o cortes de cunetas pueden ser de muchas decenas de pies de largos.
- Instale vados ondulantes con disipación de energía en la salida (blindaje de rocas) tanto por sobre como por debajo de la extensión del corte a través, para drenar la superficie del camino antes y después del corte a través.

Los caminos en caída recta que están trazados recto hacia abajo de una ladera, incluso si el gradiente de la ladera es relativamente leve, son casi imposibles de drenar de manera eficaz. El agua de escorrentía quiere correr derecha por la superficie del camino, creando arroyuelos y pequeños barrancos. La superficie erosionada del camino se repara todos los años, y luego se vuelve a erosionar en cada temporada húmeda. **Es un ciclo de erosión y nivelación que se perpetúa a sí mismo que lenta y persistentemente profundiza los cortes a través en caída recta con el tiempo.** Si no hay un trazado alternativo disponible, el tratamiento más efectivo para los cortes a través bajos incluye darle forma al camino para mantener la escorrentía a un lado (o a los lados) de la calzada del corte a través, en

conjunto con largas "muescas" o drenajes laterales que desvían la escorrentía a la ladera natural adyacente (Figuras 54 y 55). Cuanto más profundo es el corte a través, más profundos y largos se deben excavar estos drenajes y este tratamiento se hace más difícil.

e. Operaciones y tratamientos para suelos inestables

Tanto los suelos como las áreas se pueden clasificar como "inestables". Generalmente, las áreas inestables se caracterizan por suelos inestables, pero la presencia de suelos inestables pueden no haberse expresado aún en el paisaje como un área inestable. Las áreas inestables se reconocen tal vez más fácil y frecuentemente por expresiones sobre la ladera (rajaduras, escarpas, árboles inclinados, etc.), mientras que la presencia de suelos inestables puede estar cubierta por una cantidad de factores del sitio (por ejemplo, taludes leves, raíces que se unen, contrafuertes de roca, etc.) que han evitado el desarrollo de indicadores de la inestabilidad del talud.

Ubicación y características—*Los suelos inestables* tienen diversas definiciones según el uso al cual se sometan probablemente. A veces estos suelos muestran inestabilidad natural en el lugar sin perturbar. Con mayor frecuencia, (por ejemplo, en mapas de suelos), se clasifican como suelos de mala calidad que se hacen inestables cuando son perturbados por la construcción (Figura 56). En el contexto de los caminos, los suelos inestables tienen menos probabilidades de soportar cortes marginales sin contrafuertes o medidas especiales. Los suelos inestables a menudo se caracterizan por suelos débiles, no cohesivos o coluvio que contienen arena, grava, fragmentos de roca o graníticos erosionados, así como también arcillas expansivas.

Las áreas inestables se caracterizan por movimientos de masa, que se desarrollan típicamente en áreas de suelos inestables. Las áreas inestables a menudo se caracterizan por topografía de megabrechas, rajaduras de tensión y/o escarpas en el talud, escarpas laterales y en testeros, y taludes irregulares en forma de tazón que sugieren falla previa del talud. La ladera también puede exhibir evidencia indirecta (por ejemplo, árboles inclinados) o factores contribuyentes (taludes muy empinados) que pueden llevar a la inestabilidad del talud. Muchas áreas inestables a menudo se encuentran en combinación

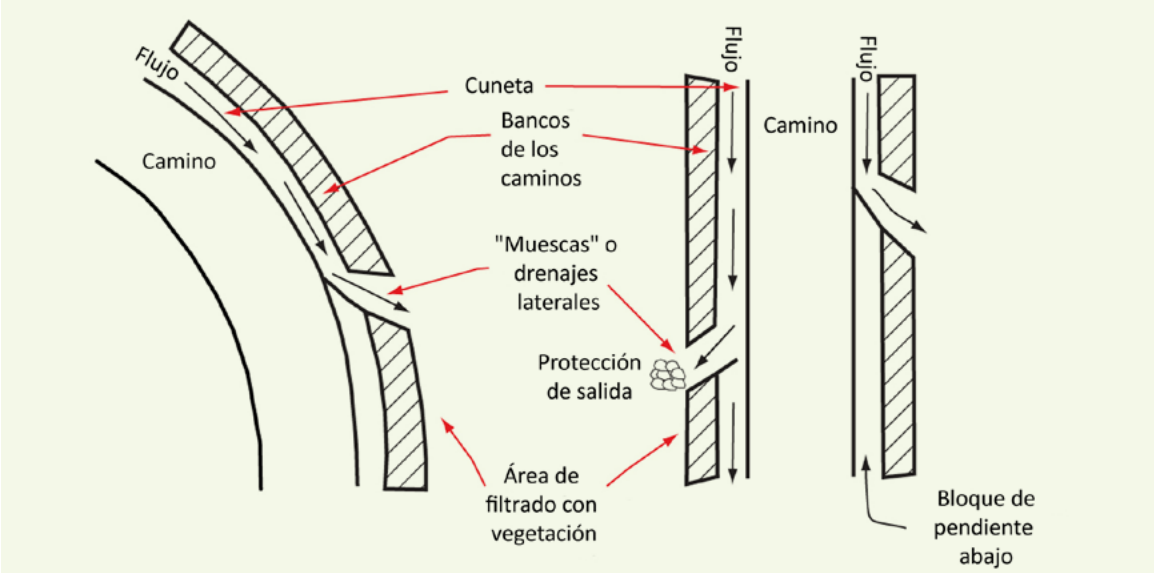


FIGURA 54. *Lugares típicos para "desvíos" o cunetas que drenan hacia afuera utilizadas para drenar extensiones cortas de caminos a través de corte con bermas. Para que se mantengan por sí solas, las cunetas que drenan hacia afuera deben tener una pendiente de al menos 2-3% más empinada que la superficie del camino o una cuneta que drene hacia ellas; si no se taponan con depósitos de sedimento (U.S. EPA, 2003).*

FIGURA 55. *Los caminos empinados que suben recto por una ladera son muy difíciles de drenar, Este camino en caída recta desarrolló una sección de corte transversal que se drenó utilizando cunetas que drenan hacia afuera para dirigir la escorrentía fuera del camino y hacia la ladera vegetada adyacente. Al camino se le dio un "peralte hacia afuera" para drenar la escorrentía hacia el lado derecho, y la cuneta que drena hacia afuera se construyó levemente más empinada que la pendiente del camino, para que sea autolimpiante. Se han construido cuatro cunetas que drenan hacia afuera a intervalos de 100 pies en la parte de abajo de la ladera.*

FIGURA 56. *Este camino forestal se construyó a través de suelos húmedos e inestables y subsiguientemente experimentó fallos de talud de poca profundidad e índices de erosión rápida durante una cantidad de años luego de la construcción del camino.*

con áreas de agua subterránea emergente (manantiales y filtraciones) y zonas de suelos saturados que sugieren movimiento afectado de agua subterránea. **El agua en y sobre las laderas es usualmente un factor contribuyente clave para la ocurrencia de inestabilidad del talud y deslizamiento de tierras.**

Las actividades de construcción y gestión de caminos que provocan o incrementan la inestabilidad del talud en áreas de suelos inestables incluyen socavamiento (cortes de talud en desarrollo), carga (que incluye eliminación de desechos o vertido lateral sobre taludes empinados), y el agregado de agua (drenaje del camino desviado o descargado sobre taludes inestables o potencialmente inestables). Los caminos interceptan senderos de flujo subsuperficial cuando cortan el perfil del suelo, donde el agua surge del corte marginal (y contribuye a fallas del corte marginal) o es bloquead por materiales de tierra sobrecargados y no compactados eliminados donde el camino cruza (y rellena) bajíos empinados o donde los desechos sueltos se vierten lateralmente cuesta abajo del camino. La construcción de caminos en áreas húmedas puede provocar la formación de diques subsuperficiales de agua subterránea que, a su vez, contribuye a fallas del terraplén y a deslizamientos y flujos de escombros más grandes.

***Evasión*—Al igual que con las operaciones sobre o cerca de áreas húmedas, la primera y mejor opción es ubicar el camino para evitar áreas delicadas como testeros, taludes empinados (taludes >60%, especialmente los que se conocen como propensos a deslizamientos de escombros en áreas cercanas), y áreas de suelos inestables conocidos e inestabilidades de taludes.** La planificación y la ubicación del camino son herramientas invaluables utilizadas para evitar áreas inestables. Los taludes vulnerables incluyen aquellos donde los caminos cruzan materiales geológicamente inestables o altamente erosionables, taludes empinados o canales empinados sujetos a flujos de escombros, taludes húmedos, o áreas sujetas a inundaciones. Los nuevos caminos se deben planificar para evitar estas ubicaciones de alto peligro y áreas inestables, como por ejemplo depresiones, deslizamientos de tierra, surcos de flujo de escombros, flujos de tierra y otras inestabilidades, y un geólogo calificado debe encontrar otro trazado adecuado. Los caminos existentes que cruzan este tipo de terreno probablemente requieran mucho mantenimiento y estén sujetos a reparaciones regulares y costosas por daños provocados por tormentas.

Tratamiento—Se dispone de una variedad de medidas de estabilización de taludes para resolver problemas de estabilidad de taludes relacionados con el camino y para cruzar áreas inestables. En la mayoría de los casos, los taludes de corte relativamente leves, la buena compactación, el mínimo vertido lateral y un buen drenaje de la superficie y la subsuperficie eliminan los problemas de estabilidad de rutina. Se pueden utilizar estrategias generales de tratamiento para minimizar el impacto de los caminos sobre la estabilidad de la ladera, pero la mayoría de los problemas son específicos de cada sitio y se debe consultar a un geólogo o geólogo ingeniero calificado para saber cuál es el mejor diseño de tratamiento. La evaluación y el diseño iniciales del camino requieren observación y orientación profesionales continuas a medida que progresa la construcción, la mejora o la clausura del camino.

Los caminos construidos en áreas empinadas y/o inestables deben rodear el paisaje, minimizando cortes y rellenos, y mantenerse lo más angostos posible. Donde sea posible, diseñe caminos de normas mínimas con peralte hacia afuera sin cuneta. La escorrentía del camino se debe drenar lejos de áreas y suelos inestables conocidos. Se debe evitar el vertido lateral en taludes empinados, y los caminos se deben construir utilizando técnicas de construcción de corte en balcón y transporte al sitio final, o construcción en balcón para minimizar el vertido lateral.

Los caminos mismos a menudo desarrollan inestabilidades en el talud de corte o el terraplén cuando se construyen en taludes empinados o a través de suelos inestables. Las inestabilidades menores del corte marginal se pueden tratar utilizando una variedad de medidas de contrafuerte, drenaje y revegetación. Los tratamientos para los terraplenes inestables pueden variar desde la excavación de materiales de relleno inestables a reparaciones más complicadas de terraplenes profundos.

Como puede no ser factible construir, mitigar o mantener un camino donde los taludes son empinados y la roca o el material del suelo es débil, se deben considerar ubicaciones

alternativas para el camino. Se debe considerar la clausura permanente de los caminos existentes construidos sobre cañones internos o taludes junto a arroyos inestables y empinados. Consulte a un geólogo o un geólogo ingeniero calificado para determinar el mejor diseño de clausura.

f. Operaciones y tratamientos para áreas húmedas

Construir, mantener o clausurar caminos forestales y rurales se hace considerablemente más desafiante cuando se opera sobre suelos húmedos o inestables. Si fuera posible, se deben evitar las áreas húmedas, especialmente las grandes áreas húmedas, cuando se construyen o reubican caminos de bajo volumen. La evasión siempre es la opción preferida. Los cruces de caminos en áreas húmedas son problemáticos y pocos deseables, y usualmente requieren diseños espaciales para remover el agua, estabilizar la superficie del camino y prevenir daños al camino.

No solo muchas áreas húmedas son ecológicamente valiosas y se deben evitar si es posible, sino que son lugares desafiantes para construir y mantener los caminos para operaciones de tala, ganadería u otras donde el tránsito comercial, las cargas pesadas o los altos niveles de tránsito vehicular son comunes. Los suelos en estas áreas a menudo son débiles, se deterioran rápidamente bajo el tránsito, y requieren un refuerzo considerable de la subrasante para proteger el camino contra el daño y la deformación (Figura 57). No todos los tratamientos son eficaces y las extensiones de camino construidas a través de áreas húmedas generalmente requieren un compromiso de largo plazo con el mantenimiento y la reparación continuos.

Ubicación y características—Las áreas húmedas pueden ser húmedas por estar cubiertas de nieve durante mucho tiempo, temporadas de lluvia largas, o debido a agua subterránea emergente (manantiales y filtraciones).. Los taludes con inestabilidades abundantes y geologías muy fracturadas son lugares donde es probable que el agua subterránea emergente sea común. Las áreas húmedas también son prevalentes en áreas de taludes más bajos, ribereñas y fondos de valles, donde el agua subterránea está cerca de o en la superficie del suelo y se expresa en forma de humedales, áreas pantanosas, o por la presencia de plantas acuáticas. Los mapas de suelos se pueden usar para ayudar a identificar la ubicación de suelos húmedos y mal drenados.

El diseño y la construcción del camino en áreas de suelos húmedos es generalmente más difícil y costoso que en condiciones de suelo seco. El camino puede requerir drenaje subsuperficial intermitente o continuo y recubrimiento

FIGURA 57. *Este camino estacional se construyó sobre suelos de granos finos que mostraban mal drenaje y altos índices de erosión del suelo. Incluso tránsito poco importante durante la temporada húmeda provocó daños a la calzada y erosión rápida que taponó y llenó cunetas, camellones y vados ondulantes superficiales.*

más grueso para soportar el tránsito sin deterioro ni surcos. Los suelos húmedos, de granos finos son susceptibles a deformación, formación de surcos y erosión y tienen poca resistencia al cizallamiento. Los suelos ricos en arcilla expansiva son difíciles de manipular y no se pueden transitar fácilmente en condiciones húmedas. También es probable que las condiciones húmedas en cortes marginales y terraplenes provoquen problemas de estabilidad y altos requisitos de mantenimiento, y que hagan que la construcción y el mantenimiento sean más costosos. De igual manera, la construcción del camino con corte y relleno puede enterrar manantiales y filtraciones; causando por ende presiones elevadas de los poros del agua subsuperficial y desatando fallas del terraplén.

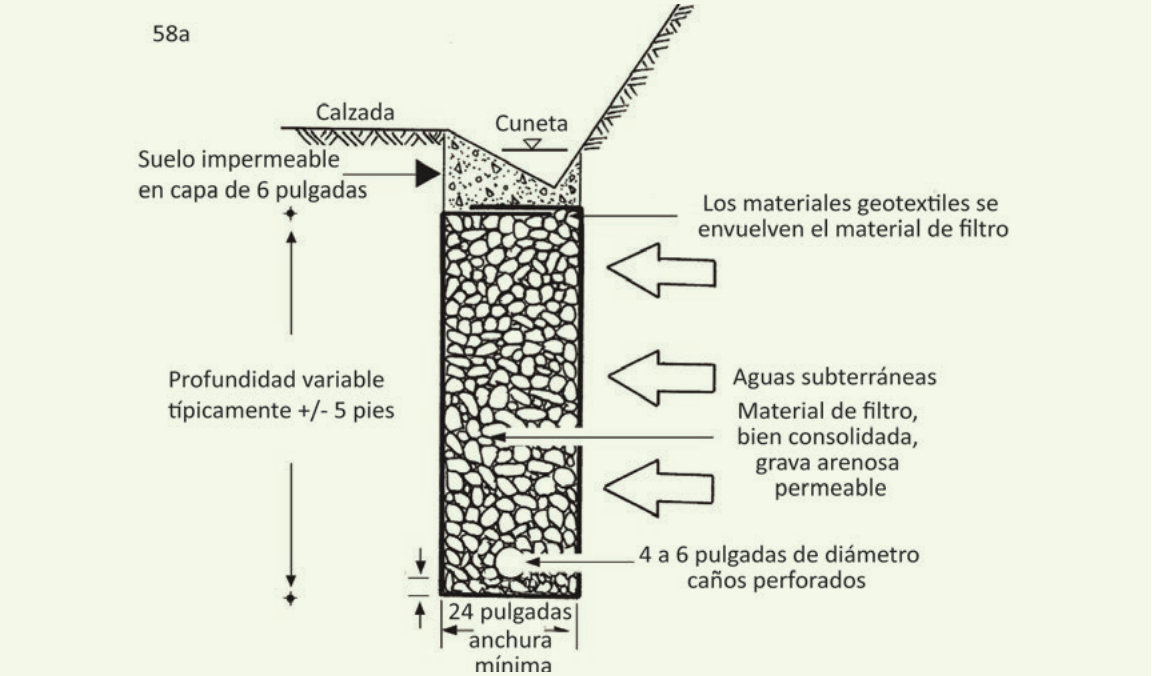
Evasión—Los cortes y rellenos del camino son muy susceptibles a manantiales, filtraciones y condiciones de suelo saturado. Los caminos se deben ubicar o volver a trazar para evitar áreas delicadas como testeros (depresiones empinadas en forma de tazón o bajío cerca de cabeceras de pequeñas áreas de cuenca), áreas húmedas y suelos inestables. Además de evitar obstáculos obvios, como afloramientos rocosos y deslizamientos de tierra, los caminos deben ubicarse como para evitar áreas ribereñas; suelos saturados e inestables; suelos expansivos; humedales; pantanos, manantiales; y otras áreas húmedas ambientalmente delicadas. Las mismas se deben identificar como puntos de control a lo largo de una trazado del camino que se marcan durante la presentación de campo y se deben evitar durante la construcción. Los caminos se deben ubicar donde se puedan lograr los costos de construcción y la estabilidad del camino, y donde el impacto sobre arroyos, la calidad del agua y el hábitat acuático sea mínimo.

Tratamientos—Si se deben cruzar áreas húmedas y no se pueden evitar, se deben utilizar métodos especiales de drenaje construcción para reducir los impactos de la construcción y el uso del camino. Las zonas húmedas localizadas generalmente requieren taludes de corte de gradiente comparativamente bajo de 2:1 o más leves para reducir el riesgo de falla. La experiencia demuestra que un ángulo de talud húmedo estable podría ser aproximadamente la mitad del ángulo del mismo talud seco estable. Los taludes de corte bajos y leves muestran menos inestabilidad e índices de erosión más bajos.

También se pueden usar contrafuertes simples del talud a lo largo de un talud de corte inestable y húmedo (Figura 52), pero a menos que involucre un camino principal, rara vez se utilizan las medidas de ingeniería más costosas en caminos forestales y rurales de bajo volumen. Se pueden utilizar el refuerzo del suelo y el blindaje de pequeñas depresiones, la plantación y otras técnicas simples de control de la erosión en cortes marginales pero las inestabilidades seguirán ocurriendo hasta que el talud se haya estabilizado naturalmente. El mantenimiento del corte y la cuneta serán un requisito continuo durante cierto tiempo.

El subdrenaje se usa para llevar agua subsuperficial o emergente de la calzada. Puede haber filtraciones a lo largo del corte marginal, debajo de la calzada y/o debajo del relleno del camino a lo largo del borde externo del mismo. Esto puede provocar varios problemas si el agua subsuperficial no se drena del prisma del camino y el área de construcción, que incluyen: rellenos y materiales de la subrasante excesivamente húmedos, lo que conduce a que se produzcan arroyuelos en la superficie del camino o a la necesidad de grandes cantidad de roca como base, 2) descenso del corte marginal, 3) desperdicio masivo del relleno debido a las presiones de los poros del agua no aliviadas, y 4) bombeo continuo de lodo en la superficie del camino, lo que conduce a fallas del recubrimiento y la necesidad de aplicar recubrimiento regular, posiblemente con tela filtrante.

Las medidas especiales de drenaje de la subsuperficie (subdrenajes) no se utilizan frecuentemente en caminos forestales y rurales, pero es importante que se utilicen donde sean necesarias. Se pueden usar algunas técnicas relativamente simples de subdrenaje para drenar el agua antes de que afecte negativamente la fortaleza y la integridad de la calzada o provoque problemas de estabilidad en el talud (Figura 58). Las cunetas y los desagües de piedra en zanja (a veces llamados drenajes de trinchera) excavados a lo largo del borde interior del camino, en la base del corte marginal, son métodos comunes de drenar el agua subterránea emergente cuesta arriba antes de que pueda saturar los materiales de la calzada. Se pueden instalar tubos de drenaje horizontales para drenar el agua desde adentro del corte marginal, pero esta técnica de estabilización es costosa y no siempre es eficaz.



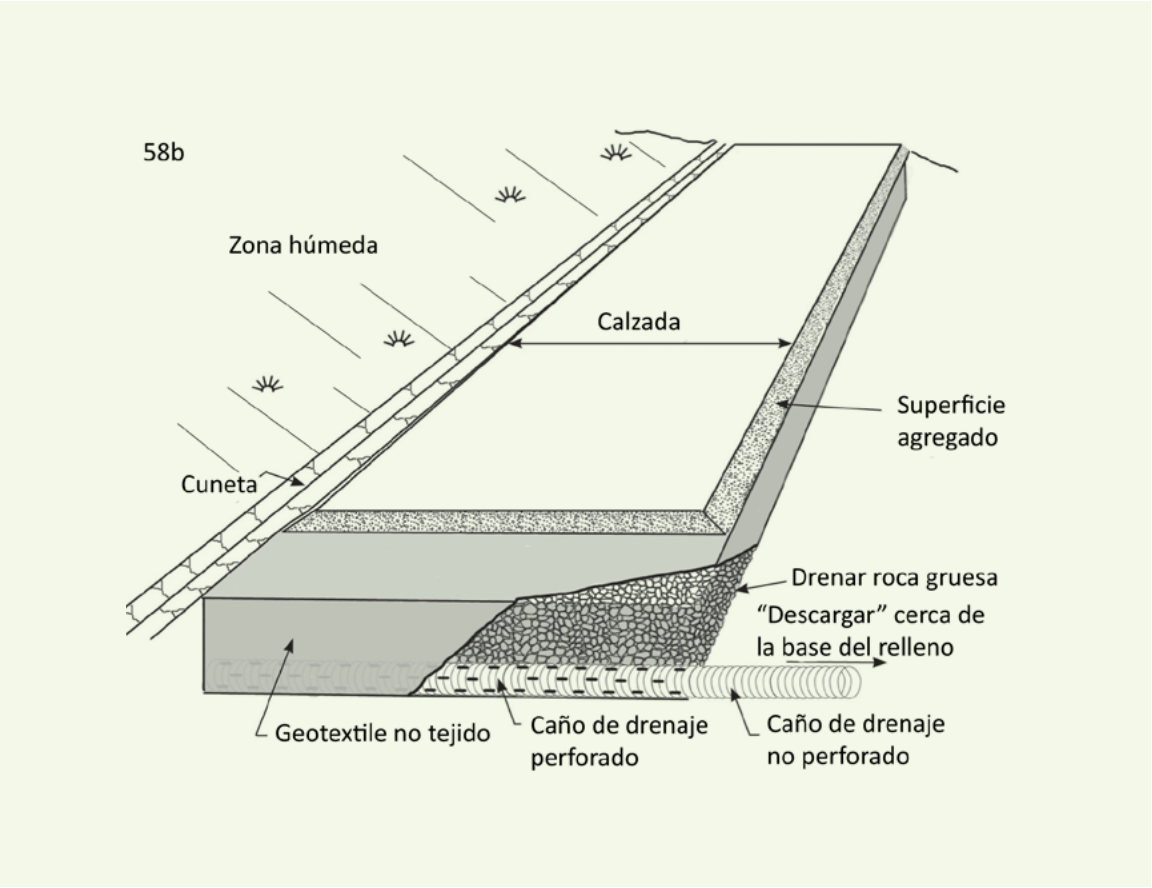


FIGURA 58.
Los caminos que se construyen a través de manantiales pequeños , filtraciones o áreas húmedas se pueden mantener secos y estables mediante el uso de técnicas de drenaje de la subsuperficie. Los mantos de drenaje verticales o desagües de piedra en zanja (a) y los mantos de drenaje horizontales (b) utilizando roca graduada y telas sintéticas (geotextiles), son dos métodos comunes para drenar el suelo subsuperficial y los materiales rocosos (Modificado de: Keller y otros, 2011).

Si la calzada cruza un manantial intermitente o perenne, puede que los suelos debajo de la superficie del camino necesiten drenaje adicional. Para el agua que surgirá debajo del camino, se pueden usar mantos de drenaje de grava para drenar el agua lateralmente hacia el pie del terraplén (Figura 58a). Las telas filtrantes (geotextiles) se utilizan para mantener la separación entre los materiales nativos de la ladera y los materiales de la capa base o la capa superficial (Figura 58b). Donde los rellenos son delgados, y donde el recubrimiento se coloca directamente sobre los suelos nativos, los geotextiles también se pueden usar sobre la subrasante para mantener la separación del suelo y prevenir que el suelo se bombee en los materiales de recubrimiento.

5. MATERIALES Y FUENTES DE MATERIALES

a. Roca y enrocamiento de protección del camino

i. Canteras de roca, bancos de roca and sitios de préstamo

Las canteras de roca, los bancos de roca y los sitios de préstamo se desarrollan para obtener rocas para diversos usos en los caminos rurales (Figura 59). Una **cantera** es un sitio de excavación abierto donde se desarrollan y extraen piedra, enrocamiento, agregado, y otros materiales de construcción desde una superficie de basamento rocoso o afloramiento de roca. El material rocoso se desarrolla usualmente desgarrando o demoliendo y a menudo se debe procesar mediante trituración, clasificación o filtrado para producir los tamaños de piedras deseados para un proyecto. En un **banco de roca o un sitio de préstamo**, el suelo o la roca se desgarran o excavan mecánicamente para producir los materiales de construcción o relleno para usar en un proyecto, como por ejemplo rocas de afloramientos para usar como blindaje o recubrimiento de caminos, agregado de depósitos de río, o material de relleno de suelos nativos. La clasificación y/o trituración pueden ser necesarios para producir las formas y tamaños necesarios.

Regulaciones—El desarrollo local, el uso y el abandono de canteras y bancos de roca/áreas de almacenamiento en California, y muchos otros estados, normalmente siguen requisitos regulatorios de gestión forestal (por ejemplo, la Ley de Prácticas y Normas Forestales de California o minería. Las normas para desarrollar fuentes de roca para silvicultura generalmente se concentran en mantener taludes estables y proteger la calidad del agua. Donde las operaciones de cantera involucran áreas relativamente grandes o donde se venderán productos comerciales para usar fuera de la propiedad, se pueden aplicar regulaciones de minería de la superficie más estrictas. Los organismos reguladores estatales y/o federales usualmente supervisan las operaciones de minería de la superficie. Por ejemplo, la Ley de Rehabilitación y Minería Superficial de California 1975 (SMARA) brinda una política integral de rehabilitación y minería de superficie para minimizar los impactos ambientales y asegurar que las tierras

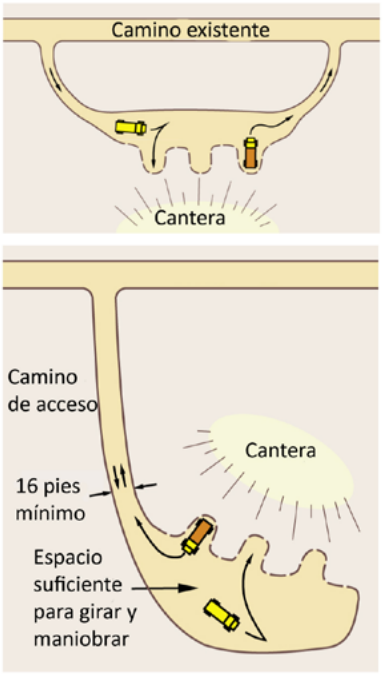


FIGURA 59. *Los caminos de acceso se requieren en nuevos lugares de cantera o sitios de préstamos que permiten el transporte eficaz hacia y fuera del áreas de generación de rocas. Se debe brindar suficiente espacio para extraer, procesar, cargar y transportar las rocas. El dibujo muestra dos posibles rutas de acceso a la cantera que maximizan la eficacia (Johannessen, 2008).*

minadas se rehabiliten hasta una condición utilizable. **Toda personas involucrada en operaciones de minería de superficie, inclusive canteras, bancos de préstamos o sustracción de grava de los lechos de ríos, se ve afectada si el áreas perturbada supera un (1) acre de tamaño o si el volumen acumulativo de material minado supera las 1.000 yardas cúbicas por lugar.**[3] La mayoría de los otros estados tienen regulaciones similares.

El amianto natural, que es común en rocas ultramáficas y suelo en todo Estados Unidos y el mundo, puede presentar riesgos graves para la salud cuando se transporta por el aire y se inhala. En áreas donde hay presente amianto natural, las actividades de construcción de caminos, y también el desarrollo de ubicaciones de cantera, préstamo o banco de roca pueden generar polvo transportado por el aire que se debe mitigar por la calidad del agua y el aire y la seguridad de los trabajadores. Las emisiones de amianto están reguladas por las leyes federales, estatales y locales de construcción, movimiento de tierra y minería. Contáctese con su organismos regulador estatal de la calidad del aire (por ejemplo, la Junta de Recursos Aéreos de California, el Programa de Calidad del Aire de Oregon/Washington/Montana) para ver los requisitos de cumplimiento regulatorio.

Desarrollo y gestión de la fuente de roca

Luego de determinar la necesidad, y de haber identificado una fuente posible de roca, normalmente los proyectos se desarrollan en cuatro etapas: reconocimiento, factibilidad, diseño y construcción.

1. *Reconocimiento*—La exploración inicial involucra el reconocimiento de campo utilizando mapas topográficos mapas e informes geológicos y fotografías aéreas. Todo proyecto que haya utilizado anteriormente la fuente de roca se debe examinar y evaluar en el campo. ¡Necesitará una cantidad y una calidad adecuadas de roca para su proyecto!

2. *Factibilidad*—La factibilidad incluye determinar el tamaño y el carácter físico de los afloramientos de roca y materiales de roca, incluso la dureza y los tamaños probables de los fragmentos que se podrían hacer. La factibilidad se analiza para preparar diseños preliminares y cálculos de costos para obtención de permisos, minería, procesamiento y transporte, así como también otros factores requeridos para el desarrollo de minería o bancos.

3. *Diseño*—El diseño del banco de roca o la cantera es necesario para asegurar que la roca desarrollada satisfaga sus necesidades, que incluyen la cantidad, los tamaños de roca, la calidad de la roca y el desecho esperado. Las pruebas de campo o registros de servicio de la misma roca utilizada en otros lugares se pueden usar en conjunto a, o en lugar de, análisis de laboratorio.

4. *Construcción*—Las investigaciones realizadas durante la excavación real de los materiales rocosos brindan al personal de campo y de diseño información detallada de cómo desarrollar mejor la fuente de roca.

El uso de fuentes locales de roca, como por ejemplo bancos de préstamos y canteras, puede producir ahorros importantes para un proyecto comparado con el costo de transportar materiales de fuentes comerciales o lugares lejanos. Sin embargo, la calidad del material de la cantera o el banco de préstamo debe ser adecuada para sus necesidades.

ii. Evaluar la calidad de la roca

El uso de materiales locales de alta calidad, incluso en pequeñas cantidades de una variedad de sitios, puede ser muy deseable y rentable, pero solo si rinde bien. Los materiales de mala calidad requieren más mantenimiento

3 En California la zona minera está exenta de la ley SMARA donde la excavación se hace exclusivamente para obtener materiales para usar en caminos de tala de madera o en actividades de gestión de minería en la propiedad donde ocurre la silvicultura, y si la huella de perturbación de la minería de superficie está a más de 100 pies de distancia de cualquier curso de agua Clase I o a 75 pies de distancia de cualquier curso de agua Clase II. Si alguna parte de la perturbación minera entra dentro del amortiguador de arroyo estipulado, o cualquier porción del material producido en la zona se utiliza para fines comerciales, las actividades de minería están sujetas a la ley SMARA. La minería para operaciones forestales en la propiedad está regulada por la Ley y Normas de Prácticas Forestales de California.

del camino y pueden romperse rápidamente; erosionarse, contaminar fuentes de agua, afectar la calidad del aire y requerir recubrimiento. La distancia de transporte afecta considerablemente el costo entregado de la roca así que es mejor usar canteras o bancos de préstamos pequeños y de alta calidad cuando es posible.

La calidad de la roca se puede determinar o juzgar por las características y condiciones in situ de la masa rocosa, así como también de pruebas de campo y de laboratorio de la roca real.

Pruebas in situ de la aptitud de la roca

- Las rocas naturalmente duraderas a menudo están identificadas y definidas en mapas geológicas. La mayoría de las rocas que son duraderas y resistentes forman afloramientos prominentes que sobresalen por el paisaje lindante. A menudo incluyen tipos de roca arenisca ígnea, metamórfica y bien cementada. Las limolitas ricas en arcilla, el esquisto y otras rocas sedimentarias de basamento delgado, o rocas que se erosionan rápidamente (por ejemplo, graníticas descompuestas, muy erosionadas) usualmente no constituyen buenas rocas duraderas.

- El rendimiento anterior es un buen indicador de la calidad de la roca. **Rocas cercanas o similares que se han explotado y utilizado en el campo durante un período de tiempo pueden brindar una medida excelente de rendimiento futuro de la roca en un cantera o un banco abiertos recientemente.** Este puede ser un mejor indicador de rendimiento futuro de la roca que muchas pruebas de campo y de laboratorio, aunque se prefieren ambas medidas.

- **Las pruebas de campo simple se pueden utilizar para medir la fuerza y la aptitud básica de la roca.** Por ejemplo, las areniscas se pueden examinar utilizando una lente de mano para ver si los granos son duros y brillantes o apagados y blandos. Finalmente, un martillo para rocas es una buena herramienta para las pruebas de campo. Si rompe un trozo de roca, y el rompimiento en realidad fractura los granos de cemento y mineral, entonces está bien cementada y es probable que sea duradero. **La roca más dura y duradera tiene un "anillo" notable cuando se golpea con un martillo y el martillo rebota rápidamente.** Las rocas que dan un "sonido de golpe sordo" de tono más bajo que un anillo de tono más alto probablemente sean más blandas y menos duraderas. Estos son indicadores cualitativos, así que es útil probar esto en rocas de durabilidad conocida para que pueda medir las respuestas relativas.

- Los tamaños de partícula de roca necesarios para su proyecto (por ejemplo, roca para el camino comprada con enrocamiento de protección) también deben estar disponibles fácilmente, o producirse fácilmente, desde el poso o el afloramiento sin esfuerzo excesivo o desarrollo de grandes cantidades de material de desecho.

Pruebas de laboratorio de la aptitud de la roca

Las pruebas de laboratorio o los resultados de campo se pueden usar para determinar cuantitativamente la calidad de la roca, y para predecir la aptitud del material rocosa para el uso como material de capa base o recubrimiento. Las pruebas de laboratorio se centran alrededor de los designados para determinar la resistencia a la abrasión, los ciclos de congelamiento y deshielo, y la fuerza en relación con la durabilidad. Sin embargo, las pruebas de laboratorio para aplicaciones de caminos forestales y rurales son costosos y no se usan frecuentemente.

Si se utilizarán pruebas de laboratorio, la roca de calidad más marginal debe recibir la mayor cantidad de pruebas. **El objetivo definitivo de todas las pruebas es predecir la durabilidad y prevenir los peligros de erosión. Por eso el rendimiento en el campo bajo condiciones reales y durante períodos extendidos puede brindar una imagen más exacta de aptitud de la roca que las pruebas de campo o laboratorio que están diseñadas para predecir el rendimiento.** Los geólogos y los geólogos ingenieros calificados pueden brindar orientación sobre la aptitud de agregado de roca para diversos usos de camino, y los gestores locales de camino y los equipos de mantenimiento tienen un excelente conocimiento de la aptitud de los agregados locales.

iii. Desarrollo y producción de roca

La roca se desarrolla con mayor frecuencia de una cantera o un banco mediante detonaciones, desgarros y excavaciones.

Detonación—Los métodos de producción que incluyen perforación, detonación, taladro, rasgamiento, excavación, procesamiento y transporte tienen un papel importante en los tamaños de roca que se pueden obtener. Al detonar basamento rocoso sólido y no fracturado, asegúrese de obtener todos los permisos requeridos y utilice solo expertos calificados, capacitados y autorizados. La roca extraída mediante detonación es a menudo el mejor material disponible y no está fracturada o erosionada gravemente, pero es probable que requiera procesamiento adicional y clasificación antes de poder utilizarla.

Rasgamiento y excavación—Donde los afloramientos de basamento rocoso contienen suficientes fracturas naturales, usualmente se pueden excavar materiales de roca mediante rasgamiento o martillos en vez de detonaciones. **Frecuentemente se utilizan destripadores hidráulicos montados en tractores de orugas más grandes, o los martillos hidráulicos sobre excavadoras, para generar rocas de afloramientos de basamento rocoso fracturado.** Los depósitos de grava en canales o los depósitos de terrazas fluviales se usan a menudo como fuentes de material para relleno y recubrimiento de caminos. Se producen por la excavación directa de gravas utilizando maquinaria pesada. La roca del río a menudo se filtra y tritura para desarrollar material más angular de las partículas de roca con forma redonda más grandes. **Idealmente, a menos que se permitan estas fuentes de grava, no se deben utilizar los depósitos en o cerca de arroyos o ríos. En cambio, los depósitos geológicos de terrazas fluviales se utilizan a menudo para producir gravas de río para recubrimiento de caminos y otros usos relacionados con caminos, y a menudo están ubicados lejos de canales de ríos activos.**

iv. Desecho rocoso

Es importante estimar y planificar la cantidad de desecho que se puede esperar de la producción de rocas, ya sea por detonación, o rasgamiento y excavación. El material de desecho de operaciones de canteras y bancos de préstamo se debe transportar y colocar en un lugar aprobado, estable, donde no ingresará a un curso de agua ni afectará negativamente el medio ambiente (Figura 60). El vertido lateral simple de escombros de desecho en el sitio de excavación generalmente no es aceptable. Se puede requerir un geólogo o un ingeniero geotécnico calificado para identificar los sitios de eliminación de desechos adecuados y para evaluar la estabilidad de los sitios antes de que se desarrollen o utilicen. Los descombros de desechos y los suelos de

FIGURA 60. *Este banco de roca se trabaja fácilmente con una excavadora, pero el material contiene abundantes partículas de granos finos. Aquí, se utiliza un filtro de roca Grizzly para separar el blindaje de roca de alta calidad de los materiales de desecho de granos finos. Como en esta foto, los materiales de desecho se deben transportar a un sitio de eliminación de desechos estable en vez de verterlos lateralmente sobre taludes empinados, inestables o junto al arroyo.*

cobertura original se deben reciclar y reutilizar durante la reclamación del banco de préstamo o la cantera.

v. Enrocamiento de protección

El enrocamiento de protección, utilizado a lo largo de caminos y donde los caminos cruzan arroyos, más comúnmente consisten en una disposición de rocas grandes, típicamente niveladas con rocas más pequeñas que llenan los espacios vacíos. El enrocamiento generalmente se utiliza para proteger un talud contra la erosión. A veces llamado protección rocosa de talud (RSP, por su sigla en inglés), funciona absorbiendo y desviando la energía del agua que fluye y se instala para disipar la energía y evitar la erosión a lo largo de costas, lechos de arroyos, contrafuertes de puentes cruces de arroyos y entradas y salidas de alcantarillas. Se utiliza en diversos tamaños para estos tipos de proyecto, y está diseñado para resistir las fuerzas que se espera que encuentre. En aplicaciones de caminos forestales y rurales, el enrocamiento a menudo está "diseñado en el campo" por personal experimentado, pero consultar a un ingeniero o geólogo ingeniero calificado elimina las conjeturas del diseño, asegura que los tamaños de las rocas son adecuadas para el fin buscado, y probablemente ahorran tiempo y dinero. La roca grande también están diseñadas y utilizadas para sostener terraplenes o taludes de corte inestables contras fallas y, debido a las grandes fuerzas de la tierra, estos diseños también son mejor desarrolladas por un profesional calificado.

La roca para el enrocamiento debe ser dura, densa, duradera y resistente a la abrasión, el desplazamiento por el agua que fluye o la exposición a diversas condiciones ambientales. Como otros productos de roca, las mejores pruebas de la aptitud de la roca son aquellas en las cuales los materiales de roca han estado en uso exitosamente durante largos períodos de tiempo en condiciones similares. Las rocas de enrocamiento no deben ser delgadas ni laminares, ni deben ser largas y tipo agujas. La "angularidad" a menudo se usa como descriptor cualitativo de la forma, porque mejora la capacidad de las partículas de blindaje de la roca de "juntarse" y ser estables en un talud.

vi. Roca para el camino (capa base y recubrimiento)

El pavimento de un camino forestal o rural es un sistema estructural compuesto de una capa de superficie y una capa base, todo sobre el suelo (nativo) subrasante preparado. El agregado ideal tiene fragmentos duros, densos y angulares con al menos 3 bordes puntiagudos, pero no lo suficiente como para perforar los neumáticos de los vehículos. Está bien nivelado (contiene una variedad de tamaños de partículas) con una forma compacta, gruesa, (no elongada ni laminar).

La roca de recubrimiento del camino debe ser lo suficientemente dura (ni frágil ni blanda) como para resistir la presión de los neumáticos de los vehículos sin fracturarse y con desgaste mínimo bajo cargas de neumáticos reiteradas. El agregado debe contener también suficiente grosos como para llenar los espacios vacíos y permitir una buena compactación. La grava de río, a veces conocida como "material de río", a menudo es demasiado redonda como para compactarse adecuadamente. Se puede triturar para mejorar la angularidad de las partículas más grandes, pero sigue conteniendo en partículas en su mayoría redondas y es menos adecuada.

Se debe usar recubrimiento de camino de agregado duradero para caminos utilizados activamente y segmentos del camino que drenan en arroyos a fin de minimizar la erosión, la producción y transporte de sedimento fino, y la turbidez (agua enlodada). El agregado marginal, de durabilidad más baja que se descompone y erosiona no se debe utilizar como capa de recubrimiento, especialmente en caminos de alto tránsito y en segmentos del camino que drenan a arroyos.

Mientras que el recubrimiento puede duplicar el costo de un camino (Tabla 21), la cubierta de roca o grava brinda una superficie estable que se puede utilizar para extender la temporada de operaciones mientras que limita el daño a la calidad del agua. Para caminos residenciales rurales, se requiere un recubrimiento de roca buena para el tránsito durante todas las temporadas. Sin embargo, si el agua llega a la calzada desde el flujo subsuperficial debajo del relleno del camino (en lugar de las precipitaciones), se requerirán medidas

TABLA 21. Distribución estimada de costo para construir un camino de bajo volumen típico[1]

Fase de construcción	Costo promedio (%)
Equipamiento y material	10%
Arranque de claros, eliminación de desperdicio maderero	20–25%
Excavación	20–25%
Alcantarillas	10%
Recubrimiento de roca	30–40%

[1]USDA-SCS (1981)

adicionales a las rocas de la superficie para mantener la estabilidad de la superficie y controlar la erosión.

vii. Recuperación (rehabilitación) de canteras y sitios de préstamo

La recuperación es el proceso por el cual se minimizan los impactos adversos para que los terrenos minados se puedan utilizar para el uso beneficioso de la tierra luego de cerrarse y recuperarse. Algunos componentes clave de la recuperación incluyen la estabilización de taludes, el control de erosión, el control de inundaciones y drenaje, la evasión o mitigación de impactos sobre especies y hábitats delicados, minimizar la degradación del agua y el aire, la revegetación y la seguridad. El proceso de recuperación se puede extender a tierras afectadas que rodean terrenos minados, y puede requerir relleno, nivelado, recolocación de suelo, compactación de suelo, estabilización, control de drenaje, control de erosión, revegetación u otras medidas.

La recuperación consiste en actividades y tratamientos que rehabilitan, reparan, o mejoran parte o todo un camino existente, banco de préstamo, cantera o área perturbada y los restauran a su condición original o parte de su condición final deseada. La recuperación del sitio generalmente se necesita luego de la extracción de materiales, y usualmente las regulaciones dictan cómo se realiza la recuperación y la configuración y restauración finales del sitio. El trabajo de recuperación en sitios más grandes puede ser dictado por regulaciones (por ejemplo, ley SMARA) y siempre se debe definir en un *Plan de recuperación*. Las canteras y bancos pequeños pueden no necesitar un plan pero igual se benefician con ciertas prácticas de restauración que garantizan que no afectará negativamente el medio ambiente.

La recuperación generalmente consiste en pasos discretos, que empiezan con el rescate y el almacenamiento de la capa superior del suelo de las obras de despeje del sitio inicial. La capa superior del suelo no utilizada y los productos de desecho subsiguientes del desarrollo de rocas se pueden almacenar o guardar temporalmente para poder usarse para rellenar y volver a darle forma al banco o cantera final. El sitio reformado se diseña con un sistema de drenaje interno dispersado o un drenaje externo que evita que el sedimento erosionado se descargue en arroyos o lagos cercanos. Una vez que se ha logrado la topografía final, el sitio se cubre con capa superior de suelo rescatado o importado, tratado con medidas de control de erosión temporales y permanentes que incluyen sembrado y replantado, y medidas de seguridad requeridas (por ejemplo, restaurar el sitio para minimizar el peligro de salientes, rocas sueltas y pilas de material de desecho; instalando portones, barreras, carteles; etc.).

b. Geotextiles

Los geotextiles con telas sintéticas, permeables que se utilizan para separar, filtrar, reforzar, proteger, y/o drenar roca, suelo y otros materiales relacionados. Usualmente se fabrican con polímeros sintéticos que no decaen bajo los procesos biológicos o químicos. Esto los hace útiles en la construcción y el mantenimiento de caminos.

Las telas geotextiles vienen en tres formas básicas: tejidas, punzonada (tipo fieltro), o fundidas por calor. El geotextil tejido es una plancha hecha de dos grupos de fibras paralelas entrelazadas para formar una tela delgada y plana. Loa tela geotextil no tejida se estira más que el geotextil tejido y tiene mayor capacidad de dejar fluir agua a través o a lo largo del plano del geotextil. **Para aplicaciones de caminos generales, las dos especificaciones más importantes del geotextil son la permeabilidad y la fuerza.** Las telas tejidas tienen una fuerza de resistencia a la tracción elevada, pero tienen menor resistencia a la abrasión, menos permeabilidad y resistencia a la fricción más baja que las telas no tejidas. **En contraste, las telas no tejidas ofrecen resistencia superior al daño por abrasión y brindan excelentes características y menos resistencia a la fricción, así como también filtración y drenaje.**

Las variantes de geotextiles incluyen geosintéticos y geomembranas. Los compuestos geosintéticos como las geomallas, mantas, redes, mallas o planchas de plástico formado se han desarrollado principalmente para brindar refuerzo estructural y/o contener partículas. Una geomalla es un geosintético no tejido con agujeros grandes en un trazado rectangular utilizada para restringir el movimiento interno de partículas y los arroyuelos consecuentes, mientras que endurece la masa del suelo sobre toda su profundidad para mejorar (esparcir) la distribución de la carga de los vehículos. Una geomembrana es un forro o una barrera tipo membrana continua que actúa como barrera completa contra la humedad, pero permite la transmisión lateral de agua dentro de la membrana para que se pueda transmitir lejos del sitio.

i. Geotextiles para aplicaciones comunes de caminos

Los geotextiles y geosintéticos tiene una cantidad de aplicaciones para lugares de caminos forestales y rurales. Por ejemplo, los geotextiles mantienen las capas de subrasante y materiales de base separadas y manejan el movimiento del agua a través o fuera de la calzada (Figura 61). Otros usos incluyen:

- drenaje y filtración, incluso drenajes en trinchera o desagüe de piedra en zanja;
- subdrenajes y mantos de filtrado, para capturar el flujo de manantiales y filtraciones debajo de un camino;
- refuerzo de la subrasante, para brindar fuerza de resistencia a la tracción y a la compresión.
- contención de la subrasante o la base, para resistir el desplazamiento lateral de los materiales de recubrimiento;
- refuerzo de la estructura, para brindar fuerza de resistencia a la tracción lateral a los suelos;
- en muros de retención y muros de suelo reforzado, para brindar fuerza lateral a los rellenos emplazados y diseñados; y
- control de erosión, incluso trampas de sedimento (cercas de limo, cortinas de limo, etc.), protección del banco de enrocamiento, cunetas de desvío, y protección de taludes.

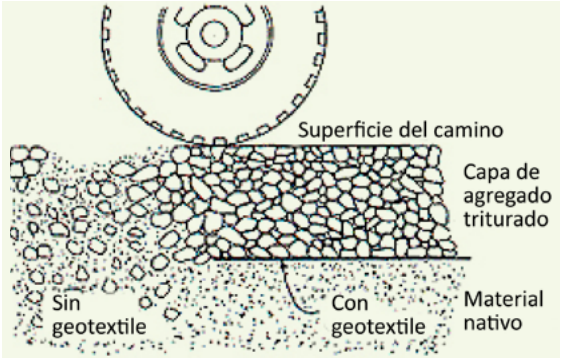


FIGURA 61. *Geotextil en aplicación de separación (Wiest, 1998).*

Los fabricantes de estos productos generalmente brindan asesoramiento profesional de expertos sobre el uso y la instalación adecuados de sus productos y se debería obtener este asesoramiento.

En los sistemas de caminos forestales y rurales, los geotextiles tiene cuatro funciones básicas (Figura 62):

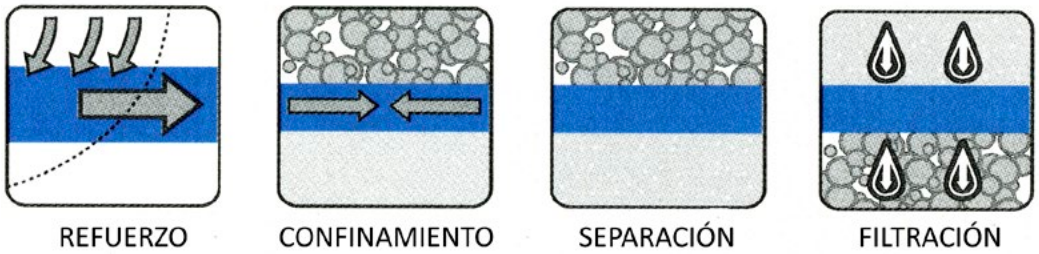


FIGURA 62. *Cuatro funciones básicas de los geotextiles. (TenCate Geosynthetics)*

- La *separación* es el beneficio principal del trabajo de estabilización con los geotextiles. Insertar un geotextil diseñado adecuadamente mantiene las capas de distintos tamaños de partículas separadas una de la otra, por ende evita la mezcla de los dos suelos y evita que los suelos finos de la subrasante se bombeen en y contaminen la roca base pura suprayacente.

- La *filtración* es el proceso de permitir que pase el agua por la tela mientras se evita la migración de suelo. El agua se puede transmitir hacia abajo (drenaje) a través del geotextil y en el subsuelo, o lateralmente (transmisión) dentro del geotextil.

- En el *refuerzo*, un geotextil puede fortalecer los materiales de tierra. Bajo las cargas, la tela no tejida generalmente muestra alta fuerza de resistencia a la tracción y amplía las cargas de la subrasante (se esparce).

- Los geotextiles también brindan *confinamiento* agregado sobre la tela (manteniendo la roca del camino en su lugar) y buena resistencia friccional (para que el agregado no se salga de la tela). Los geotextiles con características friccionales superiores, como por ejemplo las telas no tejidas punzonadas, ayudan a "bloquear" el agregado en el lugar.

Donde no es probable que el agregado se quede en el lugar incluso bajo condiciones de tránsito normales (por ejemplo, en una pendiente de camino empinada, dentro de un vado, o donde hay agregado de río redondo) se puede utilizar una geomatriz o una geomalla para contener físicamente los materiales del suelo (contención) agregar fuerza de resistencia a la tracción y prevenir el movimiento lateral del agregado. Sin embargo, estos geosintéticos no tienen la capacidad de separar materiales o brindar filtrado.

Al usar geotextiles, a menudo se puede reducir el grosor del agregado del camino requerido hasta un 30% debido a sus propiedades fortalecedoras. Esto es importante y puede ahorrar dinero si no hay una fuente cercana o asequible de roca de alta calidad para el camino.

ii. Geotextiles para control de erosión

Los geotextiles se pueden utilizar de muchas maneras para el control de erosión. Una de ellas es con enrocamiento de protección a lo largo de bancos de arroyos, costas de lagos y otros cursos de agua para evitar que los suelos más finos debajo del enrocamiento de protección se erosionen (Figura 63). Los geotextiles se utilizan también para proteger los bancos inclinados de cunetas de desvío, y para controlar la erosión de la superficie (mantos de control de erosión) o retener sedimento erosionado en el área del proyecto (por ejemplo, cercas de limo). Los geotextiles recomendados para el control de erosión debe tener permeabilidad, resistencia a la abrasión, y alta resistencia a los rayos ultravioleta como consideraciones primarias. El control de erosión cubre una variedad de condiciones desde el flujo de arroyos de alta velocidad a la acción de olas pesadas, a condiciones menos severas.

C. DISEÑO DE CRUCE DE ARROYO

Donde un camino cruza un curso de agua natural, se deben tomar medidas para llevar el agua por debajo o a través del camino. La selección del mejor y más adecuado diseño de cruce de arroyo depende de una cantidad de factores, y una mala elección de diseño

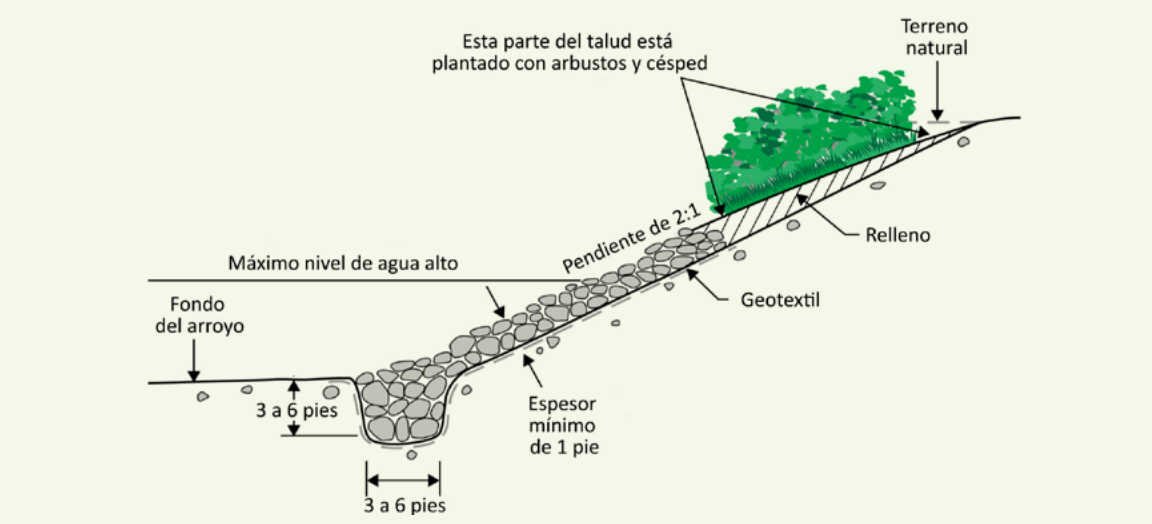


FIGURA 63. *Geotextil utilizado debajo del enrocamiento de protección usado como control de erosión, filtrado y separación del material. Ya sea en aplicaciones junto al arroyo, al lago o como contrafuerte de talud, la tela permeable protege los suelos de granos finos debajo de la coraza contra la erosión y las socavación, y deja que el agua del suelo se filtre a través de la tela y en el área blindada sin aumentar las presiones de agua de los poros (Modificado de: USDA - NRCS, 2007).*

puede dar como resultado una instalación costosa que está sujeta a fallas y daño ambiental considerable.

Los arroyos se pueden cruzar con puentes (que incluyen arcos) o alcantarillas (flujo debajo de la calzada), o rellenos o vados blindados (donde el flujo del arroyo pasa por sobre la superficie del camino). Las alcantarillas son la estructura de cruce de arroyo más común y los puentes y los arcos son los mejores para arroyos grandes o donde hay peces migratorios presentes. Los vados funcionan bien en arroyos pequeños o medianos en los que el fondo del arroyo es estable y el tráfico es liviano, y no se requiere paso de peces, pero su uso puede provocar turbidez persistente aguas abajo y la contaminación de sedimento fino. Los rellenos blindados, donde el arroyo fluye sobre la parte superior delo relleno y por el lado exterior protegido del relleno, se utilizan en arroyos relativamente pequeños, que no tienen peces, que fluyen solo ocasionalmente durante la temporada húmeda. Como no se pueden taponar con escombros, se utilizan en lugares donde el mantenimiento de la emporada invernal o húmeda es difícil o imposible.

1. REQUISITOS LEGALES

Todos los propietarios privados que construyen cruces de arroyos temporales o permanentes deben obtener permisos adecuados y seguir las leyes y regulaciones aplicables de organismos estatales y federales. Antes de realizar operaciones de construcción de caminos o madereras, o para modificar el lecho o los bancos de un canal de arroyo por cualquier motivo, es importante determinar los requisitos legales de su trabajo (consulte el Capítulo 1, Sección I).

Todos los estados y países tienen requisitos regulatorios sobre el trabajo en o alrededor de arroyos y lagos, y la mayoría tiene estándares y/o mejores prácticas de gestión (MPG) para instalaciones de cruces de arroyos y para operaciones de construcción de caminos en estas áreas. Estos incluyen a menudo requisitos de tamaño de alcantarillas, requisitos para la remoción de cruces de arroyos temporales, límites sobre las operaciones cerca de canales de arroyos, normas de construcción de caminos, y una variedad de requisitos de construcción de caminos y control de erosión (por ejemplo, consulte el Apéndice B).[4] Deberá comprobar en los organismos regulatorios para determinar los requisitos de su área antes de emprender el trabajo en un proyecto similar. Dichas regulaciones siempre tienen los mismos objetivos amplios: permitir operaciones de uso de bosques o tierras sostenibles y al mismo tiempo brindar la máxima protección factible para el medio ambiente.

Será menos costoso y ciertamente más eficaz enterarse de qué mejores prácticas de gestión (MPG) son aplicables y requeridas en su área antes de planificar, diseñar y llevar a cabo un proyecto de construcción,

4 La información sobre la Ley y Normas de Práctica Forestal de California se puede obtener en las oficinas de la Unidad de Guardaparques del Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California.

mejora o clausura de un camino que involucre cruces de arroyos. Por ende, en California la mayoría de las regulaciones federales y estatales de contaminación del agua son administradas por Junta de Control de Recursos Acuíferos del Estado de California, a través de sus Juntas Regionales de Control de la Calidad del Agua Una mala elección del método de cruce de arroyo puede dar como resultado un daño importante de la calidad del agua en el sitio inmediato y aguas abajo. Hay requisitos legales estrictos para proteger la calidad del agua. **Las órdenes de detención de las obras, las órdenes de limpieza y reducción, las sanciones duras por contaminación pueden demorar o clausurar su proyecto y ser muy costosas. ¡Hágalo bien la primera vez!**

Independientemente de dónde esté ubicado, pida asistencia a sus organismos reguladores locales para determinar qué permisos puede necesitar y qué prácticas se requieren antes de iniciar un proyecto propuesto. En California, pida asistencia e información sobre los requisitos para su proyecto a su biólogo del Departamento de Peces y Vida silvestre de California, a un silvicultor del Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California, a un geólogo del Servicio Geológico de California, al inspector de su Junta Regional de Control de la Calidad del Agua o a un especialista del Distrito de Conservación de Recursos. **La prevención siempre es el mejor curso de acción para llevar a cabo conservación de recursos y protección progresiva de la tierra.**

2. DISEÑO DE CRUCES DE ARROYO Y CONSIDERACIONES DE REDISEÑO

Clasificar el arroyo (por ejemplo, cursos de agua Clase I, II, III o IV de California) y el camino (temporal, estacional, o permanente para todos los climas) es el primer paso para definir el tipo de cruce de arroyo a instalar. **Los cruces de arroyos se deben diseñar (o rediseñar) para el paso adecuado de peces (incluso donde los peces podrían estar presentes estacionalmente), para que tengan impacto mínimo sobre la calidad del agua, y para manejar la escorrentía pico y las aguas de crecidas.** Ahora se espera y requiere el paso de peces en la mayoría de las áreas del país, y debe considerar y brindar los requisitos de peces para todas las fases de la vida de peces migratorios y residentes que encuentran el sitio de cruce. Los cruces de arroyos se pueden clasificar como "permanentes"[5] o "temporales".

Hay tres subcategorías básicas de cruces de arroyos permanentes y temporales: 1) puentes y arcos, 2) vados and rellenos blindados, y 3) alcantarillas. Las alcantarillas incluyen no solo el tubo de metal corrugado tradicional (CMP, por su sigla en inglés), sino también tubos de plástico HDPE, alcantarillas de concreto, cruces temporales de troncos/alcantarilla, y otras estructuras temporales que pasan flujo del arroyo a través o por debajo del relleno del camino.

El tipo de instalación de cruce seleccionado depende de una cantidad de factores. Se debe considerar cada uno de estos elementos antes de seleccionar el diseño o la ubicación finales de la instalación del cruce de arroyo. Las consideraciones de diseño incluyen:

- si peces, anfibios u otra fauna en cualquier fase de vida usa el canal como ruta de migración en el sitio del cruce,
- si el cruce será temporal (utilizado solo para una sola entrada) o permanente (a ser utilizado durante más de una sola temporada o una cantidad de años),
- los tipos de vehículos que utilizarán el cruce,
- el talud, la configuración y la estabilidad de las laderas naturales a cada lado del canal (condiciones de cimientos del suelo),
- la inclinación del lecho del canal,
- la orientación del arroyo relativa al camino propuesto,

5 Realmente no hay tal cosa como un cruce de arroyo entubado "permanente". Las alcantarillas están sujetas a una variedad de procesos que garantizan su falla eventual a menos que reciban mantenimiento regular, periódico y pluvial, y se reemplazan y reconstruyen al final de su vida útil normal. Los tubos de alcantarillas de metal tiene una vida útil limitada y finalmente se desgastan y fallan. Además, como las alcantarillas están diseñadas para pasar una "crecida de diseño" , eventualmente puede ocurrir una crecida más grande que supere la capacidad de la alcantarilla y arrastra el cruce de arroyo.

- la descarga de de crecida (máxima) de 100 años (por ejemplo, tamaño del arroyo),
- la cantidad y tipo de sedimento y escombros de madera que se transporta dentro del canal durante condiciones de crecida,
- los costos de instalación y mantenimiento subsiguiente del cruce,
- la frecuencia de uso esperada, y
- limitaciones y diseños impuestos por permisos y otros requisitos legales.

Estos y otros factores específicos del sitio tiene un papel para determinar la mejor ubicación del cruce y el tipo más adecuado de cruce de arroyo a utilizar.

Hace tan poco como en las décadas de 1960 y 1970, el tamaño de las alcantarillas y el diseño simple de los cruces de arroyos en caminos de bajo volumen a menudo se realizaba mediante métodos subjetivos, utilizando el mejor saber y experiencia disponibles de los equipos que llevaban a cabo la obra. Esto era muy común en caminos forestales y rurales no públicos donde la seguridad pública no era tema de preocupación. Para los caminos públicos anteriormente era práctica común que cuando un cruce de arroyo fallaba y era arrastrado durante un evento de crecida grande, se ponía a disposición dinero federal para emergencias para reconstruir el cruce o la falla. Lamentablemente, se requería que la reconstrucción fuera con los mismas normas que existían en la instalación original, por ende ser "recargaba" la pistola para la próxima tormenta de igual o mayor magnitud. Esto se ha corregido en gran parte para que las instalaciones nuevas se puedan diseñar conforme a las normas actuales, haciendo menos probable que ocurran fallas futuras.

a. Reducir la vulnerabilidad de los cruces de arroyos

Los cruces de arroyos entubados son naturalmente susceptibles a fallas. Por eso es poco apropiado llamar a los cruces de arroyos entubados "permanentes". En realidad, un cruce de relleno es un dique de tierra, colocado a través de un canal de arroyo, que tiene un pequeño agujero (alcantarilla) en el fondo. Si la alcantarilla es demasiado pequeña, o si se tapona con sedimento, vegetación o madera, el "dique" (relleno del cruce de arroyo) se puede tapar y ser arrastrado. **Por eso los cruces de arroyo entubados deben diseñarse, construirse y mantenerse adecuadamente para prevenir la pérdida de relleno y la descarga de grandes volúmenes de suelo erosionado en el arroyo.**

Los cruces de arroyos arrastrados son una ocurrencia común en caminos forestales y rurales mal mantenidos y/o mal diseñados (Figura 64). Sin embargo, el taponamiento de la alcantarilla puede provocar más daños que un relleno de cruce de arroyo arrastrado. Si el flujo de una alcantarilla taponado se desvía por el camino adyacente, (en lugar de fluir sobre el relleno e inmediatamente regresar al canal del arroyo), el flujo desviado puede crear grandes sistemas de barrancos, hacer que los canales de arroyos naturales que reciben el flujo desviado se agranden considerablemente, o desatar deslizamiento de tierras al fluir sobre laderas desprotegidas cercanas.

Los cruces de arroyos con un potencial de desvío (DP, por su sigla en inglés) ocurren donde el camino sube por un sitio de cruce y tienen laderas que se alejan del cruce del arroyo (Figura 65). Si la alcantarilla se tapa, las aguas de crecida retenidas se desvían por el trazado del camino (Figuras 66a y 66b). Si el cruce no tiene DP, las aguas de crecida retenidas fluyen sobre la superficie del camino, sobre el punto bajo del relleno y regresan al canal natural (Figura 67).

El relleno puede erosionarse parcialmente o arrastrarse completamente, pero el flujo del arroyo no se desvía del canal y a las laderas y caminos adyacentes y desprotegidos. **La investigación de crecidas en áreas montañosas de Estados Unidos occidental ha indicado que, en promedio, los desvíos de arroyos causan de 2 a 10 veces el volumen de erosión y entrega de sedimento aguas abajo (a través de creación de barrancos y deslizamiento de tierra) en comparación con la erosión y el arrastre del relleno de un cruce de arroyo.**

FIGURA 64. *Cruce de arroyo que se erosiona después de una única tormenta en un camino no mantenido. La alcantarilla se taponó y el flujo de crecida superó el relleno iniciando una erosión de cabecera. Además de ser de poco tamaño, la alcantarilla se instaló en un gradiente plano que es más propenso a taponar la entrada con escombros. Si se deja sin corregir, el relleno del cruce continuaría erosionándose y entregando sedimento erosionado aguas abajo.*

i. Reducir el riesgo de falla del cruce de arroyo y desvío del arroyo

Los cruces de arroyos fallan por uno de dos mecanismos: 1) se erosionan parcial o completamente o forman barrancos (son arrastrados) cuando son superados por aguas de inundación, o 2) las aguas de inundación se desvían por el trazado del camino adyacente en vez de fluir sobre el camino y arrastrar el relleno del cruce. De cualquier manera, puede ocurrir daño ambiental considerable cuando los flujos de crecida superan la capacidad de que una estructura de drenaje del cruce de arroyo pasen el flujo de diseño y material en transporte.

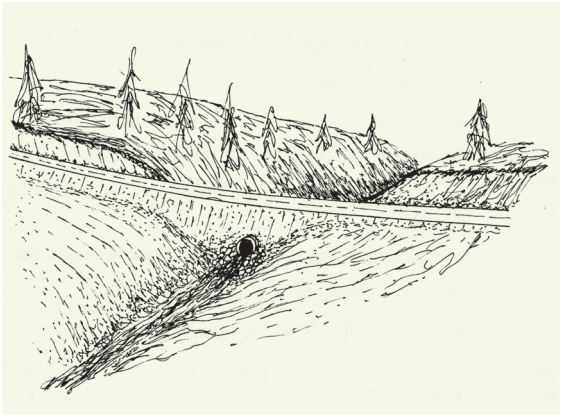


FIGURA 65. *Cruce de arroyo con potencial de desvío. El flujo del arroyo se desviaría por el camino hacia el lado derecho de la imagen si la entrada de la alcantarilla se taponara y el flujo llegara a la superficie del camino.*

Aunque los puentes y los arcos pueden tener menor tamaño localmente y ser propensos a fallas, los cruces de arroyos entubados son el tipo de cruce de arroyo más común, y más susceptible, con probabilidades de fallar durante eventos de crecidas. La mayoría de estas fallas son el resultado del taponamiento de alcantarillas, y la subsiguiente formación de charcos de agua de crecidas detrás del relleno del cruce del arroyo.

***Reducir el riego de falla de alcantarillas y cruces de arroyos*—Los tratamientos de estructuras de drenaje y dentro de canales se pueden aplicar a cruces de arroyos entubados para reducir la probabilidad de que una alcantarilla se tapone, y los subsiguientes flujos de crecida la sobrepasen o se desvíen por el**

FIGURA 66A. *Cruce de arroyo de alcantarilla doble que muestra el resultado del desvío del arroyo que ocurrió durante una tormenta invernal. El camino se inclina a la distancia a aproximadamente el 5 por ciento. Cuando las alcantarillas se taponan con escombros, el agua fluye por la cuneta interna y crea el gran barranco de desvío. Observe a la persona como comparación de la escala.*

FIGURA 66B. *Este gran barranco de ladera se originó durante un evento pluvial individual cuando una alcantarilla se taponó y un arroyo se desvió en un cruce de arroyo ubicado 400 pues camino arriba a la izquierda del vehículo. El sedimento erosionado de este barranco se entregó en el mismo canal de arroyo aguas abajo.*

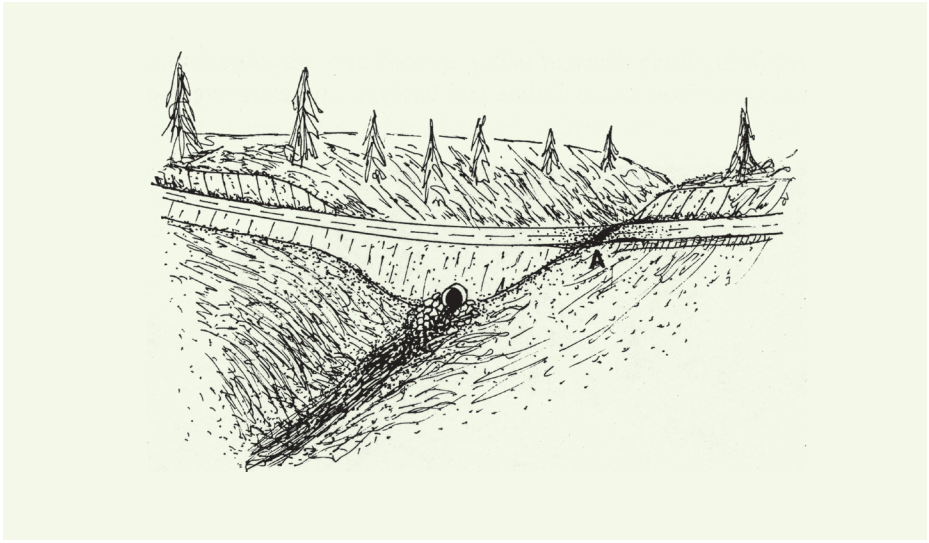


FIGURA 67. *Cruce de arroyo sin potencial de desvío. Si el cruce se viera superado, el flujo de crecida alcanzaría la superficie del camino y fluiría de regreso en el canal en el lugar "A", donde el camino cambia la pendiente. Esto se llama la línea bisagra del relleno, donde el relleno del cruce se une al talud natural.*

camino. Apuntan a reducir la probabilidad de que la alcantarilla se tapone más que evitar físicamente un desvío subsiguiente del arroyo, pero ambas técnicas reducen la vulnerabilidad del cruce de arroyo ante las fallas y el posible desvío del arroyo. Estas medidas se utilizan a menudo en pendientes empinadas del camino donde puede que no sea físicamente posible hundir el camino o construir un vado crítico en la superficie del camino para evitar el desvío del arroyo (por ejemplo, consulte la Figura 68), pero son adecuados como medidas preventivas en la mayoría de los cruces de arroyos entubados.

Las medidas más comunes utilizadas para reducir el riesgo de falla de alcantarillas y cruces de arroyo incluyen:

- aumentar el tamaño de la alcantarilla del cruce de arroyo más del diámetro de diseño de crecida de 100 años (por ejemplo, en uno o dos tamaños) para que los escombros de madera flotantes tengan menos probabilidades de taponar la entrada;
- instalar barreras contra escombros (también llamadas rejillas contra escombros) para capturar los escombros de madera flotantes apenas aguas arriba de la entrada de la alcantarilla antes de que pueda taponar la alcantarilla;
- instalar muros alero y/o una entrada acampanada de alcantarilla para dirigir la madera y el sedimento más fácilmente a través de la entrada de la alcantarilla o hacer que queden atrapados sobre o antes de llegar a la entrada;
- instalar una alcantarilla de desbordamiento de emergencia en un lugar más alto del relleno (sobre la alcantarilla principal) como "válvula de alivio" en caso de que la alcantarilla principal se tapone; y/o
- quitar el relleno del camino y sustituir el cruce de arroyo entubado con un puente.

***Reducir el riesgo de desvío del arroyo*—**Reducir el riesgo de falla de la alcantarilla no es suficiente, hay veces en que la falla de la alcantarilla ocurrirá a pesar del mejor diseño. **Excepto donde es físicamente imposible o donde no es compatible con los tipos de tránsito existentes, todos los cruces de arroyos nuevos y reconstruidos (mejorados) deberían diseñarse y construirse para prevenir el desvío de flujos de crecida si (cuando) la alcantarilla se tapona.** Si los diseños y tratamientos se hacen correctamente (por ejemplo, pueden soportar el flujo pico de 100 años), estos tratamientos preventivos pueden eliminar completamente el riesgo de desvíos futuros del arroyo, y sus consecuencias erosivas.

Con la construcción nueva, el diseño de prisma del camino más eficaz es hundir el camino en el canal del arroyo y volverlo a su nivel (un cruce en vado), para que cuando la alcantarilla se tapone el flujo de crecida se derrame sobre el punto bajo del relleno

FIGURA 68. *Cruce de arroyo en alcantarilla con potencial de desvío. Si esta entrada de alcantarilla se tapona con sedimento o escombros flotantes durante un evento de crecida, el flujo del arroyo se desviará por el camino en la distancia. Como la alcantarilla está cerca de la superficie del camino en este relleno poco profundo, se podría instalar un vado crítico inmediatamente a la derecho del relleno, para dirigir el flujo de regreso al canal.*

y vuelva al canal del arroyo natural. Los tratamientos de prevención de la erosión para la mejora del camino son similares a los de las construcciones nuevas; ya sea bajar físicamente el relleno existente sobre el cruce o construir un vado ondulante profundo y amplio para evitar que el flujo de crecida se desvíe por el camino (Figura 69). Donde el canal del arroyo no está cortado en el paisaje (por ejemplo, no se puede hacer un vado) o la alcantarilla tiene un relleno delgado suprayacente y está demasiado cerca de la superficie del camino, se puede construir el nuevo camino, o se puede reconstruir el camino existente, con un vado ondulante ancho y profundo en el lado camino abajo del cruce (sobre la línea bisagra del relleno) para dirigir los flujos de crecida sobre el relleno y de regreso al canal (Figura 67).

Este vado en el camino se llama **"vado crítico"** debido a su importancia crítica en la protección de la cuenca y sus arroyos contra los impactos pluviales. Aunque es parecido a un vado ondulante superficial, se debe diseñar para que tenga suficiente capacidad (ancho y profundidad) para transportar flujos de crecida desde el arroyo sin rebasarse y desviarse por el camino. Se dice que los cruces de arroyos sin potencial de desvío están diseñados como "seguros contra desvíos" porque un vado en el relleno del camino, o un vado crítico en la pendiente del camino, evita que los flujos de crecida fluyan por el camino adyacente para hacer daño en otros lugares. La ubicación de este vado en la línea de bisagra camino abajo también minimiza el volumen de erosión que es probable que ocurra cuando y si se rebasa el relleno.

Evitar desvíos futuros del arroyo es una de las medidas más importantes y rentables que se pueden aplicar a la red de caminos existentes para proteger la calidad del agua y el hábitat acuático aguas abajo contra daños catastróficos. Cuando más empinadas son las laderas, más erosionables los suelos, y más grandes los arroyos desviados, mayor será el potencial de erosión considerable y los impactos aguas abajo del desvío. Sin embargo, incluso los arroyos pequeños, cuando se desvían a laderas empinadas e inestables, pueden provocar grandes deslizamientos y flujos de escombros que pueden impactar gravemente ríos y arroyos en áreas cuesta abajo muy lejos del sitio real del desvío. En algunos lugares (como por ejemplo fondos de valles y laderas basales de gradiente bajo) es menos probable que el taponamiento de alcantarillas y el desvío de arroyos provoque erosión considerable o impactos sobre la calidad del agua. Se requiere cierto juicio para identificar correctamente estos lugares de poco riesgo.

ii. Reducir la magnitud de las fallas de los cruces de arroyo

Cuando se tapona una alcantarilla de cruce de arroyo, y las aguas de crecida rebasan el relleno del cruce de arroyo, el prisma del camino y el relleno comienzan a

FIGURA 69. *Un camino que sube gradualmente cambia la pendiente sobre el pequeño cruce de arroyo, y por ende elimina la posibilidad de desvío futuro del arroyo. El vado es amplio y suave para el tránsito, y está diseñado para llevar flujos de crecida máximos a través del camino y de regreso al canal con erosión y entrega de sedimento mínimas.*

formar barrancos a medida que el flujo cae en cascada por el lado exterior del relleno. La magnitud de la erosión del cruce del arroyo (arrastre parcial o completo) depende del volumen, la velocidad y la duración del evento de desbordamiento, así como también la erosionabilidad y el volumen de los materiales del relleno.

Se pueden diseñar tres tratamientos básicos en un cruce de arroyo para minimizar la magnitud de la erosión que ocurre luego de un evento de desbordamiento.

1. *Minimizar el volumen de relleno erosionable:* **Minimizar el volumen de relleno erosionable se hace haciendo una hondonada en la pendiente del camino que entra y sale del cruce del arroyo, en vez de hacer que el camino pase en una pendiente suave a través del relleno del cruce.** Para rellenos superficiales (por ejemplo, Figura 69), o para pendientes empinadas del camino que cruzan un relleno (por ejemplo, Figura 68), podría hacer una vado pequeño en el camino. Para rellenos profundos de cruces de arroyos, con alrededores leves, la cantidad del vado que se puede construir (excavar) es controlada por la inclinación de la pendiente resultante en cada alrededor. Los rellenos de cruces de arroyos muy pronunciados significan que hay menos relleno para erosionar en un evento de desbordamiento y garantiza que el arroyo no se desvíe por el camino adyacente cuando ocurre el desbordamiento.

2. *Minimizar los índices de erosión por desbordamiento:* **Para minimizar la cantidad de erosión que ocurriría en un evento de desbordamiento por crecida, y para minimizar el daño al cruce, el desbordamiento de crecida se puede dirigir intencionalmente a un lugar endurecido o más resistente en el relleno.** Al ubicar el eje del vado profundo del camino, o el vado crítico para rellenos superficiales, en la línea de bisagra camino abajo del relleno del cruce, solo una pequeña cantidad del relleno se erosionará hasta que se encuentren suelos nativos más densos o basamento rocoso. Esto minimiza el índice y el volumen de erosión creado por un evento de desbordamiento. Si el vado estuviera ubicado sobre el centro del relleno del cruce de arroyo, la erosión progresaría más rápidamente por el relleno fácilmente erosionable y potencialmente expondría la alcantarilla.

3. *Blindar el vertedero de desbordamiento:* Finalmente, en canales donde los flujos de escombros u otros eventos de taponamiento de alcantarillas son relativamente comunes, se puede construir un canal de desbordamiento blindado en el lado exterior del relleno a través de eje del vado del camino. El blindaje protege el relleno subyacente contra la erosión durante un evento de desbordamiento. Aunque es difícil diseñar correctamente el tamaño de blindaje requerido para usar en un terraplén empinado, la roca también se puede rellenar o fijar en el lugar con concreto. Es importante diseñar una forma de canal transversal para contener el desbordamiento de crecida esperado y evitar el corrimiento del blindaje rocoso. Este tipo de tratamiento de blindaje del vertedero se necesita solo en un porcentaje pequeño de cruces de arroyos, donde el desbordamiento es un algo común o donde las fallas son probables (por ejemplo, la alcantarilla basal tiene un tamaño demasiado pequeño), el volumen de relleno erosionable es alto y los recursos aguas abajo son especialmente delicados o valiosos.

Los eventos de desbordamiento son raro, así que debe equilibrar el gasto del diseño de protección con la probabilidad de su ocurrencia. **Los vados de cruces de arroyos adecuadamente ubicados y diseñados (el cambio de diseño más rentable) minimiza la erosión y el daño de rellenos de cruces de arroyos en la mayoría de los eventos de desbordamiento. Usualmente no se requiere blindaje ni la construcción de un canal de desbordamiento para llevar aguas de crecidas.**

b. Diseños de paso de peces

Para arroyos que tienen peces, diseñar cruces con paso de peces adecuado es igual de importante como dar el tamaño al cruce del arroyo para el flujo de crecida de 100 años y para que pase el sedimento y los escombros.[6] Los cruces de arroyos que no están diseñados adecuadamente para la migración aguas arriba y aguas abajo

6 Consulte el Apéndice C para conocer el vocabulario específico de este requerimiento en las Reglas de Prácticas Forestales de California.

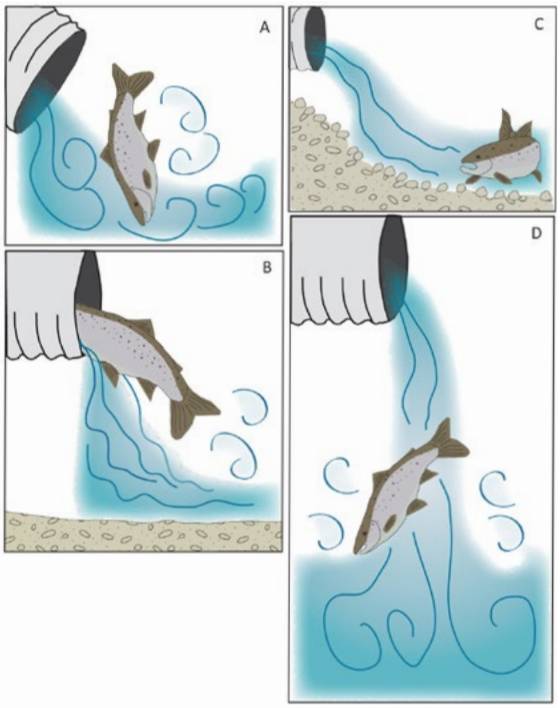


FIGURA 70.
La instalación incorrecta de la alcantarilla puede impedir el paso de peces a través de un cruce de arroyo. Las condiciones que bloquean el paso de peces incluyen: A) velocidades del agua demasiado rápidas, B) profundidades del agua demasiado bajas, C) área de descansos o profundidad de estanque de salto insuficientes en la entrada de la alcantarilla, y D) salidas de alcantarillas que están demasiado elevadas sobre el lecho del cauce (Modificado de: (Weaver y otros, 1991).

de especies de peces anádromas o residentes pueden combinarse y dar como resultado la pérdida general de hábitats importantes de peces y productividad ecológica.

De todos los tipos de diseños y estructuras de cruces de arroyos, las alcantarillas son las que se identifican más comúnmente como las que impiden el paso de peces. Las investigaciones indican que, en comparación con el canal natural, las alcantarillas mal diseñadas en arroyos que tienen peces a menudo dan como resultado (1) la sustitución de gravas naturales para el desove con materiales de tuberías, (2) enderezamiento y acortamiento de canales de arroyos, que por ende dan como resultado la reducción de la complejidad del canal natural y mayor velocidades del arroyo, y (3) impedimento del paso de peces a través de la socavación en salidas de alcantarillas mal diseñadas (Figura 70). Además, las actividades de construcción en arroyos que tienen peces también puede dar como resultado la modificación de la hidráulica del canal del arroyo y la liberación de sedimento fino, provocando gravas de desove incrustadas y reducción de las profundidades de los estanques.

Hay beneficios obvios, pero también costos potenciales, en la remoción de una barrera para el paso de peces y organismos. Ocasionalmente los cruces impenetrables pueden brindar una función ecológicamente beneficiosa. Por ejemplo, las alcantarillas elevadas brindar control en elevación (de pendiente) creando un límite rígido contra la migración aguas arriba de la incisión del canal en un sistema de canales inestables. La remoción de una alcantarilla que controla el nivel de base podría permitir que la incisión del canal progrese aguas arriba, contribuyendo a la reducción de la calidad del hábitat en toda la extensión aguas arriba. En pocos casos, incluso se podría preferir instalar o mantener una barrera de paso de peces. Por ende, una alcantarilla que es impasable para una especie invasiva protege las especies nativas aguas arriba contra depredadora y competencia indeseada. Debe consultar a un biólogo calificado en pesquerías, y a los organismos reguladores adecuados antes de decidir quitar una barrera de migración de peces conocida.

El diseño adecuado de cruces de peces debe apuntarse al impacto mínimo sobre el hábitat o la "conectividad ecológica" para peces salmonoides y otros peces nativos, anfibios, reptiles, macroinvertebrados, insectos, y otros organismos que constituyen la red de alimentos acuáticos. Los peces deben poder moverse por la cuenca de agua para acceder a lugares de desove, para migrar en el verano a fin de evitar los flujos bajos de las temperaturas cálidas y para escapar a canales laterales para descansar durante los flujos de crecida del invierno.

i. Paso de peces en cruces de arroyos

Muchos caminos forestales y rurales se construyeron hace décadas, antes de que el paso de peces se considerara una consideración importante de diseño. Incluso en arroyos pequeños que tienen peces, las alcantarillas antiguas generalmente son demasiado pequeños, están instaladas en gradientes empinados o instalados a una altura elevada en el relleno del cruce de arroyo como para bloquear el paso parcial o completamente. Estos sitios se convierten cada vez más en el centro de los proyectos de mejora de caminos, para hacer el cruce de arroyo más resistente al daño pluvial y los flujos de crecida, y al mismo tiempo restablecer o mejorar el paso de peces.

El Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS, 2001), ha sugerido las siguientes alternativas y

estructuras/tipos de cruces de arroyos para arroyos que tienen peces en el orden de preferencia:

1. **Preferido:** *Ninguna estructura de cruce de arroyo en un arroyo que tiene peces.* El mejor diseño para el paso de peces es no instalar un cruce de arroyo que perturbe las características naturales del canal del arroyo. Clausurar o eliminar permanentemente cruces de arroyos existentes que actúan como barreras de peces y retrazar caminos para evitar cruzar el arroyo.

2. *Puente* que abarca el arroyo para permitir la estabilidad dinámica de largo plazo del arroyo. Los puentes son una opción costosa, pero cuando se instalan adecuadamente, son la mejor estructura de cruce para mantener la integridad del arroyo y las características del canal natural, así como también preservar la conectividad ecológica.

3. *Arco sin fondo, alcantarilla incrustada, vado incrustado, o vado* que simula las características naturales del lecho del cauce. Estos diseños de cruces incorporan el lecho del cauce natural en la base de la estructura y a través de todo el ancho del camino.

4. En canales de gradiente bajo, utilice una *alcantarilla no incrustada o un "diseño hidráulico"* que incorpore un diseño de alcantarilla más tradicional.

5. **Menos preferido:** en canales de gradiente más empinado, instale una *alcantarilla deflectora* o una estructura con una escala de peces diseñada.

Cuando los cruces de arroyos entubados se mejoran para el paso de peces, pueden ser reemplazados con puentes o instalaciones de arcos sin fondo. Para cruces de arroyos existentes, **los puentes que no afectan el lecho del cauce y que tienen sus contrafuertes fuera del cauce son los que menos probabilidades tienen de afectar negativamente el paso de peces y organismos.** Al reemplazar un cruce de arroyo entubado, la instalación de un puente es generalmente un proyecto un proyecto altamente eficaz pero potencialmente costoso. En caminos privados de normas bajas, el uso de puentes de plataformas de vagones y vigas I pueden ser una opción altamente rentable (Figura 71). Los arcos sin fondo, con los lechos de cauces naturales y contrafuertes al menos tan anchos como el cauce, también se consideran generalmente favorables para brindar o mejorar paso acuático (Figura 72). Debido a su alto índice de éxito, y a que no tienen que diseñar precisamente el control de la pendiente y la colocación de la alcantarilla en el sitio del cruce, una cantidad de compañías madereras comerciales han tomado como política colocar puentes en lugar de instalar alcantarillas incrustadas o estructuras de arco.

FIGURA 71. *Este puente de vagón plataforma se instaló para reemplazar una alcantarilla de poco tamaño que había sido una barrera para la migración de peces. El ancho del canal se mantuvo y se utilizó una cantidad menor de coraza para proteger los contrafuertes contra la erosión.*

La instalación más simple de alcantarillas adecuadas para los peces es la alcantarilla incrustada que contiene un lecho de cauce natural a través de un tubo ancho y de tamaño grande (Figura 73). Para muchos propietarios de tierras esta es la solución más rentable. La alcantarilla antigua se quita y se reemplaza en la pendiente del canal con una alcantarilla que está incrustada en las gravas del cauce del arroyo. Una alcantarilla incrustada puede tener cualquier forma, pero a menudo es un arco circular, caja o tubo que se ha enterrado en el suelo usualmente a 20–40% de su altura (Figura 74).

Idealmente, las alcantarillas incrustadas de paso de peces son anchas y casi tienen el ancho del cauce natural, para que los flujos no se aceleren al pasar por ellas y se evite la socavación aguas abajo. Generalmente las alcantarillas incrustadas se instalan en canales de arroyos de gradiente bajo que no

FIGURA 72. *Este arco placa sin fondo se instaló para brindar acceso de peces a través del cruce de arroyo. Cada contrafuerte está compuesto por un cimiento de concreto y el lecho del cauce estable garantiza el paso acuático continuo.*

FIGURA 73. *Las alcantarillas incrustadas son otro tipo de estructura de cruce de arroyo que permite el paso continuo de peces. Esta alcantarilla incrustada de 10 pies de diámetro tiene un lecho del cauce natural de grava y adoquines. Se instaló para reemplazar una alcantarilla de poco diámetro que había sido una barrera para la migración de peces.*

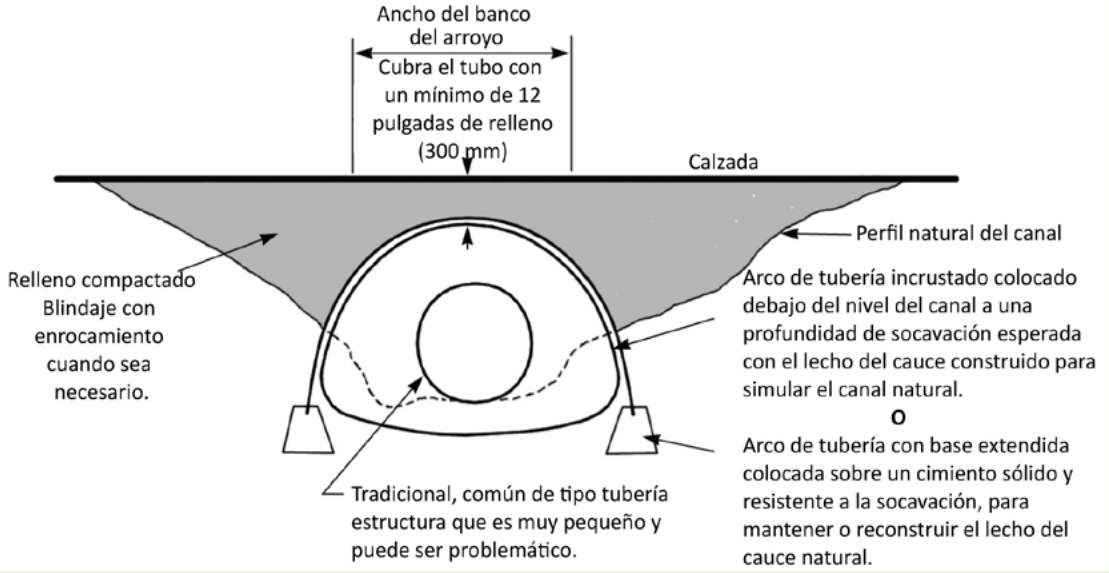


FIGURA 74.
Ejemplo de una alcantarilla de simulación de arroyo (que muestra una alcantarilla redonda preexistente, una alcantarilla de arco incrustada y un arco sin fondo o arco de placa) (Modificado de: (Keller y otros, 2011).

es probable que experimenten cambios considerables en el canal (por ejemplo, agradación o excavación del cauce). Una ventaja de la alcantarilla incrustada es que el fondeo de la alcantarilla puede brindar control de pendiente y protección contra la socavación extrema en comparación con una alcantarilla de fondo abierto.

Muchos cruces existentes de agua baja (vados) y alcantarillas crean problemas de paso para los organismos acuáticos. Sin embargo, al igual que otros tipos de estructuras de cruce, los cruces de agua baja se pueden diseñar eficazmente para: (1) permitir el paso de organismos acuáticos (2) proteger las especies endémicas contra la competencia invasiva, y (3) brindar control de pendiente en un sistema de arroyo cavado para la protección o la restauración de segmentos aguas arriba. Se pueden construir vados, especialmente vados con alcantarilla, para dejar pasar grandes flujos y grandes cantidades de escombros y aún así brindar un paso de organismos acuáticos adecuado.

Las condiciones de paso y los obstáculos para los cruces en vado son similares a las de una alcantarilla, excepto a condiciones acuáticas más elevadas cuando está impedido el paso sobre la estructura. Al menos debe haber una alcantarilla fijada profundamente en el lecho del cauce de una estructura de vado endurecida para que sea posible el paso durante condiciones de flujo bajo. Para el paso de peces o especies acuáticas, se deben lograr y mantener gradientes del cauce del arroyo uniformes y velocidades de flujo aceptables en todo el cruce. Al igual que se prefieren las alcantarillas incrustadas anchas para el paso de peces, una estructura de proporción de área de alcantarilla (VAR, por su sigla en inglés) para un vado con alcantarillas es mucho mejor pasaje para los organismos acuáticos y para mantener la función natural del arroyo (Figura 75).

En general, los canales de arroyos inestables y en erosión no se deben escoger para arcos de cruce de arroyos, vados o cruces de agua baja, especialmente donde se requiere el paso de peces. En una extensión que se degrada, los vados endurecidos y otras estructuras de cruce fijas al fondo (como las alcantarillas) se pueden socavar cuando la erosión de cabecera las alcanza, y esto podría eliminar el paso de peces. Al mismo tiempo, los cruces de agua baja y las alcantarillas pueden funcionar como estructurad de control de la pendiente, evitando que la erosión de cabecera siga adelante y protegiendo la estabilidad y el hábitat acuático de los segmentos aguas arriba. Puede que sea necesario instalar un puente o un arco de fondo abierto, o de otra manera brindar paso alternativo (como un canal arreglado) para los organismos acuáticos si ocurre una pendiente infranqueable en el lado aguas abajo de un vado, o si las estructuras de disipación de energía no

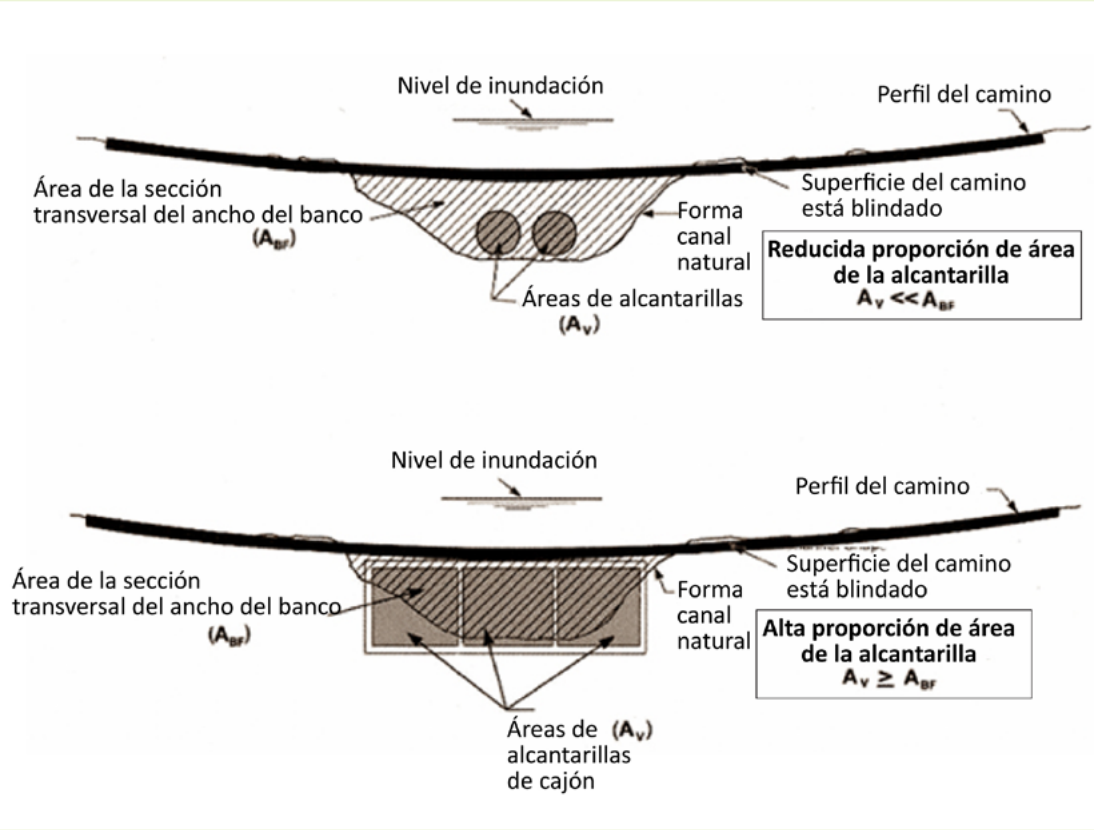


FIGURA 75.
Ejemplos de vados con proporción de área de alcantarilla (VAR) baja y alta. Se prefiere el cruce de área de alcantarilla elevada para el paso de peces (Keller y otros, 2011).

pueden soportar el paso. Esto es especialmente importante para los cruces de vados de losas de concreto.

ii. Control de pendiente para el paso de peces

Al instalar o reemplazar alcantarillas de cruce de arroyos, vados, vados con alcantarillas y otras estructuras de cruce de arroyo en arroyos que tienen peces, la pendiente del canal (inclinación) y la estructura del canal (rugosidad y caídas) se convierten en elementos importantes de diseño. Puede que las técnicas de instalación que podrían ser aplicables y eficaces para canales que no tienen peces ya no sean adecuadas. Por ejemplo, 1) las alcantarillas de cajón de fondo plano anchas, pueden no brindar el paso de juveniles en flujo bajo; 2) el blindaje de roca en la salida de una alcantarilla puede no permitir el paso o brindar un estanque de retención o salto adecuado; y 3) los muros de corte aguas abajo, las placas de disipación, los delantales contra salpicaduras, o los estanques de disipación de energía podrían reducir la erosión en la salida y la socavación del canal, pero dichas medidas también pueden crear barreras para el paso de peces. De igual manera, simplemente quitar o reemplazar una alcantarilla existente con una alcantarilla más grande podría desatar erosión del canal y la creación de una nueva barrera contra el paso de peces.

Las estructuras de control de pendiente pueden ser necesarias aguas arriba y/o aguas abajo de una estructura de drenaje recién instalada o quitada (especialmente alcantarillas) para controlar el perfil longitudinal y las elevaciones de la superficie del agua, y por ende proporcionar paso de peces continuo (Tabla 22). Puede que se necesiten controles de pendiente del canal para brindar paso de peces elevado o escalonado a través de la extensión de canal afectada. Las pendientes del canal se pueden estabilizar utilizando una serie de pequeñas estructuras de control de pendiente para producir escalones pequeños en el canal a fin de elevarlo a la elevación o el nivel requeridos. Alternativamente, el canal se puede dar rugosidad al canal con rocas gruesas para brindar una sección elevada continua que no se erosione y pueda permitir el paso de peces. En esencia, los canales que se hacen más rugosos son características

TABLA 22. Comparación de estructuras de diseño del perfil del canal utilizadas para controlar la pendiente ya sea aguas abajo o arriba de una alcantarilla de cruce de arroyo para arroyos que tienen peces[1]

Control de pendiente	Ventajas	Desventajas	Limitaciones
Umbrales de troncos	Control de elevación del lecho aguas abajo	Limitado a un gradiente final de <5% (afecta el largo para tomar la pendiente del canal).	Espaciado mínimo de 15 pies Limitado a un gradiente de <5%. La caída permitida depende de los peces que requieren paso. No hay ciclos húmedos/secos en medio.
Deflectores	Aumenta la dureza hidráulica	Problemas estructurales, de turbulencia, elevación del perfil hidráulico, escombros. No hay paso de peces pequeños.	Inclinación de ≤3,5%
Umbrales de planchas	Mano de obra manual	Menos durabilidad	Limitado a arroyos con un gradiente de <5%; arroyos pequeños.
Canal endurecido.	Apariencia natural, flexible, puede brindar paso para todos los peces	Se requiere experiencia técnica. Se requiere el análisis técnico del paso de peces.	Limitado a arroyos de un gradiente de <3%.
Control de piedras	Flexible, permite que el canal adquiera la pendiente lentamente	Se debe utilizar únicamente para el uso aguas abajo si la alcantarilla está incrustada suficientemente.	Caída máxima de 0,75 pies
Paso de peces	Puede permitir el paso de la mayoría de los peces	Costoso. Se requiere experiencia técnica y datos específicos del sitio sobre el régimen de crecidas. Problemas de escombros y cabalgamiento.	Rango angosto de flujo operativo. Difícil para brindar paso para todos los peces, todo el tiempo.

[1]Hotchkiss and Frei, 2007

permanentes diseñadas para resistir a los cambios del canal durante el evento de flujo de diseño de 100 años.

Diseñar el control de pendiente para permitir el paso sin obstáculos en un arroyo probablemente requiera la obtención de permisos especiales y/o el uso de un profesional calificado, experimentado (ingeniero hidráulico o geólogo ingeniero). Estos proyectos deben incluir el paso de todas las etapas de vida (por ejemplo, salmonoides juveniles y adultos) y seguir funcionando bien durante los períodos de flujo bajo y los flujos de crecida. Los diseños requieren un gradiente ininterrumpido, uniforme (o aceptable), un lecho de fondo natural en el sitio del cruce, que se extienda desde el lecho del canal natural por debajo del cruce de arroyo hasta el mismo lecho del canal natural sobre la estructura de drenaje. **El control de la pendiente puede requerirse para controlar la integridad del perfil longitudinal y las elevaciones de la superficie del agua a través del cruce de arroyo y, donde sea necesario, se debe consultar a personal capacitado.**

iii. Pautas de diseño

En la mayoría de los casos, el paso de peces está diseñado para peces juveniles, que se consideran la etapa de vida más vulnerable y "menos capaz" de peces migratorios y residentes. Diseñar cruces con paso de peces adecuado para peces juveniles es más difícil, pero asegura que se mantengan todas las etapas de vida y definitivamente la salud de todas las pesquerías de la cuenca. Este manual no es una guía para determinar el paso de peces y de organismos en un cruce de arroyos del camino, pero se brinda conocimiento de los criterios y elementos básicos del control de la pendiente para que los usuarios puedan determinar cuándo y cómo deben consultar a especialistas sobre su proyecto o sitio particular.

Determinar el diseño de paso de peces adecuado para su cruce de arroyo requiere una evaluación específica del sitio por parte de biólogos expertos en peces, ingenieros civiles, y geólogos ingenieros o geólogos calificados y experimentados. Los diseños se desarrollan utilizando metodologías

aceptadas federal y estatalmente para identificar las especies en riesgo, calificar y cuantificar los hábitat de peces potenciales o existentes, las barreras contra peces potenciales o existentes, y las condiciones hidráulicas e hidrológicas aguas arriba y abajo del cruce de arroyo propuesto. Contáctese con su oficina local estatal de pesca y fauna, el Distrito de Conservación de Recursos o una organización similar para obtener una lista de profesionales en diseño de paso de peces en su área.

Los organismos federales y estatales han desarrollado directrices específicas para evaluar la aptitud de los cruces de paso de peces y técnicas de diseño específicas. **Es importante volver a remarcar que la evaluación y el diseño de cruces de arroyo con paso de peces deben ser realizados por profesionales calificados, según lo definen las leyes federales o estatales.** Es importante que el propietario entienda su responsabilidad y papel en el diseño adecuado del camino en arroyos que tienen peces. La Tabla 23 brinda una lista de documentos de referencia disponibles que pueden utilizarse para informar a propietarios de tierras, gerentes de proyecto de camino, y profesionales de diseño de caminos sobre las directrices y técnicas federales y estatales para la evaluación, el diseño y la construcción de cruces de

TABLA 23. Lista de documentos y manuales federales y estatales sobre peces relacionados con la evaluación y el diseño de cruces de arroyos con paso de peces

Organismo	Título	Año de publicación	Referencia
		Federales	
Servicio Forestal de la USDA	Stream Simulation: An Ecological Approach to Providing Passage for Aquatic Organisms at Road-Stream Crossings	2008	Stream-Simulation Group, Servicio Forestal. 2008. Stream Simulation: An Ecological Approach to Providing Passage for Aquatic Organisms at Road-Stream Crossings. 0877 1801P. San Dimas, CA: Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Forestal, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas
Administración Federal de Carreteras (FHWA, por su sigla en inglés)	Culvert Design for Aquatic Organism Passage	2010	FHWA, 2010, Culvert Design for Aquatic Organism Passage, Publicación Nro. FHWA-HIF-11-008, Departamento de Transporte, Administración Federal de Carreteras, Ofician de Investigación y Desarrollo de Infraestructura,, McLean, VA, 234 p. http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/11008/hif11008.pdf
Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS, por su sigla en inglés)	Guidelines for Salmonid Passage at Stream Crossings	2001	NMFS, 2001, Guidelines for salmonid passage at stream crossings, Departamento de Comercio de Estados Unidos; Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. http://swr.nmfs.noaa.gov/hcd/NMFSSCG.PDF
		Estatales	
Departamento de Peces y Vida silvestre de California	Fish Passage Design and Implementation	2009	Love, M., and Bates, K., 2009, Capítulo XII: Fish Passage Design and Implementation, in California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual, Tercera Edición, División de Pesquerías Interiores, Departamento de Peces y Vida silvestre de California, Sacramento, CA, 189 p. http://www.dfg.ca.gov/fish/resources/habitatmanual.asp
Departamento de Peces y Vida silvestre de California	CAPÍTULO IX: Fish Passage Evaluation at Stream Crossings	2003	Taylor, R.N. and Love, M., 2003, Capítulo IX: Fish passage evaluation at stream crossings, in California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual, Tercera Edición, División de Pesquerías Internas, Departamento de Peces y Vida silvestre de California, Sacramento, CA, 100 p. http://www.dfg.ca.gov/fish/resources/habitatmanual.asp
Departamento Forestal de Oregon (ODF, por su sigla en inglés)	Fish Passage Guidelines for New and Replacement Stream Crossing Structures	2002	ODF, 2002, Fish Passage Guidelines for New and Replacement Stream Crossing Structures, Forest Practices Technical Note No. 4, versión 1.0., Oregon Departamento Forestal, Salem, OR., 14 p. http://www.oregon.gov/odf/privateforests/docs/fishpassguidelines.pdf
Departamento de Peces y Vida silvestre de Washington	Design of Road Culverts for Fish Passage	2003	Bates, K., Barnard, B., Heiner, B., Klavas, J. P. y Powers, P. D., 2003, Design of Road Culverts for Fish Passage, Departamento de Peces y Vida silvestre de Washington, Olympia, WA, 112 p. http://wdfw.wa.gov/publications/00049/wdfw00049.pdf

arroyos con paso de peces. Al mismo tiempo, lo mejor es contar con profesionales calificados y experimentados.

c. Diseño de terraplenes estables de cruces de arroyo

i. Gradiente del talud

El gradiente del talud es uno de los factores clave que influencian la estabilidad de los terraplenes. Los terraplenes estables son producto de rellenos estables, y eso requiere buena compactación. Los cruces de arroyos entubados diseñados adecuadamente también requiere atención detenida al diseño de gradientes de terraplenes que no fallen estructuralmente y se estabilicen y vuelvan a cubrir de vegetación rápidamente. Los terraplenes de cruces de arroyos se deben diseñar y construir a ángulos leves (por ejemplo, una proporción de pendiente máxima 2:1 (horizontal:vertical) a menos que sea inviable o prohibitivo en materia de costos. Las taludes de terraplenes de cruces de arroyos construidos con una proporción de pendiente de 2:1 generalmente son estables y no son propensos a falla del terraplén (si se compactan bajo las condiciones de humedad adecuadas), y responden mejor a la revegetación (Figura 76).

Obtener un gradiente de terraplén estable depende de:

- *El tipo de relleno utilizado para rellenar cruces.* **Para garantizar gradientes de terraplenes de cruces estables, evite utilizar suelos ricos en arcilla, o suelos sin cohesión como arenas finas y sedimentos.** Utilice materiales de relleno que sean húmedos pero no excesivamente húmedos o inestables (consulte también el "Capítulo 5: Construcción, Sección I (3). Instalación de alcantarillas" y la Tabla 17).

- *Medidas de compactación aplicadas durante el relleno.* Los materiales de relleno no compactados permiten que el agua llene los espacios de los poros del suelo, por ende reduciendo la densidad del suelo y la resistencia al cizallamiento. La falta de fuerza de cizallamiento del suelo hace que sea difícil construir o mantener gradientes de terraplén adecuados. **Los materiales de cruces de arroyos se deben compactar durante las condiciones óptimas del suelo (húmedo, pero no demasiado seco o húmedo) en escalones de 6" a 12" para incrementar la densidad del suelo la resistencia al cizallamiento y reducir el potencial de inestabilidad del relleno y el terraplén.**

- *Equipo de compactación.* Se puede utilizar una variedad de compactadores para diversos tipos de suelo y condiciones de sitios, que incluyen: *aplanadoras "pata de cabra"* (que usualmente se remolcan); *aplanadoras con rodillos neumáticos* (que utilizan ruedas de caucho para "moldean" el suelo o subrasante); *aplanadoras vibratorias* (rodillos lisos) (generalmente utilizado para materiales de suelo granulares y mixtos); y *aplanadoras*

FIGURA 76. *Esta alcantarilla recientemente mejorada de 36 pulgadas de diámetro se instaló en línea con el canal natural y en la base del relleno del camino. El relleno del camino se niveló a levemente menos de 2:1 (pendiente de 50%) que se revegetó fácil y rápidamente. La salida de la alcantarilla se extiende al menos 6 pies más allá del relleno y se descarga en el lecho natural del canal.*

apisonadoras (que combinan las ventajas de una aplanadora vibratoria con una aplanadora para de cabra). Todas las compactadoras se utilizan para armar un relleno estable. **Las compactadoras rodantes se deben utilizar en suelos sin cohesión, como por ejemplo arena y grava mientras que las aplanadoras patas de cabra son más adecuadas para suelos cohesivos como sedimentos y arcillas.** El verdadero equipo de compactación usualmente produce los mejores resultados, **pero la compactación de campo utilizando equipos pesados con neumáticos de caucho o incluso topadoras con orugas a menudo pueden brindar fuerza adecuada del suelo uniformemente y bajo condiciones de humedad del suelo adecuadas.**

- *Compactación de las laderas del terraplén.* La compactación se obtiene más fácilmente en superficies horizontales; es mucho más difícil obtener la compactación adecuada del suelo en las laderas externas inclinadas del terraplén. **Idealmente, si el diseño del terraplén del cruce de arroyo debe ser más empinado que 2:1, el relleno se debe hacer apenas más ancho de lo deseado y se debe compactar en escalones verticales angostos. La excavadora puede usar su pala para excavar la parte trasera de la ladera del terraplén para quitar las 6" exteriores de material de suelo suelto y no compactado hasta que se expongan los suelos compactados internamente. Esto brinda el mejor terraplén compactado.**

Incluso bajo condiciones de humedad ideales, solo se puede obtener la compactación moderada en las laderas inclinadas del terraplén utilizando una aplanadora patas de cabra movida con un cabestrante abajo y arriba del terraplén, o una excavadora equipada con un accesorio de aplanadora de pata de cabra de rápida liberación utilizada para compactar la ladera del relleno. As laderas de relleno cortas y apenas inclinadas se pueden recubrir, ya sea con rocas angulares de poco diámetro (roca para caminos) o con un mantillo de paja para controlar la erosión hasta que la superficie se haya compactado y estabilizado naturalmente con vegetación.

Para lugares donde los terraplenes de cruces de arroyos requieren el diseño del gradiente más empinado (por ejemplo, más inclinado que 2:1 o 1½:1), se debe consultar a un ingeniero civil, un geólogo ingeniero, o un geólogo. Ellos lo ayudarán a determinar si simplemente un blindaje de roca ayudará a estabilizar la superficie del terraplén, o si se necesitan otras medidas de revestimiento del talud para prevenir la inestabilidad potencial del terraplén. Los revestimientos del talud pueden incluir mantos de enrocamiento insertados en la base de los terraplenes del cruce de arroyo; estructuras de gaviones[7]; rellenos diseñados; u otras estructuras de retención del terraplén (Figuras 51 y 77).

ii. Extensiones de salidas de alcantarillas

Las alcantarillas de cruces de arroyos se deben instalar de manera que los dos extremos de la alcantarilla se extiendan suficientemente más allá de la base del terraplén para prevenir la erosión o el socavamiento del relleno, y que las alcantarillas sean lo suficientemente largas para permitir la construcción de un terraplén suave y estable. **Preferentemente, la salida de la alcantarilla se debe extender al menos 6 pies más allá de la base del relleno, y la boca aproximadamente 2 pies aguas arriba de la base del relleno** (Figura 76)**, para proteger el arroyo contra la erosión y el movimiento del suelo del terraplén recién construido.** Si las instalaciones de alcantarillas de cruces de arroyos requieren protección de enrocamiento en la boca o en la salida, se pueden agregar varios pies adicionales de alcantarilla para proteger el tubo expuesto contra aplastamiento o entierro.

Los propietarios de tierras han intentado a veces de ahorrar dinero minimizando el largo de la alcantarilla durante la construcción, instalando alcantarillas cortas, construyendo rellenos empinados y colocando múltiples salidas de alcantarillas cerca de la parte superior del relleno. Una alcantarilla instalada demasiado corta en el relleno puede provocar un ingreso o egreso en la alcantarilla que socava y potencialmente erosiona y desestabiliza el relleno. El largo del tubo adicional más

7 No se deben utilizar mallas de gaviones en arroyos que tienen peces.

FIGURA 77. *Los cruces de camino de canales de arroyos empinados requieren terraplenes que a menudo superan el gradiente del talud de 2:1. Este terraplén empinado se estabilizó con coraza de roca gruesa incrustada en una ranura de chaveta basal.*

allá de la base del relleno garantiza que el flujo del arroyo se transporte más allá del terraplén y se libere en el canal natural. Además, el largo del tubo extendido asegura que la boca/salida del tubo no se entierre o quede bloqueado en caso de pequeñas fallas del relleno, vertido lateral durante la nivelación, o daño a la alcantarilla durante actividades de mantenimiento.

iii. Blindaje y enrocamiento

Introducción—El blindaje y el enrocamiento de rocas se pueden usar en cruces de arroyos para brindar control de erosión en la boca y la salida de las alcantarillas, en superficies de terraplenes. a lo largo de lechos de canales de arroyos y bancos de arroyos, y a lo largo de cunetas que llevan a cruces de arroyos. Como medida de control de erosión, el enrocamiento es eficaz para la disipación de energía brindando rugosidad que ralentiza las velocidades del agua o el flujo turbulento a lo largo de los canales del arroyo, en bocas y salidas de alcantarillas, y a lo largo de cunetas. Los materiales de roca más finos también se pueden aplicar como "manto" no erosionable sobre terraplenes que no tienen vegetación y no responden bien a las medidas vegetativas de control de erosión (por ejemplo, en áreas áridas o semi áridas). Utilizado como manto, el enrocamiento previene la erosión de la superficie protegiendo la superficie del suelo contra la erosión de la lluvia y dispersando y ralentizando la escorrentía de la superficie concentrada. También actúa para atrapar el sedimento erosionado dentro de los espacios de partículas de roca.

El enrocamiento también se utiliza como medida de estabilización para terraplenes empinados o a lo largo de bancos de arroyos inestables, aunque el enrocamiento se puede hacer inestable cuando se coloca en taludes más empinados de 2:1 si no se selecciona e instala adecuadamente. Por esta razón, el propietario de la tierra o gerente de proyecto de camino debe consultar a un profesional calificado sobre las especificaciones del diseño y las instrucciones de instalación cuando se planea el enrocamiento como medida de estabilización o revestimiento.

Especificaciones del enrocamiento—La eficacia del enrocamiento de protección como medida de control de la erosión está basada en (1) el tamaño u el peso de la piedra o partícula, (2) la durabilidad de la piedra, (3) el gradiente del talud, (4) el grosor de la aplicación del enrocamiento, y (5) su uso en conjunto con la tela o geotextil de filtrado subyacente. En los cruces de arroyos, el enrocamiento debe tener un tamaño acorde a las velocidades del arroyo esperadas y los gradientes de los taludes. El enrocamiento de tamaño incorrecto para las velocidades del arroyo y la inclinación del talud

específicas estará sujeto a erosión de las partículas, donde el enrocamiento no puede soportar las fuerzas hidráulicas del arroyo y se desprende o la inclinación del talud supera el ángulo de reposo del enrocamiento.

El enrocamiento debe consistir en una mezcla bien nivelada de de tamaños de roca dura más grandes y más pequeños a fin de minimizar el espacio vacío y crear una capa densa de roca sellada. El enrocamiento sellado forma una superficie flexible y al mismo tiempo duradera, auto ajustable y resistente a la erosión. Evite utilizar enrocamiento de tamaño uniforme debido a su menor resistencia a la fricción, los grandes vacíos en espacios de poros y sensibilidad al movimiento de partículas individuales. Sin embargo, documentos publicados recientemente sugieren que una superficie de enrocamiento gruesa, de tamaño uniforme puede ser beneficiosa a lo largo de entornos de arroyos para crear mayor rugosidad y resistencia al flujo, mejor diversidad en el hábitat, suspender la deposición de sedimento y aumentar la oxigenación. La Tabla 24 brinda diez de las clases de enrocamiento estándar y la gradación relacionada por peso y tamaño.

En general, el enrocamiento se debe instalar con una capa subyacente de geotextil o grava que separe el enrocamiento del material de relleno compactado. Los geotextiles se utilizan para prevenir el aventamiento de finos, socavamiento, depresiones, entubamiento o el movimiento del relleno o suelos subrasantes en el enrocamiento suprayacente. Se debe tener cuidado al usar equipos para colocar el enrocamiento sobre el geotextil para que no se dañe ni desgarre.

Blindaje de boca y salida de alcantarilla, y disipación de energía—El blindaje de roca en bocas y salidas de alcantarillas tiene tres funciones; 1) como protección de entrada y salida utilizada para proteger la base del relleno contra salpicaduras y erosión de la superficie, 2) para atrapar sedimento de las porciones superiores del terraplén recién construido antes de que se transporte al arroyo, y 3) como disipación de energía debajo de la salida de la alcantarilla para proteger el canal contra flujos de crecida de alta velocidad.

El enrocamiento instalado para proteger la boca y la salida de una alcantarilla de cruce de arroyo contra la erosión o para la disipación de energía se debe insertar en el canal natural y los bancos a una profundidad aproximada de casi 1,5x del máximo del grosos de la roca (Figuras 78 y 79). El enrocamiento se debe colocar al menos en la parte superior de la alcantarilla tanto en la entrada como en la salida para protegerlas de erosión por salpicaduras y para atrapar todo sedimento erosionado del terraplén recién construido más arriba (Figura 79).

TABLA 24. Clasificación estándar y gradación del enrocamiento por tamaño de roca[1]

Clase de tamaño del enrocamiento	Peso medio de la partícula[2]	Diámetro medio de la partícula[2] (pulgadas)	Tamaño máximo y mínimo permisible de partícula (pulgadas)[2]						
			D_{15}		D_{50}		D_{85}		D_{100}
			Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.	Máx.
Clase I	20 libras	6	3,7	5,2	5,7	6,9	7,8	9,2	12,0
Clase II	60 libras	9	5,5	7,8	8,5	10,5	11,5	14,0	18,0
Clase III	150 libras	12	7,3	10,5	11,5	14,0	15,5	18,5	24,0
Clase IV	300 libras	15	9,2	13,0	14,5	17,5	19,5	23,0	30,0
Clase V	¼ toneladas	18	11,0	15,5	17,0	20,5	23,5	27,5	36,0
Clase VI	3/8 toneladas	21	13,0	18,5	20,0	24,0	27,5	32,5	42,0
Clase VII	½ tonelada	24	14,5	21,0	23,0	27,5	31,0	37,0	48,0
Clase VIII	1 tonelada	30	18,5	26,0	28,5	34,5	39,0	46,0	60,0
Clase IX	2 toneladas	36	22,0	31,5	34,0	41,5	47,0	55,5	72,0
Clase X	3 toneladas	42	25,5	36,5	40,0	48,5	54,5	64,5	84,0

[1]De la Junta de Investigación de Transporte, 2006
[2]Equivalente a diámetro esférico

FIGURA 78.
Enrocamiento como protección de la entrada y disipación de energía de la salida (Modificado de: Best, 2013).

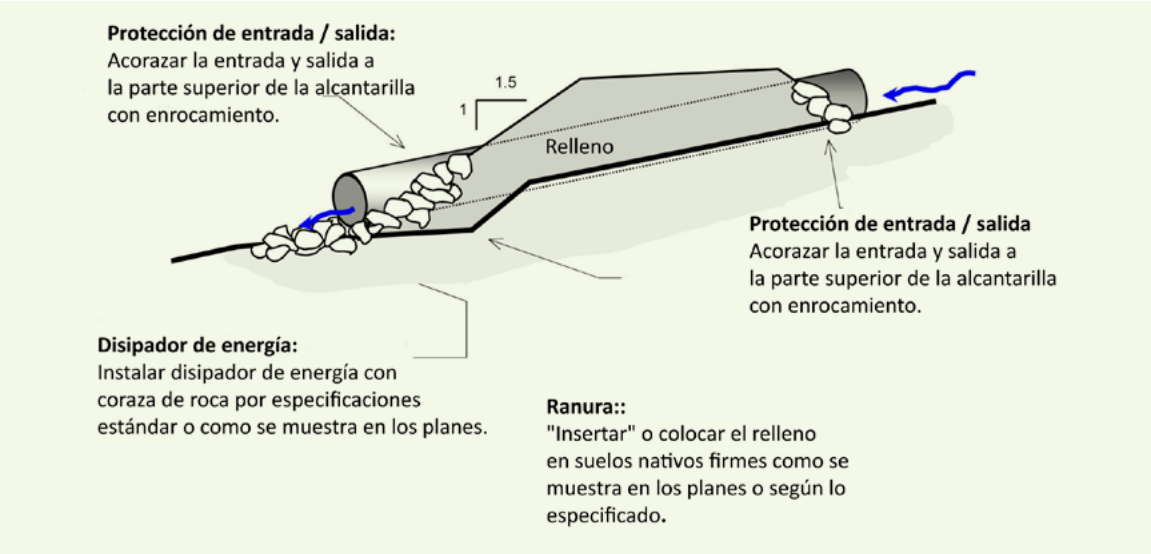


FIGURA 79.
Enrocamiento como disipación de energía de la salida (Best, 2013).

El blindaje de roca utilizado para la protección de entrada y salida (por ejemplo, no como disipación de energía) no debe tener el tamaño para proteger contra la socavación de alta velocidad. Si la alcantarilla tiene un tamaño adecuado y su largo es apropiado, debe poder transmitir los flujos de crecida sin socavar la boca o erosionar la salida alrededor de la alcantarilla. El blindaje aquí está diseñado para proteger la alcantarilla y el relleno basal contra la erosión de salpicaduras y de la sumersión ocasional y las corrientes dentro del agua estancada (en la boca) cuando se tapona la alcantarilla. Más importante, el blindaje de la entrada y la salida también sirve para atrapar sedimento que se ha erosionado o que se desliza por la ladera del relleno recién construido en sus primeros años, hasta que el talud se cubra bien de vegetación (Figuras 73 y 80).

Si es necesaria la disipación de energía debajo de la salida de la alcantarilla. el tamaño del blindaje de roca se debe diseñar para el flujo de crecida máximo. El delantal de enrocamiento se debe extender a un largo de tres diámetros de la alcantarilla aguas abajo desde

FIGURA 80. *La coraza de rocas colocada alrededor de esta alcantarilla donde surge del terraplén se utilizó para proteger el arroyo contra erosión inesperada del nuevo terraplén erosionable hasta que se estabilizó con vegetación.*

el extremo de la salida y en línea con el canal natural, y abarcar un ancho de al menos dos diámetros de la alcantarilla a fin de reducir el potencial de socavación de la salida o corrimiento del blindaje de roca durante flujos de crecida (Figura 78). El tamaño del enrocamiento se debe basar en las velocidades del arroyo para garantizar que la roca permanezca en su sitio y no se movilice, provocando erosión y desestabilización potenciales del cruce de arroyo. Sin embargo, las velocidades de la salida no se calculan fácilmente para las alcantarillas inclinadas en flujos de crecida máximos.

Rellenos blindados y vertederos blindados—El blindaje de enrocamiento se emplea para proteger el terraplén externo de un relleno blindado (consulte Rellenos blindados, más abajo) y menos frecuentemente como "toboganes" de desbordamiento para rellenos de cruces de arroyo entubados que son propensos a rebalsar durante eventos de crecida. Ambos diseños requieren que el blindaje de roca se centre en el punto bajo del relleno del cruce de arroyo, donde el flujo de crecida desborde el relleno y fluya por la ladera del relleno durante cualquier evento de tormenta o de taponamiento de la alcantarilla. El vertedero se debe construir con un vado de desbordamiento amplio (como un canal blindado; con un lecho y dos bancos levemente inclinados y suficiente capacidad como para contener desbordamientos de crecida) directamente sobre el punto bajo del cruce.

Algunos parámetros de diseño generales para la colocación de rocas en un relleno blindado pueden incluir los siguientes: El enrocamiento se debe insertar en el terraplén o canal de desbordamiento a una profundidad aproximada de 1,5x del máximo del grosor de la roca. El enrocamiento se debe colocar con un mínimo de 2x de D_{50} del grosor y extenderse sobre la parte superior del terraplén. En general el ancho del vertedero debe ser de al menos 5x del ancho del banco del arroyo. También sugeriríamos que se utilice un rango de tamaños de roca para sellar el enrocamiento, y una tela geotextil debajo para proteger el relleno erosionable subyacente. El enrocamiento colocado sobre un terraplén empinado no se puede garantizar contra la erosión durante un evento de flujo de crecida o desbordamiento. Por este motivo, la roca se puede fijar o asegurar con concreto como medida estabilizadora.

Revestimiento del talud—Todo excepto el revestimiento más pequeño del talud (como por ejemplo una pequeña pila de rocas) requieren diseños específicos

que los desarrolla mejor un profesional autorizado para brindar la estructura más estable, funcional y segura. Un ingeniero o geólogo ingeniero calificado y experimentado evalúa las condiciones, la geología y los suelos del sitio existente para determinar el mejor diseño que brindará estabilización crítica del talud. En general, se desalienta construir terraplenes a proporciones de inclinación mayores que 1½:1. En algunos casos, los terraplenes empinados se soportan utilizando mantos de enrocamiento o mallas de gavión que se insertan en el lecho del canal y se extienden ladera arriba. Debido a la naturaleza variable de los materiales de relleno y la dificultad de lograr compactación estable y consistente, se debe pedir consejos de diseño a un profesional calificado antes de construir terraplenes empinados de cruce de arroyo, terraplenes de caminos y cortes marginales, contrafuertes de puentes o rellenos diseñados.

Estabilización del banco de arroyo—En algunos casos, puede ser necesario proteger los bancos de arroyos empinados aguas arriba, aguas abajo o, en el caso de los puentes, a través de toda la extensión de un cruce de arroyo, contra los flujos de alta velocidad que pueden provocar inestabilidad o socavación del banco. El enrocamiento se puede utilizar solo en mantos de enrocamiento o mallas de gavión, o se puede utilizar en combinación con estructuras y plantes vivas (medidas biotécnicas) o vegetación muerta (fajos de raíces, grandes escombros de madera, etc.) (No se recomiendan las mallas de gavión para arroyos que tienen peces).

Donde el blindaje de roca debe resistir el paso del agua, el tamaño y el peso del enrocamiento se base en la velocidad del arroyo y la inclinación del canal. El nomograma ilustrado en la Figura 81 muestra la relación entre el diámetro de partículas de enrocamiento, el paso de las partículas, la velocidad del arroyo, y la proporción de inclinación. Es una herramienta útil para ayudarle a calcular el tamaño adecuado del enrocamiento para el proyecto de cruce de arroyo o estabilización del banco del arroyo. Se debe buscar el asesoramiento de un ingeniero hidráulico o un geólogo ingeniero experimentado y calificado al diseñar obras de estabilización del banco del arroyo que protejan caminos, edificios y otra infraestructura.

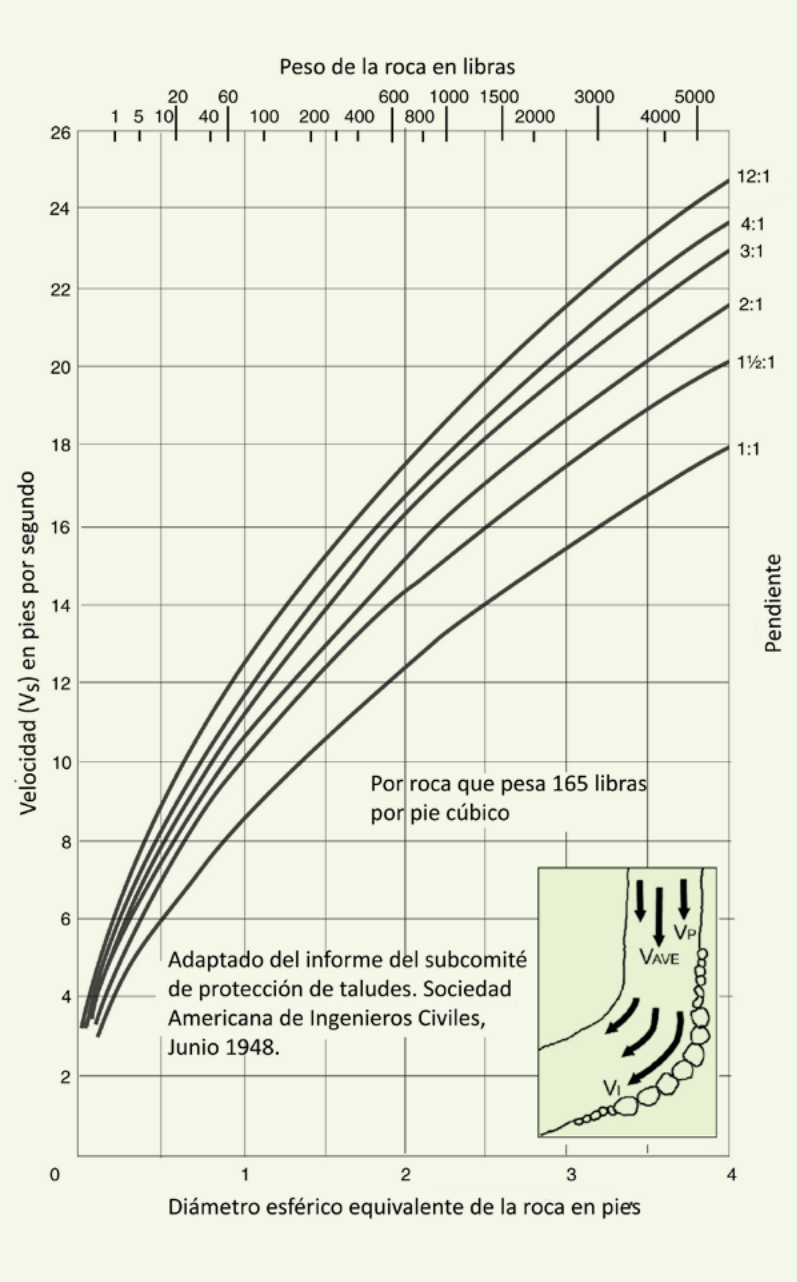


FIGURA 81. *Nomograma para determinar el tamaño y el peso de las piedras del enrocamiento según la velocidad y la inclinación del talud lateral. Si bien este nomograma brinda un cálculo de los tamaños de piedras requeridas, se debe consultar a un ingeniero calificado o a un ingeniero geólogo para que realice trabajo de diseño específico antes de construir una estructura de protección de la orilla del arroyo (Johnson and Stypula, 1993).*

Las especificaciones de instalación para la estabilización del banco del arroyo utilizando blindaje de rocas podrían incluir algunas de las siguientes: El enrocamiento se debe instalar sobre la tela geotextil o un una mezcla

limpia de grava gruesa y arena. El enrocamiento se debe insertar en el lecho del arroyo y extenderse por debajo de la profundidad máxima de socavación esperada con un ancho de base de inserción de tamaño adecuado a un grosor de un mínimo de 2x del diámetro medio (D_{50}) de la roca con los tamaños de roca más grandes ubicados en la base de la estructura del enrocamiento. El blindaje se debe colocar en el banco del arroyo para que no sobresalga considerablemente en, o limite, el canal natural, o de otra manera reduzca la capacidad del canal.El enrocamiento se debe extender a lo largo de un banco inestable o demasiado inclinado y lo suficientemente banco arriba como para abarcar la inestabilidad existente del banco y/o las elevaciones de crecida de diseño. Las condiciones específicas del sitio dictarán las especificaciones y técnicas de instalación que se escogen para su sitio. Debido a las restricciones ambientales, los organismos reguladores (que otorgan permisos) también pueden brindar especificaciones o restricciones sobre la instalación de enrocamiento en la mayoría de los sitios.

iv. Drenaje de la superficie del camino

El drenaje crónico de la superficie del camino no controlado puede producir y entregar cantidades considerables de sedimento fino en arroyos a través de cunetas y superficies de caminos, y si se descarga sobre un terraplén de cruce de arroyo puede provocar barrancos profundos o desestabilizar el relleno. En general, los caminos que pasan sobre o corren adyacentes a rellenos de cruces de arroyos se deben diseñar para dispersar la escorrentía rápidamente y no permitir la concentración de escorrentía. Diseñar caminos para dispersar y derramar agua sobre los alrededores del cruce de arroyo, antes de que la escorrentía del camino llegue al cruce, puede ayudar a mantener la estabilidad del talud, reducir la erosión y minimizar la entrega de sedimento.

A las superficies se les puede sacar el agua antes de llegar al cruce utilizando una variedad de tratamientos de modelado del camino que incluyen peralte hacia afuera, peralte hacia adentro y coronado; o estructuras de drenaje del camino como vados ondulantes y alcantarillas de alivio de cunetas (consulte "Capítulo 4, Sección B" para obtener información sobre técnicas de drenaje, diseño, espaciado y construcción del camino). Según las condiciones del sitio y el camino, un vado ondulante y/o una alcantarilla de alivio de cuneta instalados justo camino arriba (por ejemplo, 50 a 100 pies) del cruce de arroyo puede ayudar a reducir la cantidad de escorrentía de la superficie del camino que llega al cruce, así como también drenar la escorrentía sobre terreno estable lejos del terraplén de cruce del arroyo. Si la cuneta está húmeda y corre agua por ella, se deben usar alcantarillas de alivio de cunetas (no vados ondulantes) para drenar la cuneta.

Además de quitarle el agua a los alrededores del camino de un cruce de arroyo, es importante drenar la calzada a través del cruce para que la escorrentía no amenace los rellenos con erosión o inestabilidad. Mientras el camino haya sido desconectado hidrológicamente antes de llegar al cruce de arroyo, el drenaje local de la superficie del camino se puede controlar mediante un peralte hacia afuera, un peralte hacia adentro y/o bermas. Para minimizar la erosión, asegúrese de que todo terraplén que recibe la escorrentía local sea estable y esté cubierto con vegetación o rocas. Si los taludes son largos, inclinados o susceptibles a la erosión de la superficie, se puede usar una berma de tierra baja para llevar la escorrentía local más allá del cruce y luego descargarla sobre un terreno estable a lo largo del cruce (Figura 82). En algunos casos, se puede requerir blindaje de rocas o ductos para llevar el flujo a la base del relleno. Cuando la ladera del relleno se ha recubierto de vegetación completamente, se puede quitar la berma. **Darle peralte hacia adentro al relleno del camino y a la superficie del camino es probablemente el método preferido de controlar la escorrentía de la superficie del camino sobre el cruce y mantener un rellenos estable,** especialmente donde es común el tránsito de camiones y remolques comerciales. Si el camino tiene peralte hacia adentro para drenar sobre el terraplén interno más corto del cruce de arroyo, un blindaje leve de la superficie o un recubrimiento pesado puede ser todo lo que se requiere para prevenir la erosión hasta que se vuelva a cubrir de vegetación.

v. Control de erosión

La construcción de un cruce de arroyo da como resultado la eliminación de vegetación y la creación de una

FIGURA 82. *Este relleno de cruce de arroyo recientemente mejorado se protegió contra la escorrentía del camino y la erosión mediante la instalación de una berma de drenaje a lo largo del camino. Una vez que el relleno se vegeta y estabiliza, la berma se puede quitar con seguridad.*

superficie de camino descubierta y dos terraplenes descubiertos que son muy susceptibles a la erosión. Aunque la vegetación usualmente se restablezca con el tiempo, es importante cubrir y revegetar rápidamente los terraplenes descubiertos luego de la construcción para establecer una superficie vegetada de protección antes de la temporada de clima húmedo. **Todas las superficies de suelo descubierto en cruces de arroyos recientemente descubiertos deben recubrirse con paja y sembrarse, o cubrirse con un manto de control de erosión.** La superficie del camino conectada hidrológicamente se debe recubrir con rocas o pavimentarse. Si no es probable que la revegetación se desarrolle rápidamente, las superficies del relleno se pueden cubrir con una capa de rocas delgada para controlar el impacto de la lluvia y la erosión de surcos.

A fin de sembrar y cubrir adecuadamente las áreas de suelo descubierto, asegúrese de usar semillas nativas, locales, con dos o más especies de césped, maleza, leguminosas, o madereras tolerantes a la sombra, bien arraigadas, perennes y agresivas. Las semillas se deben aplicar a los terraplenes inmediatamente después de la construcción cuando las semilla tendrá contacto directo con el suelo y las especies de melaza no hayan tenido tiempo de establecerse. Después del sembrado, cubra el talud con un manto de protección, como por ejemplo paja sin maleza, viruta de madera, corteza u otros materiales similares para proteger y fomentar el crecimiento de las semillas y reducir el potencial de erosión de la superficie. Cubra la superficie uniformemente, pero no con demasiado grosor porque si no pude inhibir la germinación y el crecimiento.[8] Para brindar protección adicional en terraplenes más empinados (más empinados que 1½:1), puede ser necesario colocar una red de control de erosión (por ejemplo, una red de yute o coco) sobre las superficies sembradas y recubiertas a fin de proteger los taludes contra la erosión de la superficie y brindar un entorno estable para el crecimiento vegetativo.

vi. Ubicación del vado crítico

Un vado crítico se debe construir en cruces de arroyos recién construidos o mejorados que mostrarían un potencial de desvío.[9] Si una alcantarilla de cruce de

8 Una buena regla general es que "no haya suelo descubierto visible".

9 Consulte el Apéndice C para conocer el vocabulario específico de este requerimiento en las Reglas de Prácticas Forestales de California.

arroyo se tapona y el flujo de crecida rebalsa el relleno del camino, un vado crítico construido adecuadamente puede transportar el flujo sobre el cruce y de regreso al canal natural, generalmente con menos impacto erosivo que si hubiera sido desviado por el camino y a otro arroyo o a una ladera desprotegida (Figura 83).

Si las condiciones del camino lo permiten, los vados críticos se deben construir en el lado gradiente abajo del cruce (cerca de la línea de bisagra del cruce de camino) y no a lo largo de la línea central donde el relleno es más profundo y donde una alcantarilla está alineado típicamente Si la alcantarilla se tapona y el relleno del cruce se rebalsa, un vado crítico instalado sobre la línea central del cruce arriesga el desarrollo de un barranco profundo que probablemente comprometa o dañe la alcantarilla existente. Un vado crítico instalado a lo largo de la línea de bisagra del cruce de arroyo daría como resultado un barranco más pequeño (menor profundidad del relleno en la línea de bisagra del cruce) y probablemente no dañaría la alcantarilla existente, y por ende provocaría menos daño ambiental y haciendo más difícil o costosa la reconstrucción (Figura 84).

El vado crítico debe interceptar la cuneta y la cuneta se debe taponar físicamente en el lado camino abajo para prevenir que el flujo desviado se descargue por la cuneta. Para dar protección adicional, y para usar solo en cruces de arroyos con un historial de taponamiento y rebalse de alcantarillas, se puede construir un canal de desbordamiento blindado en la desembocadura del vado crítico que se extiende hasta el canal del arroyo (Figura 84). Esto garantiza que el terraplén esté protegido contra flujos del arroyo potencialmente erosivos.

Una segunda estrategia para prevenir los desvíos es hundir todo el relleno del cruce de arroyo, con el punto bajo del vado en la línea de bisagra camino abajo (Figura 84). Esto evita que el arroyo se desvíe y fluya por el camino adyacente, y además reduce el volumen de relleno erosionable en el mismo cruce.

FIGURA 83. *Vado crítico en cruce de arroyo. Observe una pendiente inversa que dirige el flujo sobre el camino y de regreso al canal natural en esta pendiente que sube. Antes de la instalación del vado crítico, la alcantarilla se taponó y el arroyo se desvió por el camino y completó el lavado del camino en el fondo.*

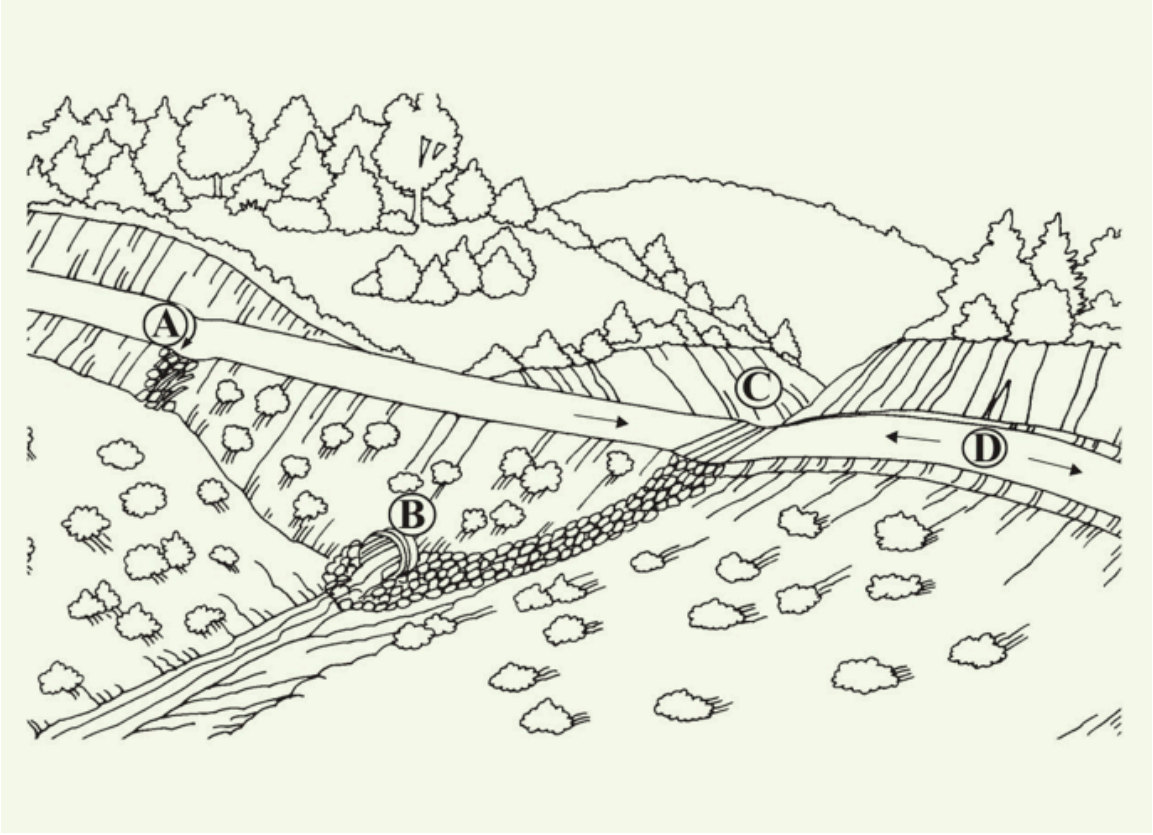


FIGURA 84. *Los vados críticos o rellenos de cruces hondonados se deben centrar cerca de la línea de bisagra camino abajo de un cruce de arroyo, no sobre la línea central del cruce donde el desborde podría causar un lavado o una erosión grave del relleno. Si la alcantarilla del cruce de arroyo (B) se tapona, el agua se estanca detrás del relleno hasta alcanzar el vado crítico o el punto bajo el cruce (C) y fluye nuevamente al canal natural del arroyo. La cuneta camino abajo debe taponarse para evitar que el flujo del arroyo se desvíe por la línea de la cuneta. Para brindar protección adicional en este bosquejo, se ha colocado blindaje de enrocamiento en la desembocadura del vado crítico y se extiende al canal del arroyo. Esto se requiere o sugiere únicamente en cruces de arroyos donde la alcantarilla* ***tiene muchas probabilidades*** *de taponarse y el relleno del cruce a rebalsarse. El vado en la línea de bisagra es usualmente suficiente para limitar el daño erosivo durante un evento de desborde. La superficie del camino y la escorrentía de la cuneta se desconectan del cruce de arroyo al instalar un vado ondulante superficial y una alcantarilla de alivio de cuneta justo camino arriba el cruce (A) (Keller y Sherar, 2003).*

d. Tratar alrededores de cruces de arroyos hidrológicamente conectados

Para caminos forestales y rurales, la conectividad hidrológica rara vez se puede eliminar completamente. A menos que estén construidos recientemente, la mayoría de los caminos no tratados tienen valores de conectividad que varían de 30% a 50%. Preferentemente, el objetivo debería ser tener <10% de conectividad hidrológica a lo largo de los caminos.[10]

Los cruces de arroyos generalmente representan el lugar más común donde los alrededores del camino están conectados hidrológicamente a arroyos adyacentes. Un objetivo razonable sería tener no más de un total de 200' de conectividad en cada cruce de arroyo (menos sería mejor) e idealmente menos de 100' de conectividad por alrededor (Figura 85).

10 Consulte el Apéndice C para conocer el vocabulario específico de este requerimiento en las Reglas de Prácticas Forestales de California y TRA #5 para obtener información adicional sobre este tema.

Algunas situaciones le permitirán lograr aún menos conectividad, donde los alrededores del camino pueden hacerse con peralte hacia afuera sin cuneta interna y casi nada del camino drena hacia el arroyo.

Minimizar la conectividad hidrológica depende de tener estructuras de drenaje del camino y cunetas frecuentes que recolecten y descarguen la escorrentía sobre taludes estables donde pueda infiltrarse en suelos forestales no perturbados antes de llegar a un curso de agua (Figura 85).

Los caminos con peralte hacia adentro con cunetas son la manera más común en la cual los caminos están conectados hidrológicamente a los arroyos de una cuenca. La mayoría de la conectividad hidrológica ocurre en los alrededores de cruces de arroyos y secundariamente en alcantarillas de alivio de cunetas con barrancos debajo de sus salidas. De esta manera, los caminos con peralte hacia adentro deberían drenarse frecuentemente sobre la ladera estable adyacente utilizando alcantarillas de alivio de cunetas o vados ondulantes, donde la escorrentía no ingrese a un canal de arroyo.

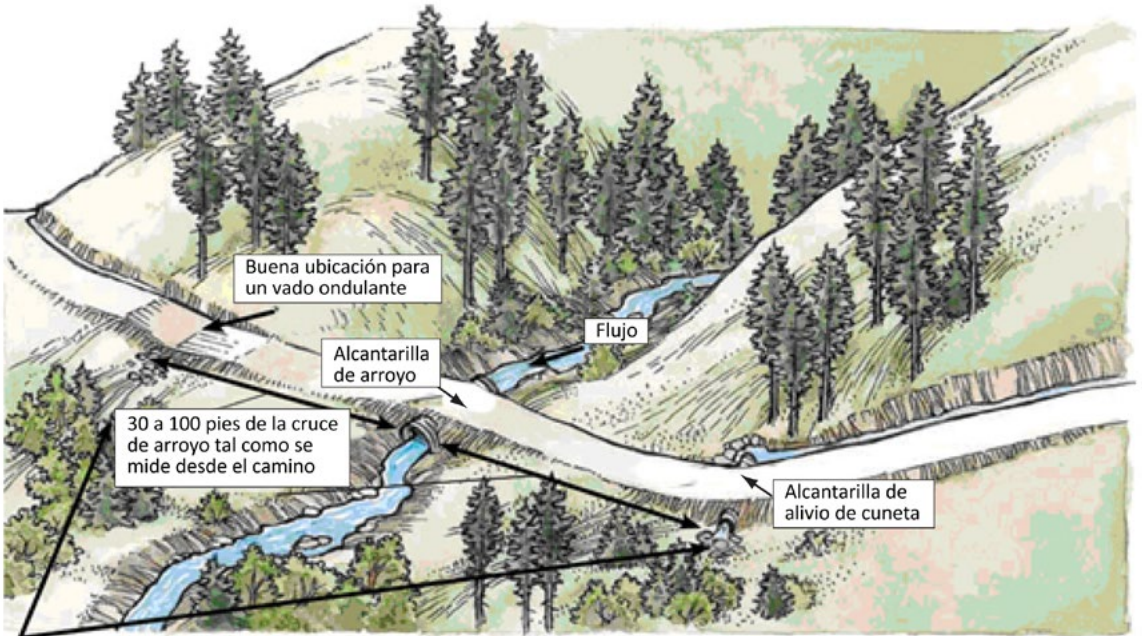


FIGURA 85. *Diagrama que muestra la desconexión hidrológica en los alrededores de un cruce de arroyo (Modificado de: Adams y Storm, 2011, consulte el Apéndice C para su uso en TRA #5).*

Escoja entre una variedad o combinación de técnicas de drenaje de la superficie que incluyen eliminación de bermas, camellones, dar forma a la superficie del camino (peralte hacia afuera, peralte hacia adentro o coronación), alcantarillas de alivio de cunetas, vados ondulantes, y otras medidas que dispersan eficazmente la escorrentía de la superficie del camino (Figura 86). Es crítico que todas las técnicas de drenaje de la superficie del camino drenen adecuadamente la superficie del camino y al mismo tiempo sean transitables para el tráfico esperado.

Se pueden emplear una cantidad de herramientas o prácticas de drenaje del camino para reducir la conectividad hidrológica de manera rentable de los sistemas de caminos forestales y rurales. Los mismos incluyen:

Forma del camino (peralte hacia afuera, coronación y peralte hacia adentro)—

- El peralte hacia afuera del camino, con o sin cuneta interna, es el método preferido de dar forma a la superficie del camino para proteger la calidad del agua, reducir la conectividad hidrológica, y minimizar la entrega de sedimento fino a los arroyos.
- El grado de peralte hacia afuera es típicamente al menos 2% para caminos de gradiente bajo (<4% de pendiente del camino) pero aumenta hasta casi 5% a medida que la pendiente del camino sube.
- El peralte hacia afuera solo es insuficiente para drenar la calzada a menos que esté pavimentada. La superficie del camino se debe drenar con vados ondulantes o camellones.
- Los caminos con peralte hacia afuera pueden o no tener una cuneta interna. Si el corte marginal es húmedo o tiene manantiales estacionales, se utiliza una cuneta para drenar el agua emergente a una alcantarilla de alivio de cunetas o vado ondulante que intercepta la cuneta. La superficie del camino puede, y debe tener, peralte hacia afuera.
- Los caminos empinados (mayores de 14%) son difíciles de drenar, así que se utilizan formas de camino coronadas o con peralte hacia adentro. Las alcantarillas de alivio de cunetas y los vados ondulantes deben ser frecuentes para evitar la formación de barrancos en el camino y la cuneta.
- Los caminos coronados drenan tanto en el terraplén exterior y la cuneta interna. La corona o punto alto es a menudo el centro del camino, pero se puede cambiar al tercio interno del camino para reducir la escorrentía del camino que se entrega a la cuneta.

FIGURA 86.
La pendiente ondulante del camino es un método utilizada para drenar eficazmente un camino y desconectar la escorrentía del camino de los arroyos. Este camino se hundió y luego se eleva hacia al cruce del puente, garantizando que la escorrentía del camino se drene del camino y sobre la ladera vegetada antes de llegar al cruce.

- Los caminos con peralte hacia adentro normalmente necesitan una cuneta para llevar la escorrentía del camino y el flujo de los manantiales a la alcantarilla de alivio de cuneta o vado ondulante más cercano donde se puede descargar a una ladera estable.

- El peralte hacia adentro es generalmente de 3% a 4% hacia la cuneta, pero el grado de peralte hacia adentro incrementará a medida que aumenta la pendiente del camino para drenar rápidamente la escorrentía del camino y hacia la cuneta.

- Los caminos con peralte hacia adentro se pueden convertir en caminos con peralte hacia afuera para reducir la conectividad hidrológica.

  - Para caminos que necesitan una cuneta, dele al camino un peralte hacia afuera para que la escorrentía drene fuera del borde del camino mientras que la cuneta drena relativamente lejos del flujo del manantial en el cruce de arroyo o alcantarilla de alivio de cuneta más cercanos.

  - Si no hay flujo de manantial en la cuneta, y la cuneta se puede rellenar (eliminar) mientras que se tritura y vuelve a nivelar el camino con peralte hacia adentro para drenar la mitad externa del camino.

- Los caminos con peralte hacia adentro se utilizan donde el agua no se puede descargar sobre el terraplén externo debido a la erosionabilidad del suelo, la inestabilidad del terraplén o la proximidad a un arroyo. A menudo esto incluye terraplenes de cruces de arroyos recién construidos.

Estructuras de drenaje del camino

- Use vados ondulantes superficiales y formas del camino para drenar la superficie del camino. Incluso si aumenta la frecuencia de las alcantarillas de alivio de cunetas, debe también drenar la superficie del camino utilizando vados ondulantes o camellones) y llevar la escorrentía del camino a la cuneta donde se puede entregar a una alcantarilla de alivio de cuneta, o drenarla al exterior del camino (utilizando vados ondulantes o camellones) para que se descargue en una ladera estable, amortiguada. **Al desconectar hidrológicamente caminos de los arroyos, debe tener en cuenta TANTO la escorrentía de la superficie del camino Y el flujo de la cuneta.**

- Se recomiendan los vados ondulantes en caminos con peralte hacia afuera:

  - Para caminos principales de menos de 7–10% de pendiente, si los utilizan camiones de plataformas bajas u otros vehículos o remolques bajos. Los vados ondulantes deben ser amplios y poco profundos.

  - Para caminos de explotación maderera con camiones de transporte de troncos, los vados ondulantes generalmente son adecuados en pendientes de hasta 12% a 15%.

  - En pendientes del camino de hasta 10 a 12% cuando están en una zona nevada o donde se usan caminos no recubiertos cuando están mojados y/o resbalosos.

  - En pendientes del camino de hasta 18% o más utilizadas por camionetas u otros vehículos altos o todo terreno.

- Las alcantarillas de alivio de zanjas u otras estructuras de drenaje de cuneta/camino que actualmente tengan barrancos en sus salidas, incluso si esos barrancos son estables, se deben cerrar y reubicar. Los barrancos existentes son corredores muy eficientes para la conectividad continua, incluso si los barrancos en sí no se erosionan activamente.

- El espaciado de las estructuras de drenaje de la superficie del camino y la cuneta se debe basar parcialmente en la proximidad al curso de agua, no solo en la pendiente del camino y la erosionabilidad del suelo. **Cuando más cerca esté de un arroyo, menor debe ser el espaciado de las estructuras de drenaje—para que ninguna estructura de drenaje única lleve suficiente flujo para conectarse al arroyo cercano durante un evento de es de diseño.**

- **La estructura de drenaje más cercana a un cruce de arroyo es importante, pero la ubicación de la *siguiente* estructura camino arriba es igual de importante. Ese espaciado determina cuánta escorrentía del camino y/o cuneta llega a la estructura de drenaje más cercana, y por ende su capacidad de conectarse al curso de agua.**

Otros métodos y consideraciones

- Instale estanques de retención de sedimento donde es probable que la cuneta conectada lleve escorrentía y sedimento erosionado sustancial. Los estanques de sedimento requieren mantenimiento.

- Los alrededores de caminos que no se puedan desconectar (por ejemplo, los alrededores inmediatos a cruces de arroyos) se deben recubrir bien con rocas, pavimento o de otra manera. Esto es especialmente importante para caminos con tránsito considerable (generan el sedimento más fino) pero también es importante para caminos con superficie nativa que se erosionan fácilmente.

- Las superficies de caminos conectados (por ejemplo, alrededores de caminos) de caminos con superficies nativas se pueden estabilizar con mantillo y césped siempre que haya poco o nada de tránsito durante la temporada de clima húmedo. De otra manera, se debe utilizar blindaje de roca.

- La erosión y entrega de sedimento en caminos estacionales se puede reducir más utilizando cierres o restricciones de tránsito estacionales.

Se deben establecer objetivos de conectividad para accesos individuales, así como también propiedades, cuencas completas y sistemas de caminos enteros. Todos, desde propietarios de tierras pequeñas a propietarios de tierras grandes, es responsable para reducir los efectos acumulativos en la cuenca provocados por el hombre. El objetivo final debería ser tener caminos donde no haya conectividad hidrológica, por ende, caminos de lomas o caminos de pendiente superior sin cruces de arroyos y sin estructuras de drenaje del camino conectadas. Eso es irreal en la mayoría de las áreas. Establezca un objetivo de conectividad de 10% a 15% (o menos) en una cuenca o sobre una red de caminos. Establezca objetivos para tener 1) no más de 100 pies de conectividad (idealmente 50 pies) por alrededor conectado a cada cruce de arroyo donde sea posible, 2) desconectar todas las alcantarillas de alivio de cunetas y vados ondulantes, y 3) recubrir (rocas, pavimento, etc.) loa alrededores de camino que permanezcan conectados.

3. ALCANTARILLAS DE CRUCE DE ARROYO

a. Materiales y durabilidad de la alcantarilla

Materiales de la alcantarilla—La selección del tipo de material de la alcantarilla se debe basar en una combinación de factores que determinará su aptitud y longevidad para el entorno en donde se utilizará. Los mismos incluyen:

- durabilidad (vida útil),
- fuerza estructural,
- dureza hidráulica,
- condiciones del lecho,
- durabilidad y resistencia a la abrasion,
- resistencia a la corrosión,
- frecuencia esperada de la fauna, y
- requisitos de impermeabilidad.

El material del tubo utilizado en un proyecto también puede depender del costo, la extensión requerida, la descarga, la topografía, la química del suelo y el clima.

Los cuatro materiales más comunes para la alcantarilla incluyen acero (inclusive acero galvanizado), aluminio, plástico (HDPE) y concreto. Cada material tiene ventajas y desventajas.

- **Las alcantarillas de acero** son el material de alcantarilla más común utilizado en el campo y están disponibles en una amplia gama de formas, diámetros y

largos. Se utilizan en formas de tubo corrugado y placas (por ejemplo, alcantarillas de múltiples placas unidas por tornillos). Los tubos de metal corrugado (CMP, por su sigla en inglés) se construyen con una sola pieza de acero galvanizado y se pueden adaptar a muchos largos; los largos de 20 a 30 pies son estándar y se transportar fácilmente. Los tubos individuales de un diámetro mayor que 12 pies generalmente tiene requisitos de tránsito especiales para la entrega o el transporte.

Las alcantarillas de acero son fuertes, relativamente livianas, fáciles de colocar, tiene una vida útil moderada (aproximadamente 20—50 años) y se consiguen con facilidad. Las secciones se unen con bandas de acoplamiento de metal con juntas de neopreno que brinda buena fuerza de resistencia a la tracción. Sus desventajas incluyen su susceptibilidad a la corrosión (óxido) y la abrasión, incluso con recubrimiento galvanizado. Tienen una vida útil más corta que el concreto. Las alcantarillas de acero también están disponibles como acero aluminizado, donde se aplica una capa protectora de aluminio de ambos lados. La capa protectora aluminizada es más costosa pero más resistente a la corrosión que el acero galvanizado. El acero aluminizado se puede considerar equivalente al acero galvanizado con respecto a la resistencia a la abrasión.

- **Las alcantarillas de aluminio** son livianas (para ser un metal), tiene una larga vida útil, resisten la corrosión (no se oxidan) y están disponibles como secciones corrugadas estándar de 20'. Los tubos de alcantarillas de aluminio también son corrugados y se pueden construir como placas estructurales o como tubos de una sola pieza de aluminio. Debido a su alta resistencia a la corrosión de los tubos de aluminio a menudo se utilizan en entornos de alta corrosión como por ejemplo aplicaciones en agua salada. Sin embargo debido a la "blandura" del metal, requieren cuidado especial al rellenar y se pueden dañar durante la manipulación (carga, descarga, etc.). Bajo condiciones similares, las alcantarillas de aluminio se erosionan más rápido que las alcantarillas de acero, así que no se recomiendan las alcantarillas de aluminio en entornos altamente abrasivos con carga de fondo angular y altas velocidades de arroyo. Las alcantarillas de aluminio no se han utilizado tanto desde mediados de los 80 debido a su costo comparativamente más elevado.

- **Las alcantarillas de plástico (HDPE)** tienen la ventaja de ser livianas, la sección estándar de 20 pies puede ser manipulada por una persona, y pueden ser instaladas por equipos más pequeños que los tubos de metal o concreto. Debido s u peso liviano el tubo de plástico es más fácil de transportar, manipular e instalar. Otra ventaja del tubo de plástico durante el relleno es que se puede cortar con una sierra convencional. Compruebe localmente para comprar los costos de las alcantarillas de plástico y acero, ya que una puede ser más preferible que la otra en diversos rangos de tamaño. Actualmente, debido a los costos más elevados de la materia prima, el tubo de plástico es más costoso que las alcantarillas de acero galvanizado para tamaños de más de 24" de diámetro, pero eso podría cambiar con el tiempo.

  El tubo de plástico puede ser corrugado o de dos caras, aunque el tubo de dos caras se prefiere mucho debido a su fuerza. Son corrugados en el exterior y lisos en el interior y se utilizan comúnmente para proyectos de caminos con tamaños (diámetros) que varían de 24 a 120 pulgadas (10 pies). Los tamaños más comunes son un diámetro de 18 a 48 pulgadas. Las alcantarillas de tubos plásticos muestran buena resistencia a la abrasión y casi no se corroen (incluso en suelos de pH bajo), lo que permite una vida útil de 50 años sin mantenimiento bajo la mayoría de las condiciones. Las alcantarillas de plástico están disponibles ahora con refuerzo de acero para brindar durabilidad y fortaleza adicional. Debido a su superficie interior lisa, son hidráulicamente eficaces (por ejemplo, son aumentan enormemente las velocidades del arroyo en el tubo). Debido a las mayores velocidades de flujo, se pueden necesitar estructuras de disipación de energía debajo de tubos de HDPE muy inclinados.

  Las secciones de alcantarillas plásticas se unen con extremos de campana que se ajustan o deslizan automáticamente, o bandas de unión que se ajustan automáticamente. Estas uniones brindan resistencia adecuada contra la separación pero son menos seguras que las bandas metálicas utilizadas para unir alcantarillas de acero y de aluminio. El asentamiento diferencial

debajo de una alcantarilla nueva las puede doblar y hacer que se separen, así que es importante brindar un cimiento bien compactado. Las alcantarillas de plástico son problemáticas en áreas sujetas a incendios porque pueden quemarse y derretirse mientras están en el suelo si un extremo se prende fuego (Figura 87). Los tratamientos de los extremos usando metal, concreto o mampostería (secciones con extremos acampanados o testeros) limitan la posibilidad de daño por incendio.

El tubo de HDPE de paredes sólidas es una alcantarilla de uso especial utilizada en instalaciones de alcantarilla sin zanjas (hincado de tuberías) y algunas otras situaciones donde la fuerza es crítica. Este tipo de tubo está diseñado para brindar propiedades equilibradas de fuerza, dureza, flexibilidad, resistencia al desgaste, resistencia a los químicos y durabilidad. El tubo se puede unir utilizando métodos convencionales, pero el método preferido es la fusión por calor (derretimiento) que produce un sello a prueba de fugas que es duro como el tubo.

- Las alcantarillas de **concreto** son fuertes, resistentes a la corrosión, resistentes a la abrasión, y tienen la mayor vida útil de los materiales comunes de alcantarillas (alrededor de 75 años). Las alcantarillas de cajón de concreto (reforzadas) comúnmente se usan en caminos públicos mantenidos por el condado o el estado. A veces se usan tubos circulares que se premoldean en segmentos y se unen cementándolos, pero se utilizan más comúnmente como tubos de drenaje de poco flujo y líneas cloacales. Los tubos de concreto y de concreto reforzado se componen de cemento, agregados, y posiblemente material de refuerzo, y vienen en formas circular, de arco y elíptica. Los arcos de concreto se usan cada vez más para nuevos proyectos diseñados para el paso de peces. Las desventajas principales incluyen su costo elevado, el peso y los requisitos de manipulación especial y colocación cuidadosa. Requieren uniones con juntas tóricas de caucho en las uniones para prevenir las fugas. Los tubos de concreto requieren un lecho y un relleno uniformes y bien compactados porque las uniones solo se mantienen juntas solo por fricción y se desunen más fácilmente. Los tubos de concreto no están disponibles fácilmente en todas las áreas y generalmente vienen en secciones de 8 pies máximo debido a su peso pesado.

FIGURA 87. *Esta alcantarilla de plástico se fundió y quemó durante un incendio forestal en el centro de California. En áreas propensas a incendios, las alcantarillas de metal pueden ser más adecuadas, o se pueden colocar alcantarillas de plástico con entradas de metal que evitan que se quemen (Pete Cafferata, Calfire).*

Durabilidad de la alcantarilla—La durabilidad y la resistencia a la corrosión del tubo se pueden mejorar mediante varias técnicas, inclusive los recubrimientos y tratamientos protectores (Tabla 25), así como también el aumento del espesor de calibre (Tabla 26). Bajo la mayoría de las condiciones todo lo que se necesita es el galvanizado simple de un tubo de acero; sin embargo, la presencia de elementos corrosivos o abrasivos pueden requerir protección adicional. El invertido del tubo de metal se puede enterrar en el lecho del cauce o bajo concreto y otros materiales de revestimiento para reducir o eliminar el impacto de cargas pesadas de sedimento que puedan provocar abrasión y corrosión subsiguiente. Para usar un tubo redondo con un invertido enterrado, se debe seleccionar el tamaño del tubo redondo para que su capacidad sea equivalente a la del arco no enterrado requerido.

Los tubos de acero corrugado generalmente son más susceptibles a las acciones combinadas de la abrasión y la corrosión y esto ha provocado la creación de una amplia gama de revestimientos de protección. Algunos revestimientos de protección creados para proteger a las alcantarillas de metal de la abrasión y la corrosión

TABLA 25. Potencial de abrasión abrasión y corrosión de los materiales comunes de las alcantarillas

Material	Potencial de abrasión	Potencial de corrosión	Comentario
Acero	Bajo a moderado	Bajo a alto	Bajo potencial de abrasión suponiendo que hay presente zinc galvanizante y que el acero no está expuesto. Una vez expuesto, el acero se corroe en la mayoría de los ambientes. El acero corroído está sujeto a abrasión acelerada. El acero aluminizado es más resistente a la abrasión y la corrosión. Los recubrimientos disminuyen el potencial de abrasión y corrosión. La corrosión es alta en ambientes acídicos.
Aluminio	Varía	Baja	Generalmente el aluminio no se corroe con facilidad. Su potencial de abrasión es relativamente bajo pero depende mucho de la velocidad y la descarga así como también la cantidad, el tamaño, la forma y la dureza del arrastre del fondo.
Plástico	General-mente baja	Baja	El HDPE y el PVC pueden experimentar un mayor desgaste por abrasión en un ambiente ácido. Ambos son relativamente resistentes a la corrosión.
Concreto	Baja a alta	Generalmente baja	El potencial de abrasión para concreto depende de la calidad, la fuerza y la dureza del agregado y la densidad del concreto, así como también de la velocidad del flujo de agua junto con el contenido de sedimento abrasivo. Existe una correlación entre la reducción en la relación agua/cemento, el aumento de la fuerza de compresión y la reducción de la resistencia a la abrasión.

TABLA 26. Aumento estimado de vida útil de la tubo de metal basado en el espesor del metal[1]

Calibre	Multiplique la vida por este factor
16	1.0
14	1.3
12	1.7
10	2.2
8	2.9

[1]Johansen et al., 1997

pueden erosionarse y ser descargados al arroyo y, en consecuencia, no se permiten para alcantarillas en arroyos de corriente perenne, altamente abrasivos o con peces. Se han desarrollado diversos revestimientos especiales para extender la vida útil de los tubos en diferentes condiciones ambientales.

Los tubos de metal pueden ser protegidos con un revestimiento de asfalto para garantizar la resistencia a la corrosión en toda la vida útil de los tubos y las investigaciones han demostrado que puede aumentar su duración entre 15 y 35 años en ciertas condiciones. Sin embargo, la carga de fondo altamente abrasiva puede eliminar el revestimiento de asfalto relativamente rápido, eliminando el beneficio de la resistencia a la corrosión. Como una alternativa a los tratamientos de protección de asfalto, el espesor (calibre) de los tubos de acero corrugado puede aumentarse para compensar la pérdida de metal debido a la corrosión o a la abrasión. **Si bien se puede especificar el aumento en el espesor del metal de los tubos para compensar los efectos corrosivos o abrasivos, los revestimientos generalmente son más rentables.**

La abrasión es el peor enemigo de una alcantarilla de metal. La abrasión es el desgaste del material de los tubos por el efecto del agua que transporta arena, gravilla y piedras (Figura 88). Esto también expone a las alcantarillas de metal a una mayor corrosión cuando los revestimientos galvanizados y aluminizados desaparecen. Sin embargo, todos los tipos de materiales de tubos están sujetos a algún tipo de abrasión y pueden experimentar fallas estructurales en el alcantarillado si no se los protege de manera adecuada (Tabla 25).

Una opción para reparar la alcantarilla o aumentar su vida útil con una reducción mínima en la capacidad de flujo consiste en realizar un revestimiento o refuerzo

del fondo usando el material estructural excedente. **La placa de acero soldado es una alternativa viable para ser utilizada como revestimiento invertido para aumentar la vida útil de la alcantarilla** (Figura 89)**. El revestimiento de concreto o bituminoso del invertido del tubo de metal corrugado es el método más utilizado para reducir la abrasión.** En ocasiones, se puede utilizar un revestimiento de asfalto en combinación con una pipa pavimentada de asfalto o concreto. Las reparaciones simples pueden incluir la protección de la pipa de la alcantarilla con concreto reforzado. **Los revestimientos de la pipa pueden cubrir alrededor del 25% de la periferia de los tubos circulares y 40% de los arcos de los tubos** (Figura 90). La examinación visual del tamaño de los materiales transportados en el lecho del flujo y las pendientes promedio del lecho le darán algunos indicios del nivel de abrasión esperado y del pavimento que podría necesitar. También puede obtener mucha información al observar la condición de la pipa de las alcantarillas en los arroyos cercanos.

FIGURA 88.
El transporte abrasivo del cabalgamiento ha desgastado este invertido de alcantarilla de aluminio.

FIGURA 89.
Se soldaron placas de acero al 25% inferior del invertido de esta alcantarilla galvanizada de 6 pies de diámetro. El acero brinda protección contra la abrasión del transporte de cabalgamiento grueso.

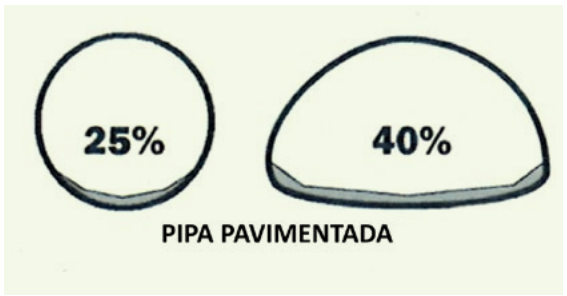


FIGURA 90.
Una pipa de alcantarilla pavimentada puede agregar protección y aumentar la vida útil de la alcantarilla en un ambiente abrasivo sin causar una gran reducción en la capacidad de flujo.

En lugares en los que se requiere el pasaje de peces, las alcantarillas suelen estar empotradas en el lecho aluvial. Esto cubre a la pipa de manera efectiva durante la mayoría de las condiciones de flujo y puede ayudar a proteger a la pipa de la abrasión. Sin embargo, en arroyos con carga de fondo significativa, la colocación de alcantarillas en pendientes planas (<3%) para fomentar la deposición de la carga de sedimentos y la protección contra la abrasión también podría aumentar el potencial de falla de los tubos. El sedimento depositado puede reducir sustancialmente la capacidad hidráulica, lo que provocaría obstrucciones o el potencial rebase de la calzada en la parte superior de la alcantarilla. **Como práctica estándar, se pueden aumentar los diámetros de las alcantarillas en dos o más tamaños estándar mayores a la abertura hidráulica en situaciones en las que se ha identificado abrasión y carga de fondo y la alcantarilla está empotrada.**

b. Formas de alcantarillas

La selección del tamaño y la forma de la alcantarilla debe basarse en la ingeniería, la morfología del arroyo,

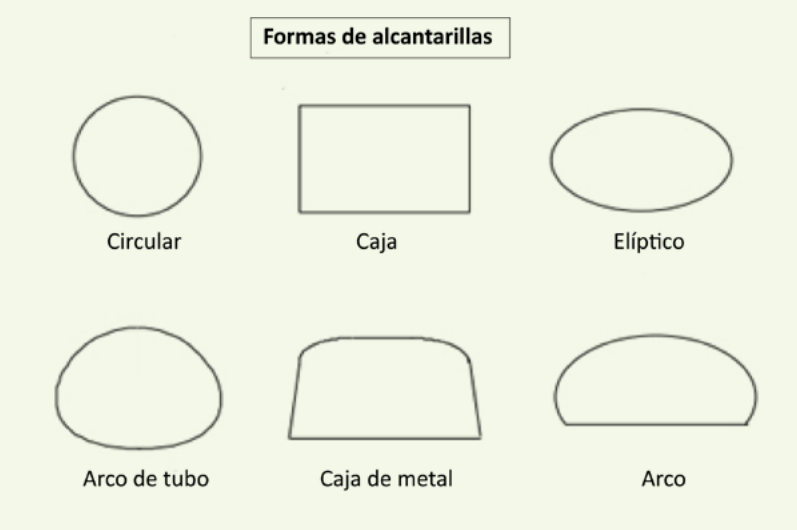


FIGURA 91.
Formas comunes de alcantarilla de sección transversal. Cada forma tiene sus ventajas y usos específicos que reflejan sus capacidades hidráulicas y las condiciones del sitio. Las alcantarillas circulares se describen por su diámetro. Las formas de las alcantarillas de cajón se describen por su ancho y profundidad. Las otras cuatro formas de alcantarilla se definen por ***ancho*** *(dimensión más ancha) y por* ***altura*** *(dimensión más alta). La* ***corona*** *es la parte superior de la alcantarilla y el* ***invertido*** *es la parte inferior de la alcantarilla.*

los requisitos biológicos, las condiciones del sitio y la economía. Por ejemplo, el movimiento migratorio de peces podría ser un indicio para el uso de una forma de alcantarilla específica (por ej., un arco empotrado y con fondo plano) que cumpla con los requisitos de pasaje en lugar de las alcantarillas redondas. Si bien las formas redondas son más resistentes, a veces se requieren otras formas para diseños o situaciones específicos.

Las alcantarillas pueden tener diferentes formas, pero las seis formas que se muestran en la Figura 91 son las más comunes. Por definición, las alcantarillas son estructuras cerradas con tapa y fondo. Una alcatarilla circular es la forma más eficiente debido a su relación entre el área transversal y el perímetro mojado con respecto a otras formas con áreas transversales idénticas. **Las alcantarillas circulares son, por lejos, la forma de alcantarilla más común. Son más fáciles de fabricar y generalmente son las de menor valor unitario (precio/pie).** Están disponibles en diferentes tamaños y materiales, con una variedad de espesores (calibre). Las alcantarillas circulares de metal suelen ser acanaladas o corrugadas (canal anular o en espiral) para aumentar la resistencia; son estructuralmente firmes y no tienen debilidad direccional; y son fáciles de manipular, cargar, transportar e instalar.

Una alcantarilla rectangular estrecha pero alta es menos costosa que una alcantarilla ancha y baja para la misma área. Sin embargo, **las alcantarillas más anchas tienen muchas ventajas que son muy importantes. Las alcantarillas más anchas distribuyen mejor el flujo de salida; el flujo de salida es menos profundo y tiene una velocidad levemente menor, lo que provoca un menor daño por erosión de salida. La alcantarilla más baja es necesaria cuando la eliminación es mínima y la profundidad del nacimiento de la cuenca es limitada. Sin embargo, es posible que una alcantarilla ancha y poco profunda no sea adecuada para el pasaje de peces durante las condiciones de bajo flujo.**

Las alcantarillas de cajón generalmente están hechas de concreto. Muchas veces se sujetan varias alcantarillas de cajón, lado a lado, y son empotradas parcialmente en los sedimentos del canal del arroyo para actuar como vados con alcantarillas. Salvo que estén empotradas, las alcantarillas de cajón tienen un fondo relativamente ancho con flujos poco profundos y no son adecuadas para el pasaje de peces durante las condiciones de bajo flujo.

Las alcantarillas elípticas suelen utilizarse cuando el relleno del camino es poco profundo y una alcantarilla circular del diámetro correcto no cabería. Tienen una sección transversal aplanada y son más anchas que altas. **Debido a su forma, las alcantarillas elípticas no son tan resistentes en forma vertical como los tubos circulares.** Su fuerza estructural requiere una cuidadosa compactación del lecho y los lados del tubo para proporcionar presiones de confinamiento y contrarrestar las cargas verticales del relleno suprayacente y del tránsito.

Los arcos de tubos, los arcos y las alcantarillas de cajón de metal han sido diseñados para brindar una sección transversal ancha y un ancho máximo cerca del lecho del canal. En general, este tipo de alcantarillas están empotradas en las gravillas del canal para brindar un fondo de sustrato natural dentro del tubo. Estas alcantarillas suelen utilizarse cuando se necesita el pasaje de peces. También se utilizan para aumentar el ancho de la alcantarilla y permitir que los escombros flotantes de mayor tamaño pasen a través de la estructura. Si bien lleva tiempo montarlas, las alcantarillas multiplaca son más fáciles de transportar y generalmente se utilizan para alcantarillas que tienen un diámetro mayor a 12 pies.

Salvo cuando se utiliza concreto, cada uno de estos diseños de alcantarilla se considera como tubos flexibles.

Si se aplican cargas verticales, una alcantarilla flexible intentará desviarse. El diámetro vertical se reduca mientras que el diámetro horizontal aumenta (Figura 92a). **Un tubo flexible será estable siempre que se logre un soporte se suelo adecuado alrededor del tubo.** Cuando se utilicen tubos flexibles, se debe dar forma al lecho para brindar soporte debajo del tubo (Figura 92b). El cimiento debe poder soportar de manera uniforme al tubo en la pendiente y altura propuestas sin concentrar la carga a lo largo del tubo. El establecimiento de un cimiento adecuado requiere la eliminación y el reemplazo de cualquier zona dura o zona blanda que provocaría una concentración de la carga a lo largo del tubo. El lecho es necesario para nivelar cualquier irregularidad en los cimientos y para garantizar la compactación adecuada del material de relleno. Además de brindar un soporte estructural adecuado para un tubo, el lecho y el relleno deben instalarse de manera adecuada para evitar que se produzcan tubificaciones (Figura 92c).

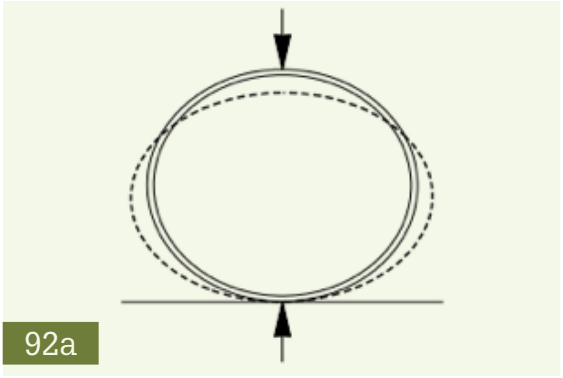


FIGURA 92. *Tubos de metal flexibles, que muestran los efectos de las cargas en forma no confinada (92a) y los requisitos de compactación adecuada en alcantarillas no circulares para brindar fuerza de confinamiento (92b) y evitar tubificaciones (92c).*

Otro tipo de estructura que cruza el arroyo se denomina alcantarilla de arco sin fondo, arco de fondo abierto o arco de placa (Figura 93), ya que se suele montar en el sitio a partir de placas individuales sujetados entre sí con pernos para formar el arco. En realidad, es un arco soportado por cimientos laterales y no es una verdadera alcantarilla.

Se suele utilizar un cimiento prefabricado o de concreto vertido para garantizar el arco dentro del cauce. En realidad, es más un pequeño puente que una alcantarilla, si bien sus "pies" suelen estar dentro o a lo largo del lecho del canal. Se suele utilizar en situaciones en las que se requiere el pasaje de peces, ya que el caudal fluye sobre el cauce natural detrás del arco y el lecho puede tener el mismo tipo de complejidad de canal corriente arriba o corriente abajo del cruce. Las alcantarillas sin fondo pueden fallar al debilitarse si los pilotes de concreto no son colocados sobre una base de roca sólida o por debajo de la profundidad de socavación esperada y si el cauce es inestable y está sujeto a socavación.

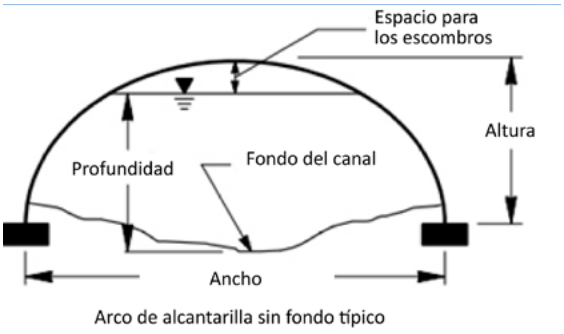


FIGURA 93. *Una "alcantarilla sin fondo" o arco de placa suele utilizarse para cumplir los requisitos de paso de peces. No es una verdadera alcantarilla (las alcantarillas son conductos cerrados), tiene cimientos laterales que soportan el ancho y el lecho del canal natural transporta el caudal a través de la estructura.*

c. Tamaño de alcantarillas

La capacidad de flujo es uno de los factores más importantes en el diseño del cruce de arroyos, especialmente

cuando se utilizan alcantarillas. Las alcantarillas deben ser lo suficientemente grandes como para satisfacer los requisitos de diseño del nivel de inundación, no solamente los flujos normales (Figura 94). En la actualidad, se requiere que los cruces de arroyo permanentes que sean construidos como parte de las operaciones de forestación en muchas áreas superen al menos los flujos de crecidas de los últimos 100 años para ese canal, incluso los escombros y las cargas de sedimentos, aunque permanezcan en el canal por una sola temporada de invierno.[11] Sin embargo, aunque se utilice un diseño que abarque el flujo de crecidas de los últimos 100 años, no existen garantías de que la alcantarilla no fallará. **Los escombros leñosos y los sedimentos transportados aguas abajo por el canal del arroyo pueden aumentar sustancialmente el riesgo y las probabilidades de que se produzca un taponamiento y falla de la alcantarilla** (Figura 95). El diseño de cruce de arroyos debe tener en cuenta la posibilidad de que

11 Ver Apéndice C para conocer el vocabulario específico de este requerimiento en las Reglas de prácticas para bosques de California.

FIGURA 94. *La entrada de esta alcantarilla de 30 pulgadas de diámetro muestra óxido considerables donde la abrasión del cabalgamiento ha desgastado la capa galvanizada y expuesto el acero a la corrosión (óxido). Una regla principal para evaluar el tamaño de la alcantarilla en el campo es si la línea de óxido en una alcantarilla de acero galvanizado es mayor que el 20% del diámetro de la alcantarilla (por ejemplo, ocurre transporte de cabalgamiento activo alcantarilla arriba), entonces probablemente la alcantarilla tiene tamaño insuficiente. Esta alcantarilla muestra una línea de óxido de 50%. lo que sugiere que su tamaño es demasiado pequeño.*

FIGURA 95. *Los escombros de madera no tienen que taponar completamente una entrada de alcantarilla para reducir considerablemente su capacidad de flujo. Esta alcantarilla tiene un mayor riesgo de taponarse debido a la gran cuenca de la entrada que se excavó y porque la boca no está alineada con el canal de arroyo que se acerca. Estas condiciones alientan a los escombros a flotar contra la boca en vez de pasar por ella.*

la alcantarilla falle, ya sea por excedencia de flujo o por taponamiento de la salida. Sin embargo, las investigaciones han demostrado claramente que el taponamiento de una alcantarilla por madera o sedimentos, y no la excedencia de flujo, es una de las causas más comunes de falla de alcantarillas de cruce de arroyos (Figura 96).

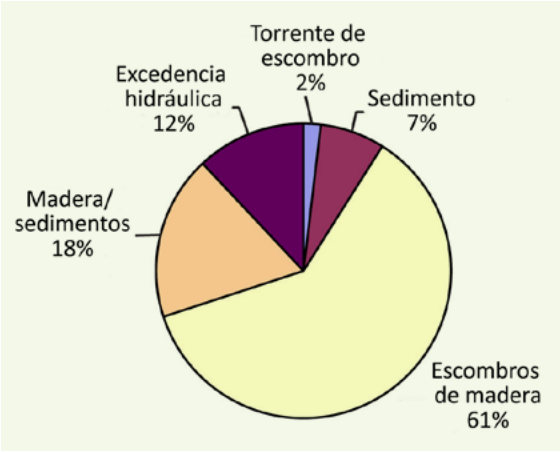


FIGURA 96. *Mecanismos de falla para alcantarillas para fallas ocurridas en caminos forestales en el noroeste de California relacionadas con tormentas, con intervalos de recurrencia menores a 12 años (Flanagan 2004; n = 57). Tenga en cuenta que la distribución específica de los mecanismos de falla puede variar según diversos factores, como la intensidad de la tormenta y las características de la cuenca fluvial. Por ejemplo, consulte Furniss y otros (1998) para obtener más información sobre mecanismos de falla luego de grandes inundaciones en el noroeste del Pacífico (Cafferata et al., 2004).*

En general, el tamaño de las alcantarillas se determina utilizando el flujo de crecidas de diseño de 100 años y un nomograma de tamaño de alcantarilla que relaciona el tamaño de la alcantarilla con la descarga de diseño, el tipo de entrada de la alcantarilla y la relación de profundidad de la cuenca. Los métodos para determinar la descarga de diseño de 100 años incluyen el método racional, el método de magnitud y frecuencia de la USGS y el método de transferencia de flujo (Tabla 27). La precisión de cada método depende del tamaño de la cuenca fluvial de diseño y de los datos sobre precipitaciones y escorrentía disponibles. Es posible que ya existan tablas de tamaño de alcantarillas para su área, en las que alguna persona haya calculado los flujos máximos y los tamaños de alcantarilla apropiados mediante uno o más de estos u otros métodos y nomogramas de alcantarillas. Las condiciones climpaticas cambian rápidamente, especialmente en los terrenos montañosos, de modo tal que es útil y más preciso que realice los cálculos y determine el tamaño de la alcantarilla por sí mismo. Los métodos para determinar el tamaño de la alcantarilla se describen en más detalle en el Apéndice A.

Excepto para los cruces más pequeños (<5 acres), generamente no es suficiente o adecuado calcular (suponer) los tamaños de alcantarillas para los curces de arroyos en caminos forestales y rurales. La mayor parte del personal de campo tiene muy poca experiencia

TABLA 27. Métodos para calcular la descarga de diseño de 100 años.

Método para determinar tamaño de alcantarilla	Límite de área de cuenca fluvial sugerido	Ventajas	Desventajas	Referencia
Método racional	<200 acres (se prefiere 100 acres o menos)	■ Se utiliza frecuentemente ■ Utiliza información local	■ La información de precipitación podría ser difícil de obtener ■ La precisión se limita a las áreas de drenaje <200 acres	■ Kuichling, 1889 Dunne y Leopold, 1978 ■ Cafferata y otros, 2004
Método de magnitud y frecuencia de la USGS	>100 acres	■ Fácil de usar ■ Las ecuaciones son personalizadas para áreas geográficas específicas ■ Diseños para lluvia en eventos de nieve ■ La información necesaria está disponible	■ Generaliza las áreas geográficas ■ La precisión se limita a las áreas de drenaje >100 acres	■ USGS, 2012 ■ Cafferata y otros, 2004
Método de transferencia de flujo	Precisión limitada por la distancia (diferencias climáticas) entre arroyos medidos y no medidos	■ Fácil de usar ■ Más precisión que otros métodos si se utiliza información local	■ Requiere >20 años de información de calibración ■ Menos precisión si el arroyo no medido está en otra ubicación o cuenca fluvial	■ USGS, 2012 ■ Skaugset y Pyles,1991 ■ Cafferata y otros, 2004

personal para calcular o visualizar correctamente un flujo de crecidas de 100 años y es posible que muchos canales de arroyos no muestren evidencias físicas de grandes inundaciones que se produjeron hace décadas.

Los métodos utilizados para calcular el tamaño de las alcantarillas para un flujo máximo determinado se basan en la capacidad de flujo hidráulico de la alcantarilla y no toman en cuenta la influencia de los escombros leñosos y sedimentos. Incluso los arroyos pequeños tienen el potencial de transportar escombros y sedimentos y las alcantarillas más pequeñas, por ejemplo de entre 12" y 18" de diámetro, pueden taponarse fácilmente con sedimentos y escombros leñosos. **Además de las invaluables observaciones locales y la experiencia, existen muchas pautas o medidas que se pueden utilizar para reducir el riesgo de excedencia de la alcantarilla y/o de taponamiento de la alcantarilla durante los picos máximos:**

- Siempre que sea posible, instale alcantarillas cuyo diámetro o ancho sea igual, o superior, al ancho del canal active.
- Diseñe alcantarillas que no superen la capacidad total del cilindro (HW/D = 1,0) en el evento de flujo de diseño (flujo de 100 años), siempre que *no* haya una cantidad significativa de escombros flotantes o sedimentos.
- Diseñe alcantarillas que no superen la capacidad total de 2/3 del cilindro (HW/D = 0,67) siempre que exista la posibilidad de la presencia de escombros y sedimentos.
- Alternativamente, si hay presencia de escombros, se ha sugerido aumentar el diámetro de las alcantarillas en uno o dos tamaños (12 a 24 pulgadas) por encima de la capacidad de diseño total del cilindro para reducir el riesgo de taponamientos; y los cruces de arroyos pequeños con una alcantarilla con un mínimo de 24" de diámetro (no menor) para reducir el riesgo de taponamientos.

d. Alineación y largo de la alcantarilla

En el pasado, los gerentes de caminos forestales y rurales intentaban minimizar los costos de los cruces de arroyos mediante la instalación de las alcantarillas más cortas posibles necesarias para que el fluyo del arroyo cruce el camino. En general, estas alcantarillas se instalan en un punto estrecho del camino y se colocan en un gradiente plano, en lugar de colocar una alcantarilla que descienda hacia la base del relleno. Las alcantarillas que cruzan el arroyo con una pendiente suave son más fáciles de instalar y de reemplazar, pero requieren mayor mantenimiento, provocan una gran erosión del talud de corte y tienen mayores probabilidades de taponarse y desgastarse o desviarse del camino.

Las alcantarillas no deben alinearse en forma vertical con el canal natural. Durante la construcción, las alcantarillas suelen ser instaladas en el lecho del flujo del arroyo o cerca del mismo para que la salida expulse el relleno al nivel natural corriente abajo del canal del cruce (es decir, imitando el gradiente natural del canal). **Los canales pronunciados tendrán alcantarillas con una pendiente más pronunciada.**

Para que funcionen adecuadamente, las alcantarillas deben ser instaladas según la orientación natural del canal. Es mejor que el camino se cruce en ángulos rectos con el canal del arroyo, pero independientemente de la alineación del camino, la alcantarilla debe colocarse en paralelo al canal natural. De esta manera, la entrada recibe naturalmente el flujo, se reduce el riesgo de taponamientos y el flujo de la salida vuelve al canal natural y no a los bancos del canal (Figuras 97 y 98).

El largo de la alcantarilla debe calcularse de modo tal que haya suficiente cantidad de tubos disponibles en el lugar de trabajo cuando se instalen los cruces de arroyos y de modo tal que las alcantarilals puedan instalarse en la base del relleno en el largo de cilindro recomendado (Capítulo 5). El largo de la alcantarilla debe calcularse según la pendiente del canal del arroyo y el ancho diseñado del camino. El Apéndice E explica el procedimiento para determinar el largo correcto de la alcantarilla necesario para los cruces de arroyos o las alcantarillas de alivio de

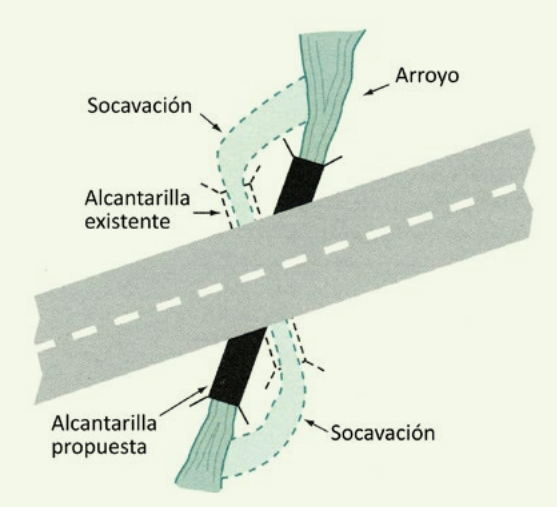


FIGURA 97. *La alineación de la alcantarilla debe ser en relación al arroyo y al camino. Es importante que el arroyo entre y salga de la alcantarilla en una alineación relativamente horizontal y directa para que el caudal del arroyo no tenga que desviarse para ingresar por la entrada o descargar en un banco cuando salga. Esta figura muestra una instalación de alcantarilla rediseñada que reemplaza la alineación inclinada que existía previamente. Los giros del canal en la entrada aumentan el riesgo de taponamientos ya que la madera que va por el desvío no se alinea con la entrada. De manera similar, los giros del canal en la entrada y salida suelen estar acompañados de socavación en los bancos del canal(Wisconsin Transportation Information Center, 2004).*

cunetas. Las alcantarillas que son demasiado cortas para el cruce provocan la erosión del relleno y una severa polución de los sedimentos en el canal del arroyo.

e. Tratamientos de entrada y salida de alcantarillas

i. Barreras de escombros y mallas de residuos

Aunque una alcantarilla tenga el tamaño correcto para el flujo de diseño, pequeñas cantidades de escombros atascados en la entrada puede reducir significativamente su capacidad de flujo. Los escombros pueden incluir desde ramas y palos o podas de árboles frutales hasta troncos y árboles flotando por el canal. Los cienos, arena, gravilla y rocas también pueden clasificarse como escombros y pueden bloquear en forma total o parcial las entradas de las alcantarillas (Figura 96). En general, especialmente en entornos de bosques, los escombros leñosos que se atascan en la entrada de la alcantarilla reducen la velocidad de entrada y los sedimentos salen de la columna de agua y se agregan o completan la obstrucción. El sitio de la alcantarilla es un lugar natural para que estos materiales se asienten y se acumulen.

Las estructuras de control de escombros (rejillas contra escombros) en las entradas de alcantarillas, y los disipadores de energía en las entradas y salidas de alcantarillas, son claves en el diseño de una alcantarilla estable, pero el mantenimiento en invierno de estas estructuras es fundamental para el éxito. El diseño de estas estructuras productivas es variado y

FIGURA 98. *Las alcantarillas deben estar alineadas y ser colocadas en el lecho del canal natural de modo tal que el flujo entre y salga de la alcantarilla sin tener que girar o cambiar de gradiente (USDA-SCS, 1983).*

existen tantos diseños exitosos como fallas. Los escombros pueden controlarse mejor si se utiliza algún tipo de enrejado o estructura de filtrado de postes verticales o inclinados clavados y construidos atravesando el canal aguas arriba de la entrada de la alcantarilla (Tabla 28). Se puede utilizar la creatividad y al experiencia para desarrollar un diseño exitoso. Los tubos de soporte vertical ranurados con caída de agua también han sido efectivos para atrapar escombros sin obstruir la alcantarilla. Sin embargo, **se debe tener cuidado con los canales de arroyos con peces para garantizar que el pasaje de peces no se vea bloqueado por dichos diseños.**

TABLA 28. Clasificación de los escombros y las estructuras de control de escombros apropiados [1]

Clasificación de los escombros	Desviadores de escombros	Estanterías de escombros	Elevadores de escombros	Cajas de anclaje de escombros	Cuencas y presas de escombros
Escombros flotando ligero		✓		✓	
Escombros flotando medio	✓	✓			
Escombros flotando pesado	✓				
Escombros que fluye			✓		✓
Detrito fino			✓		✓
Detrito gruesa			✓	✓	✓
Roca	✓				

[1]San Diego County DPW, 2012

Las rejillas contra escombros de las alcantarillas no deben construirse junto a la entrada de la alcantarilla o frente a la misma ya que pueden atascarse con facilidad y evitar que el caudal ingrese por la entrada de la alcantarilla (Figura 99)**. Esta es una falla común en el diseño de las entradas de alcantarillas en caminos forestales y rurales.** Si se construyen de manera incorrecta, las cajas de anclaje o las rejillas de metal construidas alrededor o sobre la entrada de la alcantarilla pueden obstruirse y taponar el tubo o reducir significativamente su capacidad de trasladar aguas de inundación. **El problemas más común de las rejillas contra escombros y las mallas colocadas sobre la entrada de una alcantarilla es que los escombros pequeños suelen quedar atrapados en lugar de pasar a través de la alcantarilla.**

FIGURA 99. *Esta alcantarilla de 6 pies de diámetro con muros laterales y cabezales de concreto tiene un filtro de basura construido sobre la boca para atrapar los escombros flotantes.. El diseño es defectuoso porque filtra ya trapa pequeños escombros de madera que de otra manera pasarían fácilmente por la alcantarilla. Durante un evento de crecida, los escombros cubren rápidamente el filtro de basura y taponan eficazmente la estructura de drenaje. Las barras del filtro debe tener más espacio entre ellas y la estantería de basura se debe instalar en el canal del arroyo en algún lugar arroyo arriba de la boca de la alcantarilla.*

Los escombros leñosos flotantes son una de las causas más comunes de taponamiento de alcantarillas y de fallas en cruces de arroyos durante tormentas e inundaciones en caminos forestales y rurales. Las barreras de escombros y las estructuras de control de escombros también pueden utilizarse para reducir el riesgo de que los escombros flotantes afecten la capacidad de flujo de las alcantarillas. Ambos tratamientos reducen el riesgo de que un arroyo alcantarillado tenga una falla catastrófica. El control de escombros debe considerarse cuando la experiencia o las evidencias físicas indiquen que el arroyo transporta un gran volumen de escombros flotantes que podrían taponar la entrada. **No en todos los arroyos se pueden instalar estructuras de control de escombros, pero los canales activos en áreas con montañas pronunciadas, arroyos con rellenos de volumen alto y largo y alcantarillas que cruzan arroyos y tienen antecedentes de taponamientos de las alcantarillas están en especial riesgo.** La forma más confiable de determinar la posibilidad de que surjan problemas es examinando el historial de mantenimiento de cada sitio, pero los registros de mantenimiento para caminos públicos y privados de bajo volumen suelen ser escasos. Muchas veces, los terratenientes, administradores de tierras, administradores de carreteras y el personal de mantenimiento tienen los mejores conocimientos de los cruces alcantarillados más problemáticos.

Los tratamientos más comunes que se utilizan para reducir la amenaza de taponamiento de alcantarillas incluyen el aumento del tamaño de la alcantarilla para que pasen los escombros de mayor tamaño, el agregado de entradas acampanadas o ingleteadas o la construcción de mallas o barreras para escombros que bloqueen las maderas grandes antes de que lleguen a la entrada.

Desviadores de escombros: un desviador de escombros suele tener forma de V y está diseñado para desviar los grandes escombros o rocas flotantes transportados como carga de fondo en arroyos de velocidad moderada a alta (que suelen encontrarse en terrenos montañosos o empinados) que, de lo contrario, quedarían atrapados en la entrada del tubo (Figura 100). Están ubicados justo enfrente de la entrada de la alcantarilla con el vértice de la V aguas arriba para desviar los escombros flotantes.

El espacio horizontal de las piezas verticales no debe superar el diámetro de una alcantarilla circular o la dimensión más pequeña de una alcantarilla no circular. Durante los flujos de grandes crecidas, la entrada de la alcantarilla puede taponarse si el agua y los escombros flotantes superan el nivel de las piezas verticales y los escombros se transportan por encima de la estructura y a través de la entrada de la alcantarilla. El agregado de piezas horizontales en la parte superior de la estructura puede ayudar a prevenir rebalses. Se debe tener cuidado para garantizar que los escombros leñosos no floten alrededor del desviador y no se atasquen en la entrada de la alcantarilla. Se requiere mantenimiento frecuente para eliminar los escombros leñosos.

Una alternativa recientemente desarrollada al desviador de escombros en forma de V de múltiples posiciones es un desviador de escombros robusto de posición única instalado inmediatamente aguas arriba de la entrada de la alcantarilla (Figura 101). Las observaciones del rendimiento inicial sugieren que este desviador es efectivo para convertir los escombros de modo tal que algunos puedan pasar por la

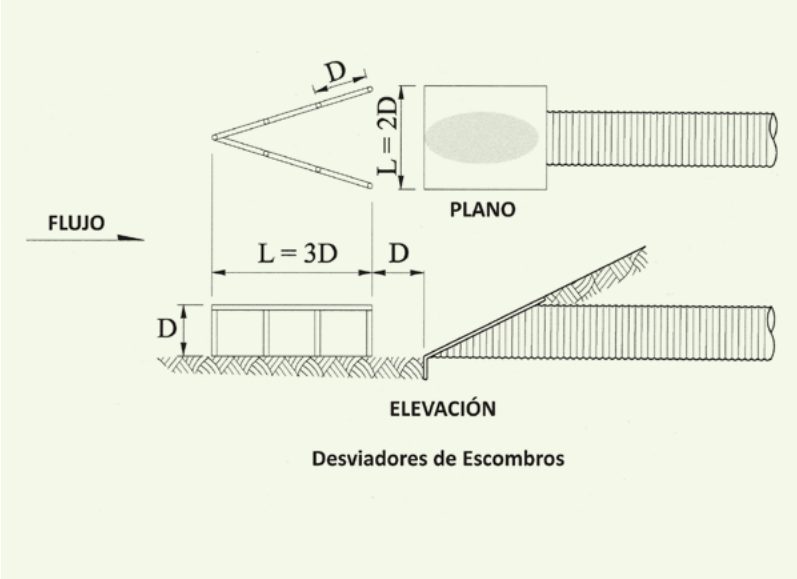


FIGURA 100. *Desviador de residuos instalado frente a la entrada de la alcantarilla biselada con pared en pendiente. Un desviador, por sí solo, no puede proteger la entrada de una alcantarilla con madera flotante si el tubo no tiene un tamaño suficiente y el flujo pasa por arriba de la parte superior del desviador. La alcantarilla debe tener un tamaño adecuado para el evento de flujo de diseño.*

FIGURA 101.
El desviador de un solo poste se coloca un diámetro de alcantarilla frente a la boca de la alcantarilla con la intención de llevar los escombros cortos paralelos al flujo del arroyo, para que puedan pasar por la alcantarilla, al tiempo que atrapa los escombros largos contra las orillas antes de que puedan taponar la boca.

alcantarilla y capturar los materiales más largos antes de que una entrada se tapone. Un simple poste de metal se ha atascado en el centro del cauce, a un diámetro de distancia aguas arriba de la alcantarilla y justo enfrente de la entrada de la alcantarilla. Para que sea efectivo, es importante aumentar el diámetro y la fuerza del poste y la profundidad de la instalación en el cauce, ya que si aumenta el tamaño del cauce aumentará el tamaño de los escombros flotantes y las fuerzas hidráulicas. Si es necesario, el poste puede ser reforzado usando una o dos barras de soporte sujetadas a la parte superior de la alcantarilla o empotradas en la cara del relleno.

La barra vertical debe extenderse al menos a un diámetro de alcantarilla por encima del lecho. Los escombros flotantes que peguen en el poste girarán a lo largo y en paralelo al arroyo y la alcantarilla de modo tal que floten dentro del tubo. Si los escombros tienen un ancho que supera el ancho de la alcantarilla, girarán y se acuñarán entre el poste y la ribera del arroyo, el terraplén, adyacente, en el borde externo de la alcantarilla. La entrada permanecerá abierta. Los sedimentos también se amontonarán contra la madera retenida, detrás del poste, en lugar de acumularse directamente en la entrada de la alcantarilla. Al igual que en los demás tipo de barreras y desviadores de escombros, los escombros leñosos pueden eliminarse en forma manual o con equipos pesados una vez que finalice la tormenta para restaurar la capacidad total del canal. **Si bien este diseño es experimental, parece ser prometedor para proteger instalaciones de alcantarillas de todos los tamaños pero se requieren más observaciones, estudios de caso e investigaciones.**

Estanterías de escombros: una estantería de escombros es una estructura de cribado colocada a lo largo del canal del arroyo aguas arriba de la entrada de la alcantarilla para su protección (Figura 102). Debe ser construida con barras de cribado en posición vertical o inclinada corriente abajo y ser sujetada a un soporte horizontal. **Las barras deben espaciarse aproximadamente al diámetro de una alcantarilla circular o a la menor dimensión de un tubo no circular.** La intención es permitir que los pequeños escombros pasen a través de la criba y de la entrada de la alcantarilla, mientras criba y retiene todas las piezas largas que podrían taponar la entrada.

Las estanterías de escombros deben colocarse a una distancia suficiente de la entrada de la alcantarilla para

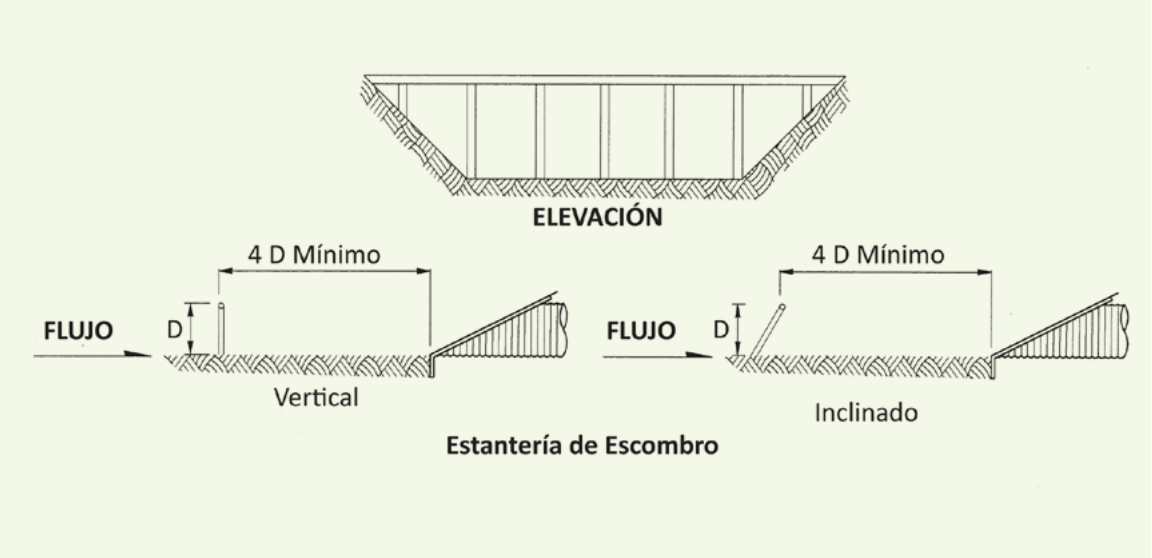


FIGURA 102.
Estantería de residuos de múltiples barras con barras verticales o en pendiente empotradas o acuñadas contra el cauce. Las barras deben estar espaciadas un diámetro de alcantarilla.

que los escombros no bloqueen el tubo y de modo tal que los troncos y otros escombros no ingresen al canal entre la estantería de escombros y la alcantarilla (Figura 103). Los escombros flotantes y los sedimentos acumulados detrás de ellos suelen quedar atrapados detrás de la estantería y deben ser limpiados después de una tormenta (Figura 104). Preferentemente, el personal de limpieza o las retroexcavadoras deben tener acceso para poder limpiar y realizar reparaciones. Al igual que los desviadores de escombros , las estanterías de escombros atrapan la mayor parte de las maderas flotantes en el arroyo y, por lo tanto, requieren un mantenimiento regular para estar preparados en caso de tormenta.

Los dispositivos de control de escombros suelen ser antiestéticos y costosos y suelen requerir un mantenimiento considerable luego de cada inundación (Figura 105). Si la capacidad de almacenamiento de la trampa de escombros es muy pequeña para una tormenta intensa, el agua puede desviarse alrededor de la barrera de escombros y en la entrada de la alcantarilla, provocando una mayor erosión del

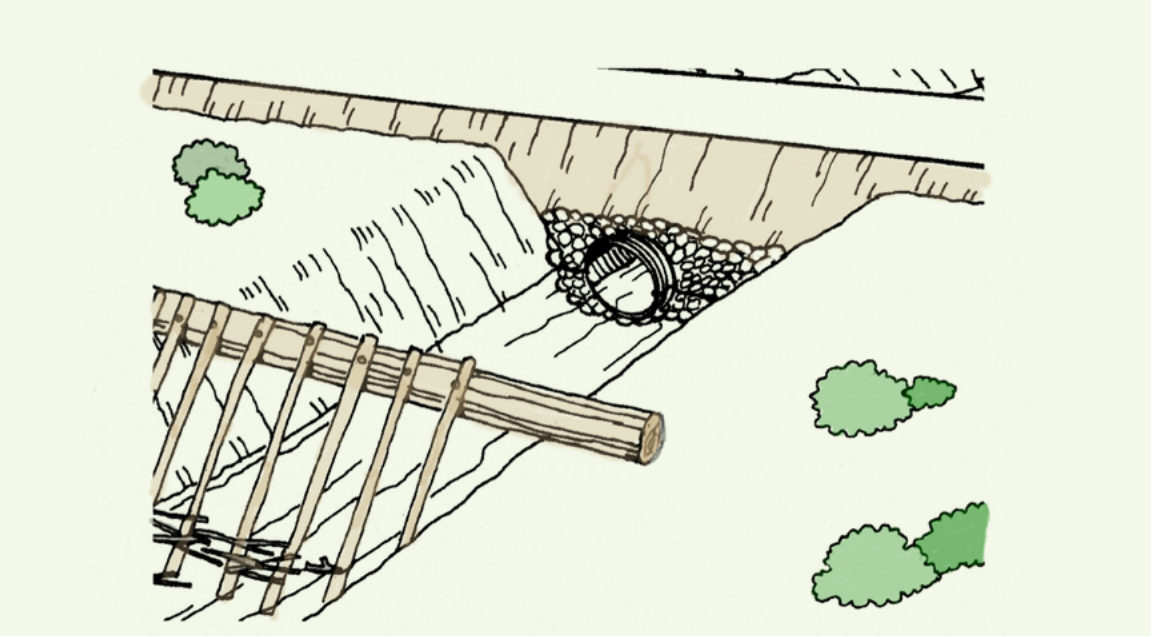


FIGURA 103.
Estantería de residuos en pendiente en un canal de arroyo sin peces (Keller y Sherar, 2003)

FIGURA 104. *Las rejillas contra escombros más efectivas son las que se colocan a través del canal aguas arriba de la entrada de la alcantarilla, con el espaciado de los postes verticales aproximadamente igual a la extensión o el diámetro de la alcantarilla. El espaciado más cercano de los postes atrapa demasiados escombros, y el espaciado más grande deja pasar escombros grandes que podrían taponar la boca de la alcantarilla. Los 4 postes de esta estantería de escombros tienen demasiado poco espacio entre ellos y se debería agregar un poste más a cada lado para evitar el corrimiento durante un evento de crecida.*

FIGURA 105. *En arroyos más grandes, puede que se necesite colocar las estanterías de escombros más lejos aguas arriba de la boca de la alcantarilla. Los troncos y las ramas que flotan cauca abajo son atrapados por el filtro, pero el flujo retrocede y sube alrededor de la estructura (como en esta foto) si no se extiende a la orilla. Las estanterías o filtros de escombros necesitan mantenimiento regular para quitar los escombros acumulados. Deben estar hechos de postes de metal duraderos y vigas en I con el tamaño para resistir las tensiones esperados y enterrados profundamente en el lecho del cauce para instalaciones seguras de largo plazo.*

canal y daños por fallas en el cruce del arroyo. Sin embargo, pueden evitar que el relleno del cruce de un gran arroyo falle, evitar la falta de acceso y permitir el ahorro de miles de dólares en costos de reconstrucción.

ii. Tratamientos de entrada de alcantarillas

El tipo de tratamiento final utilizado para la entrada de una alcantarilla depende de diversos factores interrelacionados y en ocasiones conflictivos. Pueden diseñarse para aumentar la capacidad de flujo de la alcantarilla y para brindar cierta protección para evitar el taponamiento de la alcantarilla. El diseñador debe evaluar la seguridad, la capacidad de escombros, la eficiencia hidráulica, la socavación y la situación económica y contrastarlo con los posibles beneficios del tratamiento final sobre la estabilidad del cruce del arroyo.

Los tratamientos de entrada más comunes incluyen el cilindro proyectado estándar junto con entradas ingleteadas que se cortan con la misma pendiente que el relleno adyacente y con entradas acampanadas que se sujetan al cilindro de una alcantarilla estándar; cada una de ellas puede tener una coraza de rocas a lo largo de los terraplenes o no (Figura 106). Las entradas acampanadas están disponibles para la mayoría de las formas y materiales de alcantarillas, pero suelen ser más costosas que las entradas ingleteadas.

La coraza se utiliza generalmente alrededor de la entrada y la salida de los tubos de las alcantarillas, donde los extremos salen de los terraplenes (Figuras 79, 106, 107a y 107b). Esta coraza sirve para proteger a la alcantarilla de la erosión durante situaciones de gran acumulación de agua (en la entrada) y de erosión por salpicaduras (en la salida). Si se coloca en la base de la pendiente, también sirve para atrapar sedimentos erosionados de los rellenos de los cruces de arroyos construidos recientemente hasta que crezca nueva vegetación y se estabilicen.

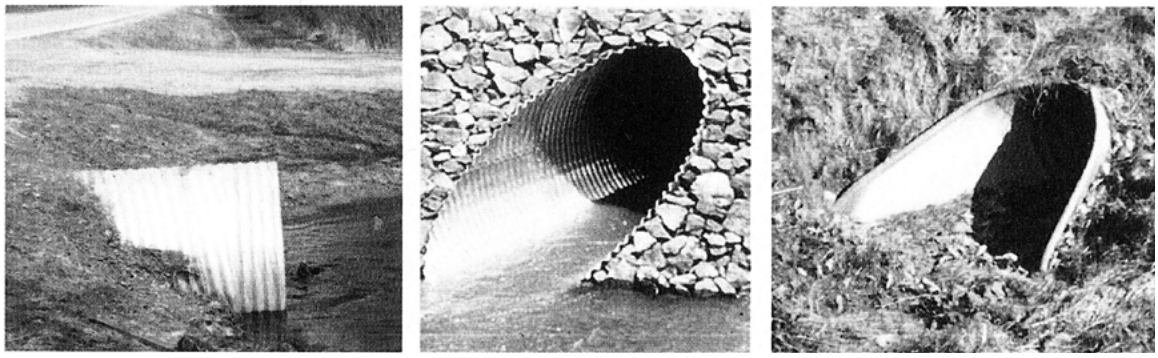


FIGURA 106. *Tres tipos comunes de tratamientos de boca de alcantarilla incluyen: cilindro saliente, entrada ingleteada o biselada, y entrada cónica lateral o acampanada. La entrada de cilindro saliente es el tipo menos eficiente pero más económico y más común de entrada de alcantarilla.*

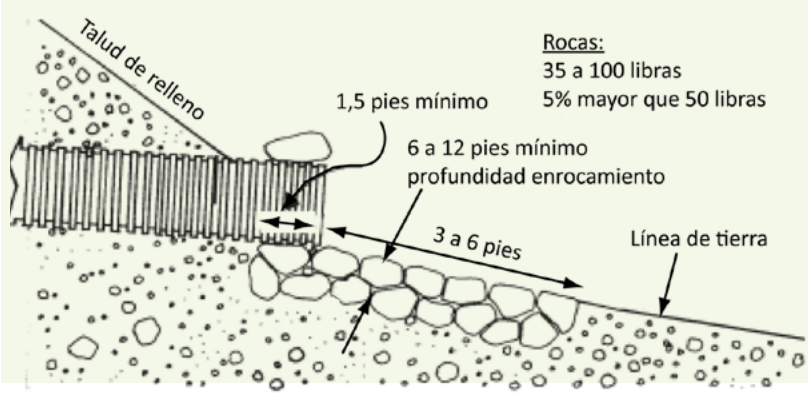


FIGURA 107A. *Coraza de enrocamiento de protecciónen la salida de la alcantarilla (Modificado de: Keller y otros, 2011).*

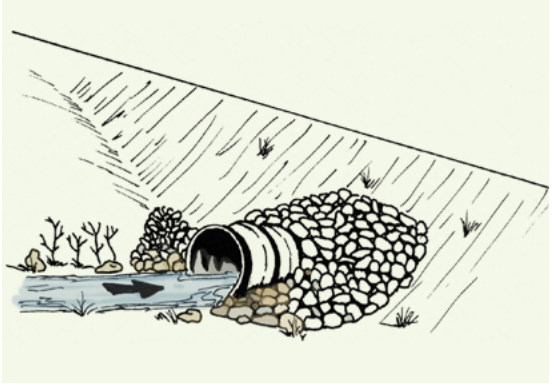


FIGURA 107B. *Coraza de enrocamiento de protección en la entrada de la alcantarilla(Keller y Sherar, 2003).*

Extremos salientes: un extremo saliente es un tratamiento en el cual el cilindro de la alcantarilla sobresale del dique (Figura 108). Este es el tipo de configuración de entrada más común y funciona bien en casi todos los canales de arroyos. La principal ventaja de este tipo de configuración de extremo es que es el tratamiento más sencillo y más económico de todos. Los extremos salientes también brindan excelentes características de resistencia ya que los tubos se componen de una estructura de anillos fuera de la abertura de la alcantarilla. La manera más simples y económica de fortificar a una alcantarilla saliente es aplicar una coraza de rocas al terraplén alrededor y por encima de la entrada (Figura 107b).

Los extremos salientes tienen muchas desventajas. Para los metales, el fino espesor de la pared no brinda una transición de flujo dentro o fuera de la alcantarilla, lo que aumenta en forma significativa las pérdidas de carga y reduce la capacidad de flujo. La entrada saliente también es más susceptible a taponarse con escombros o sedimentos flotantes, pero esto puede solucioanrse con la instalación de un desviadoir de escombros.

Entradas cónicas y ingleteadas: una **entrada cónica** es una entrada de alcantarilla acampanada con una sección de cara alargada section y una sección de cueello hidráulicamente eficiente (Figura 109). Puede tratarse de una entrada cónica lateral (en donde la alcantarilla se vuelve más ancha en la entrada) o de una entrada cónica en pendiente (en donde la pendiente del lecho aumenta en la entrada de la alcantarilla). Las entradas cónicas mejoran el rendimiento de la alcantarilla (la capacidad de descarga) hasta un 25% en las entradas cónicas laterales, y hasta un 100% en las entradas cónicas verticales, lo que brinda una sección de contral más eficiente (el cuello). Las paredes laterales desvían o atrapan escombros flotantes de gran tamaño antes de que puedan taponar la entrada y el piso de concreto ofrece una superficie uniforme que ayudan a que las rocas y sedimentos pasen a través de la alcantarilla en lugar de quedar depositados en la entrada.

Una entrada ingleteada se compone de un corte en el extremo final de una alcantarilla saliente a un ángulo que coincida con la pendiente del dique que rodea a la alcantarilla, lo cual reduce significativamente el área efectiva de la abertura de entrada de la alcantarilla (Figura 106). Es relativamente sencillo readaptar una entrada saliente existente o convertirla en una entrada biselada.

Un extremo ingleteada brinda una abertura de mayor tamaño y más eficiente hidráulicamente que un extremo saliente, brinda cierta protección contra los taponamientos de escombros flotantes orgánicos y su costo es relativamente bajo. **En las alcantarillas de aproximadamente 6 pies de diámetro o menos, se debe considerar el uso de extremos ingleteadas, pero los extremos de la alcantarilla pueden ser de un diámetro mayor si son reforzados con una pared en**

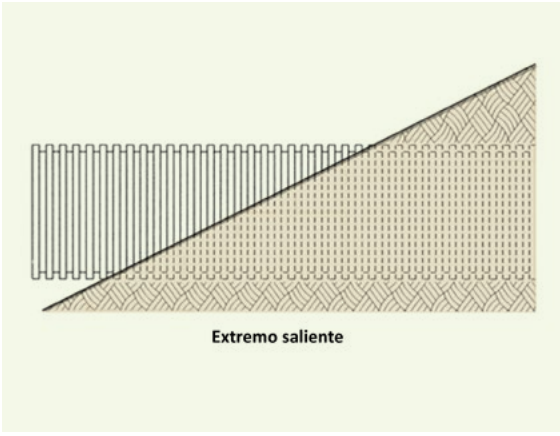


FIGURA 108. *La entrada de cilindro saliente es el tipo menos eficiente pero más resistente y económico y más común de entrada de alcantarilla.*

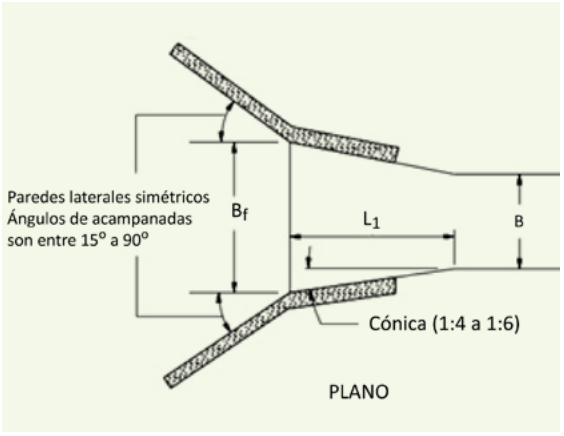


FIGURA 109. *Entrada de alcantarilla lateral cónica con paredes laterales agregadas.*

pendiente, un cuello en pendiente o un terraplén acorazado hasta la altura de la entrada (Figuras 103 y 107b). A menos que sean de acero de alto calibre, los biseles no compatibles de las alcantarillas de gran tamaño pueden debilitar la estructura de la entrada y hacerla susceptible a deformaciones durante los grandes flujos.

No se deben utilizar extremos ingleteadas estándar en las alcantarillas colocadas en un sesgo de más de 30 grados desde la parte perpendicular hasta el eje del camino y del relleno. Es fundamental que la entrada ingleteada tenga alrededor de 6 pulgadas de cara de relleno; un tubo ingleteado que 1 o 2 pies perderá su eficiencia hidrológica en un 25 a 50%. Las paredes laterales podrían ser necesarias para llevar el flujo por la entrada ingleteada. Al cortar los extremos de una estructura de alcantarilla de metal corrugado en un sesgo o bisel de extremo para crear una buena pendiente en el dique reduce la fuerza del extremo, en comparación con un tubo redondo. Se podrían requerir muros de cabeza, pendientes de ripio, pavimentación de la pendiente o endurecimiento del tubo para estabilizar los extremos.

Secciones de extremo acampanado: una sección de extremo acampanado metálico, o entrada acampanada, es un extremo de alcantarilla muy económicoa y fácil de instalar que se sujeta con pernos al cilindro de la alcantarilla y ofrece una transición sencilal entre el cilindro de la alcantarilla y el cauce del arroyo (Figura 110). Las entradas acampanadas aumentan la capacidad de la alcantarilla del mismo modo que las entradas cónicas laterales (aumentan entre un 25 y un 50% la capacidad de flujo en comparación con una entrada de cilindo saliente) al restringir suavemente el flujo en la entrada de la alcantarilla. **Las entradas de alcantarilla acampanadas suelen instalarse en alcantarillas en las que los arroyos tienen altas tasas de transporte de sedimentos que podrían provocar taponamientos de la alcantarilla.** El fondo de chapa metálica brinda una superficie muy uniforme en la entrada, en la que los sedimentos y las rocas no pueden quedar depositados y se descargan fácilmente hacia y a través de la alcantarilla. Las entradas de alcantarilla acampanadas también actúan como entradas ingleteadas al acuñar y atrapar los escombros leñosos antes de que taponen la entrada o al permitir que grandes trozos de madera suban por arriba de la entrada mientras el flujo ingresa al cilindo de la alcantarilla.

En general, las secciones de extremo acampanado se utilizan solamente en los tubos circulares o en los arcos de tubos. Los extremos acampanados suelen estar hechos de acero y aluminio para que coincida con el material de alcantarilla existente. Sin embargo, cada tipo de seccion de extremo puede anexarse a un tubo de concreto o de plástico con accesorios especiales. Existen entradas de plástico HDPE, pero no son muy utilizadas.

FIGURA 110.
Esta alcantarilla de 52 pulgadas de diámetro ha sido modificada con una entrada ingleteada. Las entradas de alcantarilla ingleteadas atornillables están disponibles para la mayoría de los materiales y formas de alcantarilla. La ingleta lateral mejora la eficacia hidráulica de la boca, y el fondo de placa de metal garantiza que el sedimento no pueda acumularse ni taponar potencialmente la entrada de la alcantarilla. Las paredes laterales en forma de cono actúan para desviar los escombros para que puedan entrar en la alcantarilla, y sus costados en pendiente hacen que los escombros más grandes suban por sobre la boca, por ende reduciendo el potencial de taponamiento.

Una entrada acampanada suele ser la opción más viable en los tubos de menor tamaño y su uso debe ser considerado para alcantarillas que tengan entre 48 y 60 pulgadas de diámetro. Para diámetros mayores, los tratamientos de extremos como las aberturas biseladas (ingleteadas), los muros de cabeza prefabricados o de concreto vertido, las paredes laterales o las plataformas podrían ser más económicos que las secciones de extremo acampanado.

Muros de cabeza y cuellos en pendiente: un muro de cabeza es un marco de concreto vertido alrededor de una entrada de alcantarilla ingleteada o de cilindro (Figura 111). Brindan apoyo estructural a la alcantarilla y elimina la tendencia a la flotabilidad. También aumentan la eficiencia hidráulica de la entrada, especialmente en comparación con las entradas de cilindro salientes. En general, un muro de cabeza se compone de un tratamiento de extremo económicamente viable para alcantarillas metálicas con un tamaño de entre 6 y 10 pies, pero puede utilizarse para alcantarillas más pequeñas para acortar terraplenes y mejorar la eficiencia hidráulica (Figura 111). Las alcantarillas de metal menores a los 6 pies de diámetro no suelen necesitar el apoyo estructural ofrecido por un muro de cabeza. Los muros de cabeza son estructuralmente beneficiosos en las alcantarillas plásticas que superan los 3 pies de diámetro. La Figura 112 muestra un muro de cabeza típico en una alcantarilla ingleteada.

iii. Tomas elevadas y elevadores

El objetivo de las tomas elevadas y los elevadores de alcantarilla es evitar que los sedimentos y escombros flotantes taponen las alcantarillas y provoquen rebalses, fallas de relleno o desvío de los arroyos. Los elevadores también se utilizan para atrapar sedimentos, reducir las concentraciones de sedimentos y la descarga de sedimentos y proteger la calidad del agua corriente abajo. Suelen utilizarse en cuencas recientemente quemadas, en las que se espera una erosión del suelo significativa y para el transporte de sedimentos y escombros durante una escorrentía. También pueden utilizarse en cuencas de retención corriente abajo en un gran proyecto de movimiento de suelos en el cual se espera que ingrese un caudal inevitable de erosión y sedimientos al arroyo. En ocasiones, las tomas elevadas y los elevadores se utilizan cuando no existen patrullas de tormenta y mantenimiento cierto y sirven como válvulas de seguridad para aliviar los efectos de los taponamientos de la alcantarilla.

Las tomas elevadas están diseñadas para brindar una segunda entrada a la alcantarilla

FIGURA 111.
Este testero vertical de concreto se instaló en un cruce de arroyo de camino. El testero aumenta la eficacia de la alcantarilla en comparación con una entrada de cilindro saliente pero aún es propensa al taponamiento de los escombros orgánicos flotantes

FIGURA 112. *Este testero de concreto en pendiente fue construido con una entrada de alcantarilla biselada o ingleteada. La entrada de testero ingleteada mejora la eficiencia de la boca de la alcantarilla, y el concreto contrarresta los efectos potenciales de flotabilidad a los que estaría sujeto un tubo de plástico débil en eventos de flujo máximo.*

que cruza el arroyo y deben utilizarse solamente si la entrada principal de la alcantarilla se obstruye con sedimentos o escombros leñosos (Figura 113). Si esto sucede, las aguas que suben se vierten sobre el tubo de toma elevada a través de los laterales ranurados o en la parte superior abierta. Las tomas elevadas se instalan como un elevador vertical soldado en la parte superior de la alcantarilla de cruce de arroyo existente, en general a varios pies de la entrada de alcantarilla actual.

Preferentemente, el elevador de toma elevada vertical debe tener el mismo diámetro que la alcantarilla principal de modo tal que pueda ajustar los flujos de crecida de diseño si la entrada principal se tapona por completo. La toma elevada se extiende en forma vertical y tiene entre 5 y 8 pies, pero no debe superar la mitad de la altura del muro de cabeza, y termina en un tubo abierto. Los elevadores de toma elevada pueden estar ranurados a lo largo de su extensión para permitir la afluencia cuando la alcantarilla principal se taponaa y el agua sube. La parte superior del elevador vertical en un tubo de toma elevada suele tener una malla para fines de seguridad y para evitar el taponamiento de los escombros flotantes. Sin embargo, esta malla también aumenta la posibilidad de que el elevador se tapone.

FIGURA 113. *La toma elevada de la boca de alcantarilla ranurada en esta pequeña alcantarilla de cruce de arroyo está diseñada para brindar protección de desborde de emergencia en caso que la alcantarilla principal se tapone con escombros. Lamentablemente, debido al pequeño espaciado de las barras sobre el elevador, la toma elevada también podría taponarse con escombros flotantes Para ser eficaz, la boca superior o "agujero de la gloria" en la parte superior del elevador de la toma elevada debe ser más bajo que el camino y la cuneta adyacentes.*

Por el contrario, los tubos del elevador de caída de agua suelen extenderse verticalmente desde un codo de 90 grados instalado sobre la entrada de la alcantarilla. El elevador de caída de agua debe tener el mismo diámetro que la alcantarilla de cruce de arroyo, pero no debe ser menor a 36" de diámetro para brindar la capacidad de flujo necesaria y evitar el taponamiento. Los elevadores muy altos (más de 8 pies) pueden requerir anclas para evitar que se muevan con las corrientes y velocidades de flujo esperadas. Los elevadores también pueden ser derribados por las crecidas o por los flujos de escombros si no están bien sujetados. Sin embargo, **los elevadores no deben tener una altura que supere la mitad de la altura del relleno para evitar que se desarrolle el cabezal hidrostático y que se produzca saturación en el relleno.**

Los elevadores sacan provecho de la cuenca detrás del relleno para almacenar agua y sedimentos. Los tubos de los elevadores ranurados fomentan la formación de charcos de agua temporales y tamizan la mayor parte de los escombros y sedimentos transportados (Figura 114). Un tubo de elevador suele tener ranuras en forma vertical para permitir el pasaje de agua durante las épocas de crecida. Los elevadores ranurados están abiertos en la parte superior o la parte superior tiene una malla de escombros para fines de seguridad que también ayuda a evitar el taponamiento del elevador. El sedimento que se acumula en la cuenca detrás del relleno del camino debe ser excavado y transportado durante la temporada seca para que la cuenca tenga capacidad total para atrapar sedimentos durante la próxima estación húmeda.

Los elevadores no aumentan la capacidad de flujo de la alcantarilla de cruce de arroyos. Es fundamental que la abertura en la parte superior (el aliviadero) no esté taponada con escombros flotantes ya que es la única abertura significativa desde la cual se libera el flujo de crecida a la alcantarilla. Si se tapona, los niveles de agua pueden seguir aumentando hasta desbordar el relleno del camino y erosionar el cruce.

Sólo se deben utilizar elevadores en circunstancias y entornos específicos. En ciertas ocasiones, los elevadores se utilizan en arroyos pequeños que transportan una cantidad excesiva de sedimentos y contaminan las áreas corriente abajo; en esos casos, se recomienda atrapar y remover los sedimentos. En ciertas ocasiones se utilizan elevadores para proteger la infraestructura de transporte en caminos con grandes rellenos en las que se debe mantener el acceso y el uso del camino. Sin embargo, por diseño, los elevadores reducen la eficiencia hidráulica de la alcantarilla, de modo que pueden aumentar la vulnerabilidad de ciertos cruces de arroyos a la excesiva formación de charcos y a posibles rebalses. No se pueden

FIGURA 114. *Esta entrada de alcantarilla en una cuenca recientemente quemada ha sido equipada con un elevador ranurado para que los flujos de crecida se estancan en la gran cuenta de la entrada, el arroyo deja su carga de sedimento grueso y las aguas de crecida disminuyen gradualmente. Si el caudal estancado alcanza la parte superior del tubo del elevador, se verterá sobre la abertura superior. Las cuencas con elevadores ranurados se utilizan a veces donde la entrega de sedimento de áreas aguas arriba se espera que sea elevada (por ejemplo, luego de un incendio forestal) y el sedimento se debe retener para proteger las áreas aguas abajo. Todas las cuencas de sedimentos se deben limpiar intermitentemente quitando el sedimento acumulado para mantener la capacidad necesaria.*

utilizar elevadores en áreas en las que se requiere el pasaje de peces u otras especies acuáticas.

f. Alcantarillas de inundación de emergencia

En situaciones en las cuales una alcantarilla es colocada en la base de un relleno muy alto (de más de 20 pies) en un arroyo con grandes problemas de escombros, se podría requerir la instalación de una alcantarilla de inundación o desvío de emergencia en el caso de que la alcantarilla principal se tapone con escombros. Una alcantarilla taponada en un dique alto puede retener un gran volumen de agua. Un relleno alto puede tener una falla repentida y esto podría generar una falla catastrófica en el camino (a través de un barranco profundo del relleno) o un flujo de escombros que se traslade largas distancias corriente abajo. Los rebalses y fallas de rellenos de cruces de grandes arroyos pueden sobrecargar los canales de bajada y destruir el hábitat acuático en arroyos y ríos valiosos y podrían poner en riesgo a los propietarios de tierras corriente abajo y a los usuarios del camino. **En rellenos profundos, una alcantarilla de desvío de emergencia limitará el nivel de agua retenida detrás de un relleno de cruce de arroyo a un nivel más seguro, de modo tal que el relleno tenga menos probabilidades de saturarse o rebalsar. Esta es una medida para reducir el riesgo que brinda una gran protección.**

Las alcantarillas de inundación de emergencia deben instalarse en rellenos de cruce de arroyo grandes y profundos en los que la alcantarilla principal en la base del relleno 1) sea muy difícil de limpiar y mantener o 2) tenga un tamaño muy pequeño pero no haya fondos disponibles para adecuarla a las normas de diseño actuales. El alcance del equipo de excavación puede indicar la profundidad máxima a la cual se debe instalar la alcantarilla de inundación. En general, la alcantarilla de inundación debe instalarse a la mitad del relleno de la superficie del camino o, si es posible, entre 5 y 10 pies por encima de la corona de la alcantarilla principal (Figura 115). La formación de charcos debe reducirse al mínimo posible. Si el relleno es muy profundo, el tubo de inundación de emergencia debe ser instalado mediante excavación de zanjas a aproximadamente 15 pies en vertical de la elevación de la superficie del camino, de modo tal que pueda limpiarse usando una retroexcavadora durante una tormenta.

Las alcantarillas de desvío también pueden utilizarse en cruces de arroyos en las que no es posible o aconsejable construir pendientes profundas en el relleno del cruce (quizás la pendiente es demasiado empinada para una zanja funcional), lo cual sirve como alternativa a una zanja profunda. Si bien es posible que las alcantarillas de inundación de emergencia no sean tan efectivas para evitar desvíos de los arroyos como el relleno de cruces con cunetas, ofrecen una mayor protección contra rebalses o desvío de arroyos, a un costo mucho menor,

FIGURA 115. *Donde las alcantarillas de cruces de arroyo pueden no tener el tamaño adecuado para el flujo de crecida de diseño, y su reemplazo inmediato no esté programado, se pueden equipar con entradas más eficientes (como por ejemplo el testero que se ve aquí así como también con tubos de desbordamiento de emergencia colocados más alto en el relleno. El tubo de desbordamiento brinda alivio durante los eventos de flujo grandes o cuando la alcantarilla principal se tapona con escombros. Esta alcantarilla de desbordamiento experimento flujo de crecida durante el primer invierno después de su instalación (Ver Figura 113).*

siempre que la alcantarilla principal se tapone con escombros. **Idealmente, un relleno de cruce de arroyo con una alcantarilla de inundación (desvío) de emergencia también debe tener un relleno de camino sumergido, o tener una zanja profunda, para que existan múltiples capas de posible protección contra desvíos de arroyos o fallas de cruces catastróficos.**

No existe una fórmula mágica para calcular el tamaño (diámetro) adecuado de una alcantarilla de inundación de emergencia. Un cálculo razonable es que debe tener aproximadamente entre el 50 y el 60% del diámetro de la alcantarilla principal y no debe tener menos de 36 pulgadas de diámetro en arroyos con grandes rellenos. El gran reservorio estancado detrás del relleno puede reducir y ampliar significativamente los tiempos de los flujos de crecidas pico en el canal del arroyo, de modo tal que posiblemente las alcantarillas de tamaño de diseño no sean necesarias. Si es posible, la alcantarilla de desvío debe ser colocada fuera del trayecto del flujo principal para minimizar el riesgo de taponamiento por escombros flotantes. Además, la alcantarilla de inundación debe estar equipada con una bajada anclada redonda completa en la cara externa del relleno de la base del terraplén y volver al canal natural sin provocar erosión en el terraplén.

4. PUENTES

En general, los puentes tienen menor impacto ambiental que los cruces de arroyo con alcantarillas. Suelen ofrecer una mejor eliminación de grandes caudales de agua y escombros flotantes y son la estructura de cruce ideal para cumplir con los requisitos de pasaje de peces. **El costo de instalación de puentes portátiles es muy rentable en comparación con la instalación de arcos con placa y grandes cruces de arroyos (con relleno) en muchas situaciones.**

Los puentes pueden ser temporales o permanentes. Los puentes temporales pueden construirse para cruzar un canal de un arroyo y luego pueden ser retirados al finalizar las operaciones. Como no se perturba mucho el suelo en el canal del arroyo ni a los costados, el sitio del cruce puede volver fácilmente a su condición original. **Los vagones plataforma de ferrocarril son la alternativa más común y más económica a la construcción de puentes tradicionales utilizados para caminos forestales y rurales.** También pueden ser arrastrados fácilmente en remolques de cama de un lugar a otro y no requiere mucha preparación antes de su instalación.

Los vagones plataforma también pueden ser dejados en el lugar y ser utilizados como puentes permanents (Figura 116). Los pilares del puente pueden ser más permanentes si se utilizan soportes prefabricados o de

FIGURA 116.
Los puentes de vagones plataforma pueden utilizarse para cruces temporarios de canales de arroyos cavados, o pueden servir como cruces de permanentes de cursos de agua. Este puente de 65 pies cubre todo el canal y se colocó sobre contrafuertes de troncos grandes. Las laderas se han protegido con enrocamiento de protección de roca pesada, y el ancho del canal natural se ha mantenido en todo el cruce.

concreto vertido. En una época, los puentes permanentes estaban hechos de rampas flotantes (soportes de gran diámetro extendidos por el canal del arroyo), pero este tipo de puente es difícil de diseñar y los grandes soportes son difíciles de conseguir. En la actualidad, los puentes portátiles se construyen con vigas en "I" de acero prefabricado con una superficie de guía de acero o concreto y estribos prefabricados que pueden ser descendidos en el lugar (Figura 117). Los puentes portátiles prefabricados, más conocidos como puentes Bailey, se utilizan frecuentemente y pueden ser usados para instalaciones temporarias y a largo plazo.

Los puentes utilizados para transporte de camiones y tráfico de vehículos suelen requerir un diseño de ingeniería adecuado y se debe consultar con un ingeniero estructural calificado. Las vías privadas construidas o convertidas para el acceso a viviendas o desarrollos residenciales también pueden requerir la certificación de un ingeniero. En áreas forestales, esos puentes deben ser capaces de soportar camiones de bomberos, camiones cisterna, equipos pesados y otros vehículos de emergencia. La mayoría de las vías públicas, incluso en vías de poco volumen de tránsito en bosques estatales y federales, deben tener un diseño de ingeniería para puentes, sin importar cuántos automóviles las transiten o el peso de los vehículos. **Como mínimo, se recomienda que un ingeniero estructural calificado y con experiencia certifique los límites de carga para soportar peso de un puente antes de su instalación y publique el límite de carga en las entradas al puente.**

Si el puente es prefabricado, ha sido construido y entregado según las especificaciones conocidas. Si está utilizando un vagón plataforma restaurado, podría tener fallas estructurales ocultas de un accidente previo y debe ser inspeccionado.

No todos los cruces de arroyos son adecuados para la instalación de puentes. En general, los puentes deben ser instalados en ángulo recto con respecto al canal con suficiente espacio debajo de la estructura para que pase el flujo de crecida de diseño (incluso los escombros orgánicos flotantes, que suelen ser de 3 pies de superficie libre). Los canales de arroyos con incisiones y una gradiente relativamente plana o baja cerca de pendientes son adecuados para la colocación de puentes. **Siempre que sea posible, el canal del arroyo se debe atravesar sin utilizar soportes centrales que puedan alterar la capacidad del canal o estar sujetos a socavación del lecho del canal o escombros flotantes durante eventos de crecidas. Los estribos deben colocarse fuera de la zona de crecidas del arroyo y no deben restringir la capacidad de crecida del canal natural. Las áreas de estribos expuestas a aguas de crecidas deben estar acorazadas para protegerlas de la**

FIGURA 117.
Este puente de 50 pies está construido con vigas en I de acero que cubren el canal y están aseguradas a los taludes a ambos lados del canal utilizando contrafuertes de pilares de acero. Los puentes de vigas en I se pueden construir en el sitio o se pueden especificar, prefabricar y armar en otro lugar, y luego enviarse e instalarse como una unidad completa.

erosión, pero la coraza colocada no debe restringir el área transversal del canal ni la capacidad de flujo de crecida. Por último, la superficie del puente debe estar levemente elevada por encima de los alrededores del camino adyacente para garantizar que los alrededores estén hidrológicamente desconectados.

Como los puentes suelen ser rectos y relativamente estrechos, todas las curvas de vehículos necesarias para cruzar el canal deben ser incorporadas a los segmentos cercanos a los caminos. El cruce de canales de arroyos con cavados profundos y taludes empinados podría requerir un gran trabajo de excavación (y disposición final) de los materiales de los alrededores antes de instalar un puente que cruce el canal. Un método para evitar cierta excavación consiste en instalar puentes de vagones plataforma duales, lado a lado, o de puentes de vigas en "I" de dobles para que se pueda ajustar la cubierta del puente a ciertos vehículos o para utilizar técnicas de construcción especiales que permitan ciertos giros en la estructura (Figuras 118a y 118b).

Los puentes más sencillos y económicos suelen tener menos de 100 pies de largo. Por ejemplo, los vagones plataforma generalmente tienen largos estándar de aproximadamente 55 a 90 pies. Es importante asegurarse de que el puente pueda soportar las cargas de diseño que pasarán a través del camino. Los puentes más largos podrían requerir más soportes de la superestructura o un pilote central para soportar el largo extra

FIGURA 118A.
Este puente de vagón plataforma ha sido modificado estructuralmente para permitir que ciertos camiones giren por la cubierta del puente. Los canales de arroyos con cavados profundos y taludes empinados podrían requerir una amplia excavación de la ladera si se utilizó un enfoque recto.

FIGURA 118B.
Girar en el puente también se puede lograr utilizando un puente de vagón plataforma del doble de ancho (dos vagones soldados), donde el ancho del puente es suficiente para soportar ciertos giros de camiones con remolques largos.

(Figura 119). Cuando se presente alguna de dichas complicaciones, se debe consultar con un ingeniero antes de fabricar e instalar una estructura de puente.

5. RELLENOS BLINDADOS

Un cruce de relleno blindado se construye para transportar el fluyo del arroyo directamente a través de la calzada y bajo un terraplén blindado al canal natural debajo (Figura 120). Un relleno de rocas porosas con alcantarilla es un caso especial de cruce blindado, en el que la mayoría de los caudales de baja descarga pasan a través de un relleno poroso en lugar de pasar sobre la superficie del camino. Los cruces de relleno blindado y los rellenos de rocas porosas no son técnicamente cruces de vados. Los cruces de vados se construyen directamente sobre el cauce natural en sitios de gradiente bajo y no contienen ningún material de relleno. A medida que las gradientes del arroyo aumentan, se vuelve imposible construir un lecho de camino estable a lo largo del canal del arroyo sin levantar la carretera con material de relleno para lograr una superficie de manejo nivelada o sumergida en el cruce y fuera del cruce.

Rellenos blindados—En general, un cruce de relleno blindado se utiliza en áreas de poco tránsito, como haciendas, caminos de explotación forestal de temporada, caminos para el acceso a servicios públicos, regiones de espacios abiertos y zonas verdes. Los rellenos blindados son una buena opción de diseño para arroyos fugaces e intermitentes en los que la mayor parte del tránsito cruzará durante condiciones de bajo flujo o períodos secos. No deben construirse en arroyos perennes o en arroyos con peces. Si se diseñan y construyen de manera adecuada, los cruces de relleno blindado son una buena opción para rutas de acceso remotas de bajo mantenimiento. Si hay armaduras rocosas en la zona será menos costoso de instalar que las alcantarillas y los puentes y requerirán inspecciones y mantenimiento con menor frecuencia.

La construcción de un cruce de relleno blindado involucra un proceso de múltiples pasos (Figuras 121a a 121f). En general, los cruces de relleno blindado se construyen con una zanja ancha a través del camino y un vertedero blindado de ripio. El primer paso involucra

FIGURA 119. *Es importante que todos los puentes utilizados para transportar vehículos y equipos sean diseñados adecuadamente o evaluados por un ingeniero estructural antes de su utilización. Este puente reforzado de gran tamaño fue fabricado a partir de dos vagones plataforma de 90 pies con un soporte de pilote central que puede plegarse bajo el puente durante los flujos de crecida de invierno. El pilote central debe ser bajo para poder arrastrar cargas pesadas a través del puente.*

FIGURA 120. *Este cruce de relleno blindado de un arroyo fugaz empinado se construyó para brindar un cruce de poco mantenimiento. El cruce se ha hundido profundamente para reducir el volumen de relleno y para eliminar el potencial de desvío del arroyo. El terraplén ha sido blindado mucho por el eje del cruce para contener los flujos de crecida y prevenir la socavación. Los rellenos blindados no pueden utilizarse en arroyos con peces.*

FIGURA 121A. *Las siguientes fotos describen los pasos típicos para construir un relleno blindado. La alcantarilla original de menor tamaño, posada en este arroyo intermitente era propensa al taponamiento de la entrada y erosión de la salida y estaba ubicada en un camino que recibía mantenimiento intermitente únicamente.*

FIGURA 121B. *En el primer paso, la alcantarilla del cruce de arroyo se quita y el relleno se hunde ampliamente en una forma de U utilizando una topadora. El vado debe tener suficiente capacidad para soportar el flujo de diseño de 100 años sin desviarse. El material de desecho se transporta a un sitio de eliminación estable, o se colocar en el acercamiento del camino donde no se erosiona ni ingresa al arroyo. Parte del relleno queda en el cruce para que los vehículos tengan una calzada nivelada para cruzar el canal.*

FIGURA 121C. *Se utiliza una excavadora o retroexcavadora para cavar una ranura de chaveta en la base del relleno, donde el relleno cruza el canal natural, y otra ranura de chaveta en la parte superior del relleno, donde está planificado el borde superior de la superficie del camino. La roca más grande va en la ranura de chaveta inferior, y también se coloca blindaje grueso en la ranura de chaveta superior a través de todo el ancho de la descarga de diseño donde el flujo del arroyo fluye sobre el relleno y por el terraplén blindado. Se coloca tela de filtrado, o una capa de filtrado de rocas pequeñas, en el suelo subyacente para prevenir la erosión o la generación de surcos del suelo debajo del blindaje.*

FIGURA 121D. *Luego se coloca blindaje de rocas en la estructura y se esparce por la extensión del cruce de arroyo en forma de U, y a casi un tercio calzada arriba, para que el flujo del arroyo solo fluya sobre o entre en contacto con material de blindaje resistente. El blindaje se debe esparcir y compactar en todo el ancho de diseño del ancho del canal de flujo de crecida esperado para que los flujos máximos no rodeen la estructura blindada.*

FIGURA 121E. *Dos semanas después de que se construyó este relleno blindado, ocurrió un evento de tormenta y la estructura mantuvo su función y su integridad. Los acercamientos del camino aún no habían sido compactados ni recubiertos con rocas.*

FIGURA 121F. *El mismo relleno blindado como apareció luego de los primeros flujos de crecida invernales. No se requirió mantenimiento para reabrir el camino. También es claro que no es posible ningún desvío en este sitio de cruce de arroyo, y que el volumen de relleno dentro del cruce se ha reducido a la cantidad mínima necesaria para mantener una superficie transitable pareja en este camino de bajo volumen.*

la remoción de las estructuras de drenaje existentes (por ej., alcantarillas o troncos enterrados). Luego se construye una gran zanja en forma de "U" a través del cruce con el ancho y la profundidad suficientes para tener la capacidad esperada para el flujo de crecida máximo de 100 años y evitar el desvío del arroyo.

Como regla general, el ancho del canal blindado en el borde externo del camino sumergido debe ser al menos 5 veces el perímetro mojado de flujo pico de diseño estimado en el canal natural aguas arriba y la profundidad debe ser al menos 1,5 veces mayor a la profundidad del flujo de crecida promedio en el canal natural. Por lo tanto, un canal de arroyo natural con un ancho de flujo pico estimado de 6 pies y una profundidad de 1,5 pies debe tener un relleno blindado de por lo menos 30 pies de ancho y 2,5 pies de profundidad en el borde externo del cruce del camino. El objetivo es contener los flujos de crecida dentro de la parte blindada del cruce sumergido. Cuando se construye un relleno blindado, estos cálculos deben personalizarse para su entorno particular.

A continuación, se excava un prisma ranurado de zanja en el tercio externo de la calzada y por debajo en la base del relleno. Debe ser lo suficientemente ancho como para contener el flujo de crecida de diseño a 100 años. Luego se cava una ranura de chaveta a través del canal en la base del relleno para sostener las rocas de anclaje. También se cava otra ranura de chaveta a través del borde externo de la calzada, donde se colocarán rocas grandes para evitar la erosión en la cabecera del prisma del camino. Las ranuras de chaveta se llenan con un armadura rocosa que ayudará a sostener la armadura aguas arriba. Las piezas más grandes de la armadura deberán colocarse en la chaveta, en la base del relleno y las piezas un poco más pequeñas en la ranura de chaveta en el borde externo del terraplén del camino. La armadura rocosa bien alisada luego es rellenada en las áreas del prisma excavado en el tercio externo de la calzada y en la cara del relleno.

El tamaño del enrocamiento de protección para cruces de relleno blindado debe ser determinado por un profesional con criterio, al igual que la utilización de métodos empíricos publicados que incorporen las condiciones del canal del arroyo existente, como la pendiente del canal del arroyo y la descarga estimada en épocas de crecidas. Como los rellenos blindados son similares a los aliviaderos de rocas, en el sentido de que suelen ser construidos en arroyos con más inclinación y flujos más turbulentos y afectados, la técnica de diseño de aliviaderos de rocas ARS desarrollada por Robinson y otros, 1998, es un buen método para determinar el tamaño de las rocas. Este método se explica en el National Engineering Handbook: Technical Supplement 14C: Stone Sizing Criteria (USDA-NRCS, 2007). La mayoría de las técnicas de determinación del tamaño del enrocamiento de protección diseñan únicamente rocas para pendientes inferiores al 40%; por ello, al diseñar para pendientes más pronunciadas es importante aplicar un factor de seguridad de 1.1 a 1.5 para determinar el tamaño de las rocas según las condiciones del sitio.

Si los suelos son de grano fino, será necesario instalar una tela geotextil en las chavetas antes de rellenar con la armadura. La forma final del camino a través del cruce de relleno blindado debe ser una zanja ancha en forma de "U" con una gradiente plana desde el borde interno hasta el borde externo del relleno. La gradiente plana del camino es importante para evitar la migración remontante de arroyuelos o la formación de un pequeño barranco en el relleno del camino.

Se han utilizado otras estructuras, como mallas de gaviones, barreras Jersey, muros de concreto y troncos, para la construcción de cruces de "relleno blindado". Estas estructuras suelen ser colocadas en sentido vertical en el borde externo del camino y crean una caída de agua en cascada hacia el canal debajo. Ese tipo de estructuras de control de pendiente deben abarcar el ancho del flujo de diseño y tener un ripio de alineación del arroyo de un tamaño suficiente para la descarga de diseño. Es importante que las estructuras se coloquen de manera adecuada y estén empotradas en el canal para evitar rebajes y la falla del cruce, así como la disipación de la energía de la armadura rocosa en la base para evitar rebajes y socavación. Si bien estas estructuras pueden parecer una "corrección rápida y económica", no se recomiendan como soporte estable para cruces de relleno blindado y suelen requerir mantenimiento y vigilancia regular. Estas estructuras deben utilizarse únicamente en entornos de bajo gradiente con arroyos de baja velocidad y mínimo relleno.

Rellenos con alcantarilla—Un cruce de relleno de rocas porosas (un vado con alcantarilla) es un tipo especial de cruce de relleno blindado que se utiliza para cruzar canales de arroyo que son propensos a flujos o torrentes de escombros. Son fabricados con rocas gruesas y transmiten caudales de poca agua a través de alcantarillas empotradas y a través de sus rellenos de rocas gruesas y porosas. Los caudales mayores que superan la capacidad de la alcantarilla y de la roca porosa se transportan a la cubierta endurecida y corriente abajo de la cara del relleno del relleno blindado.

Los mismos pasos básicos se utilizan para construir un relleno con alcantarilla, excepto por el hecho de que se excava un cruce de relleno de roca porosa en el camino (es decir, se excava la mitad del camino) y es rellenado con las rocas más grandes (D_{95}) angulares y bien alisadas disponibles. Este tipo de cruce de relleno blindado busca ser poroso para que el agua pase a través del relleno. Con el tiempo, los huecos en la gran armadura de rocas se obstruirán con sedimentos, volviéndose impermeables, y la mayor parte de los flujos se dirigirán a la parte superior de la estructura. La superficie del camino puede ser tapada con concreto u otro material no erosionable de modo tal que los rebalses no erosionen seriamente el relleno del camino o la cara del relleno durante los rebalses.

Incluso si el cruce se desgasta, la cantidad de sedimentos finos que lleguen sería mínima y tendría un mínimo impacto sobre el hábitat acuático corriente abajo. Es importante que el cruce con relleno de rocas porosas (relleno con alcantarilla) se instale en sitios cuesta arriba o en cabeceras en los que los caudales sean más bajos y los cruces puedan permanecer intactos y no se desgasten.

6. VADOS

Los vados son cruces de arroyos en los que los vehículos pasan sobre el lecho del canal del arroyo (es decir, no hay ningún relleno colocado por el hombre en el lecho del cauce ni sobre él). Los vados funcionan bien en arroyos pequeños o medianos en los que el fondo del arroyo es estable y el tráfico es liviano. Sin embargo, se debe evitar la "construcción" de vados y otros cruces de arroyos sin mejoras en caminos muy transitados en los que el agua fluye regularmente debido a su posible impacto en la calidad del agua. En ciertas situaciones, en las que las crecidas repentinas, los picos de crecida de temporada alta o escombros flotantes son un problema, los vados podrían ser una solución práctica para caminos de bajo volumen.

Los vados de arroyos vivos, llamados "vados húmedos", suelen estar compuestos de gravas del lecho o estructuras de concreto construidas en contacto con el lecho para que los vehículos puedan cruzar el canal (Figura 122).

FIGURA 122. *Vado húmedo en un arroyo perenne Clase II (sin peces). El blindaje de roca gruesa que se ha cementado en el lugar brinda disipación de energía y protege el borde exterior de la calzada endurecida. Los vados no deben usarse si los flujos altos de la temporada húmeda cortan el acceso para inspeccionar y mantener las estructuras de drenaje en el camino. Los vados endurecidos, sin ventilación, también pueden obstruir el paso de peces.*

Dentro de lo posible, se debe seleccionar una parte estable y rocosa (o basamento rocoso) del canal para la ubicación del vado. **Los vados más simples son los de los caminos de bajo volumen, en los que el tránsito ocasional pasa sobre un lecho endurecido naturalmente compuesto de lechos de roca o adoquines.** Si el lecho en el lugar del cruce no es lo suficientemente duro, los vados pueden ser fortificados o construidos a partir de drenajes de zanjas permeables de adoquines y cantos rodados gruesos importados. Los flujos bajos de verano se filtran a través de relleno y las grandes descargas de agua fluyen sobre la parte superior sin socavación o retirando la capa de la armadura. Es posible que se requiera cierto mantenimiento después del invierno o después de las estaciones húmedas. En situaciones extremas, sin embargo, el vado puede desgastarse por completo y debe ser reconstruido. Los vados permeables o de concreto podrían actuar como una barrera para la migración de los peces juveniles o adultos y no se deben utilizar en canales con peces.

Los vados pavimentados (endurecidos) que cruzan arroyos vivos podrían ser necesarios para mantener la calidad del agua si el camino tendrá tráfico regular. También se los denomina "cruces de Arizona" por su uso prevalente como cruces de vados en los lechos secos en el sudoeste desértico de los Estados Unidos. Los vados se componen de una placa de concreto con una leve forma de plato construida en el canal del arroyo que tiene una extensión suficiente a cada margen como para contener los flujos de crecida de diseño (es decir, el perímetro mojado para el flujo de crecida de diseño [100 años]).[12] A veces pueden contener suficiente material de relleno debajo del concreto como para mantener una superficie de guía nivelada. Corriente abajo del vado, se construye una plataforma de descarga o disipador de energía para evitar la socavación y el debilitamiento durante los flujos de crecida altos y la misma debe extenderse a todo el ancho del perímetro mojado del flujo de crecida a 100 años (Figura 123).

12 No se suelen observar vados endurecidos construidos para contener el flujo de crecida de 100 años o incluso el flujo de crecida de 20 años. La mayoría de los vados endurecidos se desbordan y son flanqueados por escorrentías debido a la falta de profundidad del eje del arroyo y al ancho limitado del cruce endurecido y sumergido. Muchos de esos vados se encuentran en el fondo de valles o en llanuras, en las que los canales no son profundos y las crecidas pueden abarcar la totalidad del valle.

Los vados han sido diseñados para el paso de sedimentos y escombros durante las crecidas. Lamentablemente, los vados de concreto suelen tener mucha socavación alrededor de sus bordes debido a la falta de capacidad (en cuanto a la profundidad y al ancho) o porque la coraza no fue colocada en el ancho total del canal del flujo de crecida, con lo cual en ocasiones el vado queda elevado y se vuelve infranqueable. Las estructuras de vados endurecidos a veces se trasladan corriente abajo por grandes flujos de crecida tras la erosión de los desagües y la socavación de la estructura.

Los vados con alcantarilla también pueden construirse con una alcantarilla empotrada en la estructura de concreto o endurecida para controlar los flujos de temporada baja. Se pueden construir vados, especialmente vados con alcantarilla, para trasladar grandes flujos de crecida y grandes cantidades de escombros y aún así ajustarse al pasaje de peces. En los arroyos que contienen peces durante alguna parte del año, el pasaje de peces suele verse obstruido durante los flujos bajos, salvo que se instalen alcantarillas de ventilación empotradas en el concreto de base. Salvo que la relación de ventilación y área sea amplia (Figura 75), los vados con ventilación suelen requerir un mantenimiento regular para limpiar los escombros de las entradas de las alcantarillas. Cuanto mayor sea la alcantarilla de ventilación, en comparación con el ancho del arroyo, habrá menores probabilidades de que se tapone con escombros .

Salvo que tengan una base rocosa y alrededores endurecidos, la mayoría de los cruces de vados son vulnerables a la erosión y pueden provocar contaminación de diversas fuentes. Los altos niveles de tránsito o los grandes flujos de agua pueden causar erosión de los materiales del lecho naturales y artificiales (Figura 124). Los materiales colocados en el arroyo o trasladados por el tránsito de vehículos pueden crear una barrera para la migración de los peces. El pasaje de vehículos a través de los vados cuyos fondos del canal tengan sedimentos finos crean columnas de turbidez con cada pasaje. Los cruces de vados en aguas profundas pueden provocar la liberación de productos grasos de los vehículos que pasan por un vado húmedo.

Los vados siempre son el punto más bajo en la alineación de un camino, en donde cada lado del camino cae dentro del canal y luego vuelve a subir. Salvo que los alrededores tengan una gran cantidad de rocas o estén pavimentados, e

FIGURA 123. *El flujo de este vado endurecido es de derecha a izquierda. La disipación de energía de flujo bajo se ha construido en el centro de la estructura, pero los flujos de crecida altos han socavado la base del vado de concreto en el fondo. Tanto el vado endurecido como el disipación de energía aguas abajo deben ser lo suficientemente amplios como para incluir y contener el flujo de crecida de diseño de 100 años esperado.*

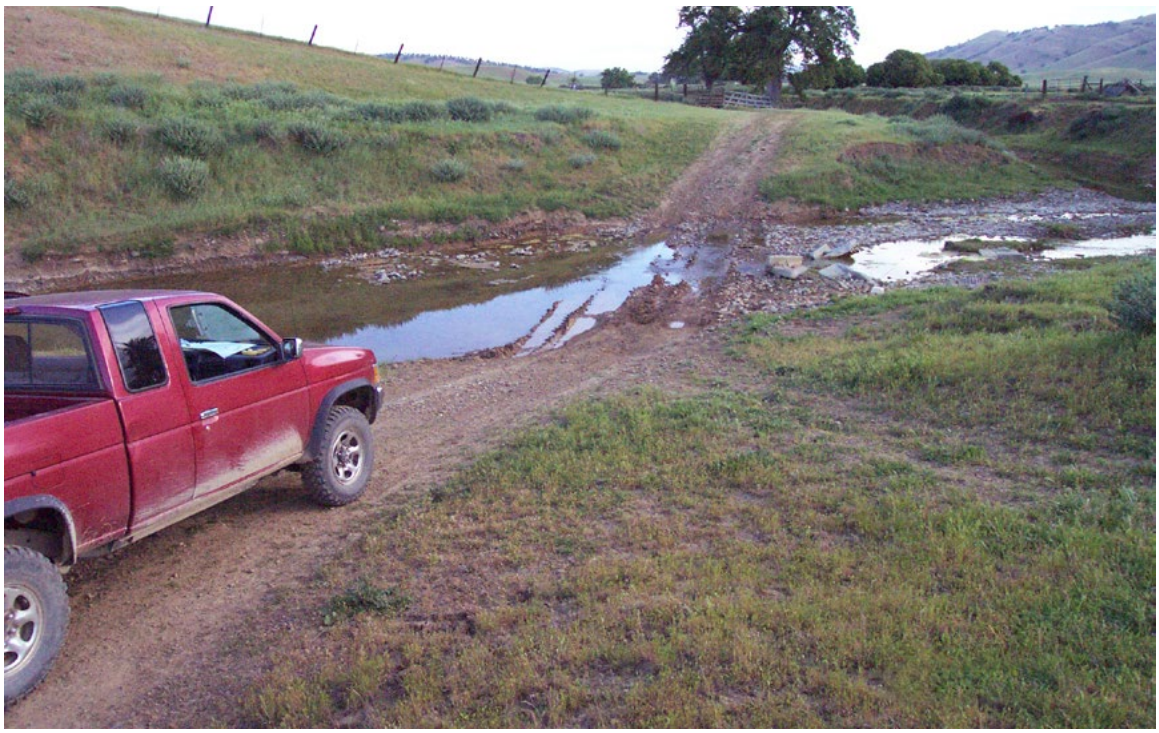


FIGURA 124. *Este cruce de vado sin mejorar de un arroyo intermitente estaba mal ubicado en una parte del canal que tenía un lecho fino y erosionable. Los esfuerzos para estabilizar el fondo del canal con rocas y pedazos de concreto no han tenido éxito. En este canal que tiene peces se libera una columna de turbidez con cada cruce.*

hidrológicamente desconectados, las lluvias y la escorrentía erosionarán la calzada y transportarán los sedimentos finos directamente al arroyo en el lugar del cruce (Figura 125). Los canales de arroyos profundos con márgenes requieren la excavación de importantes rampas para que los vehículos vayan por debajo del lecho. Salvo que reciban una protección similar, estas rampas de corte suelen ser sitios con una superficie sustancial y erosión de arroyuelos, lo que provoca la erosión de los sedimentos y el ingreso de escorrentía turbia al arroyo durante los períodos de fuertes lluvias.

En los arroyos pequeños, de poca profundidad, fugaces e intermitentes, se podría necesitar un vado si el canal no tiene profundidad suficiente como para instalar una alcantarilla. De hecho, en ciertos canales de poca profundidad y cursos de agua pequeños, es preferible un vado ondulante superficial revestido de rocas con una cara de vado de rocas a una alcantarilla permanente. **Los vados y los rellenos blindados tienen la ventaja de que nunca se taponan, en comparación con los rellenos entubados.** Los vados en pequeños arroyos deben tener una armadura rocosa para evitar la erosión de la superficie del camino en caso de escorrentía. **Lo que a veces se denomina vado "sin mejoras", en donde el canal de un arroyo ha sido rellenado con una cantidad sustancial de suelo y no es protegido por una armadura o superficie rocosa, es un cruce que requiere gran mantenimiento y pone en riesgo la calidad del agua. Se debe evitar la construcción de este tipo de vados.**

7. CRUCES DE ARROYOS TEMPORALES

Los cruces de arroyos temporales se utilizan para brindar acceso por corto plazo a un área. Los cruces temporarios deben ser instalados cuando un camino temporario

FIGURA 125.
Además del cruce de vado real, el acercamiento al camino también ayuda a la contaminación de sedimento a menos que esté pavimentado o recubierto con roca pesada. Los vados siempre son puntos bajos en el camino, para que la escorrentía de los segmentos conectados se entregue directamente al canal del arroyo.

propuesto cruza el canal de un arroyo, sin importar su tamaño. **Cualquier canal de arroyo o fuente de agua con una estructura de drenaje en un camino permanente debe recibir una estructura de drenaje temporal en un camino temporario.** La estructura debe ser capaz de trasladar la descarga esperada del canal durante la/s estación/es en las que deba permanecer instalada. **Si un cruce de arroyo debe permanecer instalado durante el invierno o la estación húmeda (que comienza el 15 de octubre en el norte de California), debe ser diseñado y construido para que pasen los flujos de crecida para la escorrentía de diseño de 100 años, así como las cargas de escombros y sedimentos, como si se tratara de una estructura de cruce de arroyo permanente.** Las técnicas específicas para la construcción de cruces de arroyos temporales se explican en el Capítulo 5.

En los caminos temporales, solo se aceptan cruces temporales. Los vados secos que se eliminan tras operaciones de utilización de la tierra y antes de comenzar la estación húmeda son adecuados para canales secos. Para arroyos vivos, se necesita un cruce más sustancial. Pueden construirse con diversos materiales, incluso rellenos entubados, cruces de troncos, combinaciones de troncos y tubos, fardos de paja sobre tubos y troncos y puentes temporales de troncos o vagones plataforma (Figura 126). Cuando los canales son húmedos o profundos, se deben utilizar alcantarillas temporales, rellenos de tronco temporarios o puentes temporarios. En general, los rellenos de tronco (con o sin alcantarillas) y los puentes portátiles pueden ser instalados, utilizados y retirados sin provocar grandes daños en las márgenes o en el lecho del canal.

Es importante que se conserve el nivel de base original del canal del arroyo cuando se retira un cruce temporal luego

FIGURA 126. *Este pequeño cruce temporal de troncos está construido con una alcantarilla en su base, con troncos, bardas de paja y finalmente material de recubrimiento del camino arriba. Se puede utilizar una tela geotextil en vez de paja para brindar separación entre el arroyo y los materiales suprayacentes del camino. Idealmente, los materiales de recubrimiento del camino deben ser roca o grava limpias (no tierra) que no afecten adversamente la calidad del agua si algo pasa al arroyo. Los cruces temporales se deben quitar antes de cada temporada de clima húmedo.*

de finalizar las operaciones. A tal fin, se suele utilizar un "marcador", compuesto de varias pulgadas de paja, o de otro marcador distintivo colocado en el lecho del canal, para identificar el lecho del canal natural antes de colocar troncos o relleno para un cruce temporal en el canal. La re-excavación del cruce para esta finalidad es relativamente simple.

Una categoría especial de cruce de arroyo temporal es el cruce en estiaje, que suele instalarse para el tránsito de vehículos durante el verano en grandes arroyos de corriente perenne y en pequeños ríos durante los flujos bajos del verano (Figuras 127a y 127b). Estos cruces suelen estar compuestos de gravas de lecho que han sido subidas a ambos lados del canal de bajo flujo con una o más alcantarillas o un puente temporal utilizado para transportar el caudal. Sólo se utilizan gravas limpias en su construcción y no se puede introducir nuevo suelo ni sedimentos finos en el canal ni en la llanura. El cruce de bajo flujo y las alcantarillas (o el puente) deben retirarse antes de que comiencen a caer las primeras lluvias que aumentarán el flujo del río. Se debe considerar el pasaje de peces en el diseño del cruce de bajo flujo de arroyos con peces para que los peces juveniles y adultos puedan pasar a través de la estructura. Los puentes temporales de vagones plataforma suelen utilizarse para abarcar la totalidad o parte del canal de bajo flujo en lugar de usar alcantarillas en lugares donde hay peces. Al igual que las alcantarillas, el puente temporal debe ser retirado antes de la temporada de lluvias.

FIGURA 127A. *Cruce de agua baja estival de un río perenne Clase I (con peces). Se ha utilizado material grueso y limpio del lecho del cauce para subir por sobre el agua que fluye. Se han instalado dos alcantarillas incrustadas al nivel del agua para permitir el flujo ininterrumpido y la migración de peces jóvenes.*

FIGURA 127B. *Se debe utilizar un cruce de puente temporal donde peces adultos o juveniles migratorios deben pasar debajo del cruce. Este cruce de puente temporal cubre el canal estival y el contrafuerte del canal está compuesto totalmente de grava limpia del arroyo. Todos los cruces de arroyo de agua baja temporales se deben quitar antes de las primeras lluvias estacionales.*

5 CONSTRUCCIÓN

A. INTRODUCCIÓN A LA CONSTRUCCIÓN

La fase de construcción de un proyecto de camino se produce cuando las decisiones de planificación y diseño son implementadas en el terreno. Para cumplir con la norma de caminos prevista, y para provocar el mínimo impacto en el medio ambiente, cada fase de la construcción del camino debe ejecutarse de conformidad con los planes formulados. La ejecución inadecuada de los planes, sin importar la calidad del diseño, puede generar un camino de construcción deficiente y provocar un serio impacto sobre la cuenca fluvial y el medio ambiente. En general, dichos resultados de baja calidad suelen ser provocados por supervisores sin capacitación o sin conocimientos u operadores inexpertos y no por deficiencias en el diseño. Por lo tanto, los conocimientos y la experiencia de los supervisores y de los operadores de los equipos seleccionados para llevar a cabo el proyecto de camino son determinantes para lograr el éxito.

La construcción siempre debe incluir cierto grado de inspección y control de calidad. Los planos y diseños podrían requerir modificaciones durante la construcción a medida que se detectan condiciones cambiantes en el campo. Los cambios menores en el trabajo previsto pueden ser realizados en el campo por supervisores y operadores de equipos con experiencia. Sin embargo, los cambios sustanciales en la alineación del camino o en el diseño del camino y del drenaje sólo pueden ser realizados por personal calificado y pueden requerir permisos adicionales de las agencias regulatorias.

B. SELECCIÓN DE CONTRATISTAS

Los contratistas o el personal de construcción de la empresa pueden hacer o deshacer un proyecto de construcción de camino, sin importar cuál era el diseño y el proyecto original. El trabajo puede ser tan simple como un camino de acceso rural de baja calidad a una o más propiedades, o tan complejo como un camino forestal o rural que cruza una topografía empinada para fines de administración de la tierra y los recursos. Para garantizar un proyecto de construcción de calidad debe contar con supervisores y personal

de construcción calificados y con experiencia y con los equipos pesados adecuados para el trabajo.

Puede contratar a personal de construcción confiable, de alta calidad y rentable mediante la firma de contratos en el mercado local o como parte del personal de la empresa contratado por el terrateniente o administrador de tierras que administra sus propiedades. Para contratar a un buen contratista o personal de equipo debe tener en cuenta diversos atributos:

- El contratista debe ser financieramente solvente y poder llevar a cabo el trabajo y recibir el pago en cuotas hasta la finalización del trabajo.
- Debe poder firmar una garantía de cumplimiento para el trabajo (si es necesario) y debe mantener o poder obtener todos los demás permisos y seguros que sean requeridos o aconsejables.
- El contratista y sus operadores deben tener una excelente reputación dentro del mercado de contratistas local, o internamente dentro de la organización en la que trabaja; deben ser considerados contratistas y operadores "preferidos" para este tipo de trabajo.
- El contratista y sus empleados forman parte de un equipo que trabaja en colaboración y deben estar dispuestos y ser capaces de recibir instrucciones y poder seguir planos y especificaciones preparados por otras personas.
- El contratista debe ser reconocido por trabajar duro y por completar su trabajo en los proyectos a tiempo y respetando el presupuesto; sus honorarios deben ser competitivos dentro del mercado local.
- El contratista debe contar con supervisores y operadores de equipos con amplia experiencia para su trabajo en particular durante el plazo de vigencia del contrato.
- Los operadores deben estar capacitados y tener experiencia en la utilización de los equipos necesarios para el trabajo y cada operador debe tener experiencia en el uso de varios tipos de equipos pesados (especialmente para los equipos claves, como excavadoras y topadoras).
- El contratista tiene los tipos de equipos necesarios y especificados para el trabajo en particular, lo que incluye el tamaño de los equipos, sus funciones y capacidades específicas, o pueden rentarlos con facilidad.
- Los equipos del contratista deben ser modernos y estar bien mantenidos; no deben tener pérdidas de líquidos de petróleo.
- El contratista debe tener experiencia en la construcción o reconstrucción de caminos similares en terrenos similares.
- El contratista debe tener antecedentes exitosos en otros trabajos de diseño específicos similares al trabajo convocado o esperado en el proyecto propuesto.

Al postularse para el trabajo, se le podría solicitar a los contratistas que brinden referencias profesionales de trabajos similares que hayan realizado para otros clientes. Frecuentemente, las recomendaciones personales pueden brindar información útil acerca de los contratistas locales. Sin embargo, debe solicitar una carta de recomendación y propuestas de presupuesto para el trabajo que está solicitando. En la carta de recomendación, debe solicitar un listado de nombres, calificaciones y experiencia de su personal clave de supervisión y de sus operadores claves con una lista de proyectos similares recientes que hayan realizado. Consulte con el organismo de expedición de licencias del contratista para saber si tiene antecedentes de violaciones.

Además, puede optar por identificar en una lista lo que considera como las especificaciones de equipos pesados deseados o mínimos necesarios para este proyecto y solicitarle al contratista que indique los equipos que propone utilizar para el proyecto. El listado de equipos debe identificar la marca, el modelo y el año de cada equipo pesado propuesto para el proyecto, sus especificaciones y accesorios y cualquier otra información

de rendimiento que se considere relevante (por ej., una topadora con cuchilla de 6 posiciones y cilindros hidráulicos traseros). Asegúrese de que el contratista tenga todo el personal secundario y los equipos secundarios que sean necesarios, como obreros, elevadores de paja, compactadores vibratorios portátiles, kits de respuesta para derrames de emergencia (para derrames accidentales de combustible), equipos de control de incendios y planes de prevención de accidentes.

Es importante tener una relación de trabajo positiva con el contratista y con los operadores que trabajarán en el proyecto. La comunicación abierta y clara es muy importantes y una cadena de comando en el lugar de trabajo ayudará a que todo funcione sin problemas.

C. PLAZO

El plazo del proyecto depende de diversos factores, como por ejemplo: su disposición para realizar el trabajo; la obtención de los permisos necesarios por parte de las agencias regulatorias; las restricciones regulatorias de temporada que puedan existir para ciertas operaciones; y las condiciones ambientales más favorables o el período más favorable para realizar el trabajo. Si bien el trabajo de planificación, diseño y reconocimiento de campo puede realizarse en cualquier momento del año, la correcta sincronización de cada fase de construcción del camino es fundamental para el éxito del proyecto.

Las regulaciones de muchas áreas restringen ciertas operaciones (como la construcción o reconstrucción de cruces de arroyos) en determinados momentos del año, sin importar cuán favorables puedan ser las condiciones durante otros períodos de tiempo. Consulte con las agencias regulatorias adecuadas en su área para saber si las operaciones de construcción o reconstrucción del camino propuesto en su área tienen restricciones de temporada obligatorias.

Una vez que determine la temporada en la que puede llevar a cabo las operaciones (Tabla 4), asegúrese de obtener los permisos necesarios para realizar el trabajo. Esto podría incluir permisos forestales para corte de árboles, permisos de preparación de terreno para movimiento y remoción de tierras, permisos para la construcción de cruces de arroyos, así como permisos para alterar humedales, operar cerca o dentro del hábitat de plantas y especies en peligro de extinción y abstención de uso de recursos históricos y arqueológicos. Estos y otros estudios, y los estudios o revisiones de campo necesarios para respaldarlos y obtenerlos, podrían demorar un año o más en ciertas áreas. Realice bien su tarea antes de comenzar con un proyecto, a fin de garantizar que el proyecto sea viable y pueda ser construido cuando sea necesario.

Las condiciones ambientales también definen los tiempos del proyecto. El tiempo en el cual se puede realizar cada actividad de construcción (limpieza, desbroce, quema, excavación y nivelación, compactación, instalación de cruces de arroyos y pavimentación) varía. Por ejemplo, la programación de actividades de construcción de caminos en áreas empinadas para los meses más secos puede ser una medida de control efectiva del deslizamiento de tierras. De manera similar, si el proyecto tiene numerosos cruces de arroyos, sería mejor esperar a que los arroyos se sequen o, al menos, alcancen su caudal estacional más bajo antes de perturbar el canal. **Los caminos deben construirse en el momento del año en el cual se puedan lograr los mejores resultados con el menor daño ambiental** (Tabla 4).

La limpieza (el corte y la extracción de árboles y la limpieza del derecho de vía) puede realizarse en cualquier momento, siempre que el clima permita que el personal de campo pueda cortar la vegetación y que los equipos puedan agruparla o clasificarla en un lugar de almacenamiento. En las áreas forestadas, el personal de talas puede cortar la vegetación a lo largo del trazado hasta un mes antes de que los equipos estén disponibles para la extracción de los materiales. La extracción de árboles y vegetación provoca una perturbación del suelo y debe limitarse a momentos en el suelo esté razonablemente seco y haya muy bajas probabilidades de tormentas. Asimismo, el desbroce (la eliminación del material orgánico de la superficie del suelo, incluyendo la eliminación de tocones) debe realizarse únicamente en momentos en que el riesgo de erosión de las áreas perturabadas sea mínimo, pero lo antes posible para que pueda aprovechar la humedad del suelo y trabajar con mayor facilidad.

La nivelación (la excavación y creación del levantamiento del camino) crea grandes extensiones de suelo desnudo y, por lo tanto, debe realizarse únicamente durante la primavera seca, el verano o a principios del otoño. Para lograr una compactación adecuada de los materiales de relleno utilizados en los cruces de arroyos, plataformas y levantamientos de caminos de corte y relleno, la mayoría de los suelos deben tener una humedad adecuada. Los suelos rocosos de textura gruesa pueden colocarse en condiciones relativamente secas. Se podría requerir regado mediante un camión cisterna para lograr una compactación adecuada de los materiales de relleno a medida que se distribuyen y compactan. En general, los suelos de textura fina demasiado secos o demasiados húmedos no pueden compactarse lo suficiente como para generar la resistencia de suelo necesaria para soportar camiones con carga o para permanecer estables en pendientes empinadas. Si los suelos están demasiado húmedos, debe esperar a que sequen y si están demasiado secos deben ser regados para lograr buenos niveles de humedad para una compactación adecuada. Es posible que encuentre áreas locales problemáticas que requieran un tratamiento de secado o regado. Un ingeniero o geólogo calificado puede reconocer las condiciones de humedad inadecuadas del suelo mediante pruebas de campo sencillas.

La instalación de cruces de arroyos, y la reconstrucción (mejora) de los cruces de arroyos existentes, es una de las tareas más sensibles de la construcción de caminos. **El momento de instalación de los cruces de arroyos es esencial para mantener y proteger la calidad del agua.** Se requiere una correcta sincronización para lograr buenos resultados; si se trabaja de manera incorrecta, se podría afectar la calidad del agua y los sistemas acuáticos en las áreas corriente abajo. La sincronización también es importante para los sectores pesqueros en muchas cuencas. **El trabajo debe realizarse lo más rápido posible durante el período seco del verano, cuando los caudales están en su nivel mínimo (o el canal se ha secado) y la perturbación del suelo y el riesgo de sedimentación son mínimos.** Si los arroyos fluyen, se necesitarán métodos de aislación adecuados para garantizar que la calidad del agua no se degrade durante el trabajo de construcción del cruce del arroyo.

Todas las actividades de construcción de caminos, incluso la instalación de cruces de arroyos y el trabajo de control de erosión, deben realizarse antes del comienzo de la temporada de lluvias (15 de octubre en las operaciones forestales en California). La nivelación final y la instalación adecuada de las estructuras de drenaje del camino son fundamentales para minimizar el riesgo de erosión del nuevo camino durante el primer invierno. Asimismo, todos los cruces de arroyos temporales deben ser eliminados y se deben instalar todas las medidas de control de erosión antes de que comiencen las lluvias. En muchas áreas, existen requisitos regulatorios adicionales en vigencia para las operaciones forestales o los trabajos de construcción realizados en cualquier momento durante el invierno o la temporada de clima húmedo. Esto incluye el desarrollo de un "plan de operaciones invernales" que contiene detalles del uso de la tierra propuesta y las actividades que se llevarán a cabo para evitar la erosión. Por ejemplo, durante la temporada seca puede adelantar trabajo para controlar la erosión ya que las posibilidades de que se produzcan lluvias y una consiguiente erosión son mínimas. Sin embargo, si se le permite trabajar durante la temporada de clima húmedo, o cerca de sus márgenes, las regulaciones y su plan de trabajo podrían requerir que todas las áreas de suelo desnudo sean adecuadamente drenadas y protegidas con medidas de control de erosión adecuadas en forma simultánea a las operaciones de construcción.

D. EQUIPOS NECESARIOS PARA CONSTRUCCIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

La construcción es la aplicación o implementación del diseño del camino en el campo. El seguimiento adecuado del diseño durante la construcción depende de la habilidad, la experiencia y el compromiso de los operadores de equipos y del tipo, tamaño y capacidades de los equipos pesados utilizados para cada tarea. Por ejemplo, la construcción de un camino en balcón con material de residuos acopiados requiere de equipos de excavación adecuados. No es adecuado usar un tractor, especialmente en pendientes moderadas o empinadas. De manera similar, si no se cuenta con un operador de equipos calificado,

existe un gran riesgo de que se produzcan errores costosos o de que se cause un daño ambiental.

En áreas empinadas o montañosas, suele ser un grave error diseñar el camino utilizando los equipos que posee o tiene para trabajar. **Los caminos deben diseñarse teniendo en cuenta principalmente la estabilidad y deben construirse usando los tipos de equipos requeridos por el diseño del camino y el entorno ambiental.**

La mejora de caminos abiertos y mantenidos es, quizás, la tarea más complicada en la mayoría de las áreas de cuencas fluviales. En general, para esta tarea se necesitan excavadoras, topadoras y autovolquetes, con la ayuda de niveladores de caminos, compactadores vibratorios, camiones cisterna y equipos pesados pequeños para tareas especializadas. **Las tareas de mejora de caminos más comunes incluyen el mejoramiento de cruces de arroyos, la excavación o estabilización de terraplenes inestables y la dispersión (desconexión hidrológica) del drenaje de la superficie del camino.**

La reconstrucción de caminos abandonados, no mantenidos o descuidados suele comenzar con la eliminación de la vegetación y las tareas de nivelación realizadas por tractores o excavadoras. Sin embargo, al igual que en la construcción de caminos, es muy importante usar los tipos de equipos pesados adecuados cuando se encuentran situaciones más complicadas (Tabla 29). Por ello suele recomendarse el uso de equipos de excavación para la reconstrucción de caminos abandonados, especialmente si los antiguos caminos se construyeron cerca de un arroyo o dentro de una zona de protección de cursos de agua (Figura 128).

Cuando los cruces de arroyos han sufrido un desgaste parcial o total, se podrían necesitar excavadoras hidráulicas para reinstalar alcantarillas mejoradas y colocar y compactar relleno. Se podrían requerir cargadores y autovolquetes para la eliminación de escombros si el camino se encuentra bloqueado por fallas de canaletas.

E. LIMPIEZA Y DESBROCE

El eje del camino, o la demarcación del corte y relleno, se deben marcar en el terreno antes de realizar la limpieza. Los límites cuesta abajo y cuesta arriba del derecho de vía también deben marcarse o demarcarse para identificar los límites de eliminación de vegetación para el personal y los operadores de equipos que realizarán la limpieza. Esto ayudará a prevenir la limpieza excesiva. Los árboles y demás vegetación se deben talar y cortar en largos manejables. Además de la limpieza del derecho de vía, en ese momento también se deben talar y cortar los obstáculos peligrosos y los árboles inseguros. **Se deben dejar los árboles y arbustos que**

TABLA 29. Configuraciones y combinaciones de equipos adecuados para distintos tipos de métodos de construcción y mejora de caminos

Tipo de camino genérico	Características de las laderas	Tipos de equipos típicos
Vertido (corte y vertido)	Leves (<35%); estables, lejos de arroyos	Tractor; nivelador; camión cisterna
	Moderadas (<55%); estables, lejos de arroyos	Excavadora y tractor, o tractor; nivelador; camión cisterna
Corte y relleno (con compactación)	Leves (<35%)	Excavadora y tractor; nivelador; camión cisterna
	Moderadas a empinadas, cerca de arroyos (35–55%)	Excavadora o excavadora y tractor; nivelador; camión cisterna
En balcón (corte)	Todas las pendientes	Excavadora; autovolquetes; tractor; nivelador; camión cisterna
Relleno temporal (estribado)	Moderadas a empinadas	Excavador y tractor
Reconstrucción	Todas las pendientes	Excavadora; tractor; cargador; autovolquetes; nivelador

FIGURA 128.
Tal vez el equipo de construcción de caminos más versátil de la actualidad es la excavadora hidráulica. Los caminos de bajo impacto pueden construirse de manera rápida y eficaz utilizando este tipo, ahora común, de equipo para movimiento de tierras. Los caminos construidos exclusivamente utilizando bulldozers para el corte y vertido lateral del material del suelo se limitan más a gradientes de laderas menores a alrededor del 35 por ciento y a áreas en las que los canales del arroyo no están cerca. Las excavadoras son de diferentes tamaños y se suele preferir la excavadora de mayor tamaño que sea adecuada para el entorno de trabajo físico.

crecen en la base de los terraplenes propuestos y el derecho de vía debe tener el ancho mínimo necesario para el uso planificado del camino.

Durante las tareas de desbroce de la superficie, se deben eliminar los tocones del prisma del camino y de cualquier lugar donde se depositará relleno o material de vertido (Figura 129). **Se debe evitar la combinación de tocones y otros residuos vegetales en el relleno del camino** ya que los huecos que se forman cuando se descompone la madera reducen la estabilidad del relleno. Los pequeños desechos de madera y las ramas pequeñas no suelen generar problemas, pero se deben eliminar y desechar de manera segura todos los trozos, troncos y desechos que tengan más de 3 pulgadas de diámetro y 3 pies de largo. **En el caso de pendientes con una gradiente que supere el 35%, la capa orgánica en la superficie del suelo debe ser perturbada sustancialmente o retirada antes de la colocación o el vertido del relleno.** Esto ayudará a garantizar un buen vínculo friccional entre la superficie del suelo nativo y el relleno que es colocado y compactado en la parte superior.

Los troncos de descarte y los desechos gruesos pueden apilarse en fila (denominada "camellón") en paralelo al camino en la base del relleno propuesto. Cuando se realiza antes de la construcción del camino, esta práctica puede controlar de manera efectiva el movimiento de sedimentos de vertido lateral y ofrecer una manera económica y ecológica de eliminar desechos del camino. Esto es especialmente útil cuando el camino se construye cerca del canal de un arroyo. Los descartes deben ser compactados en la superficie del terreno para aumentar el contacto y se debe limitar la altura, el ancho y el largo de las pilas de camellones para permitir la migración de la vida silvestre a través del corredor del camino.

Si se utiliza una excavadora para las tareas de limpieza y desbroce, se pueden colocar troncos comercializables sobre la parte superior de las pilas de desechos de camellones para la recolección y carga cuando el camino es transitable para grúas forestales y camiones forestales. Esta práctica reduce los costos de uso de grúas forestales y hace que el proceso de limpieza sea más eficiente. Si parte de los desechos acumulados serán quemados, se deben respetar las regulaciones estatales sobre incendios y se deben obtener los permisos del Departamento Forestal y de Protección contra Incendios o de su departamento de bomberos local.

FIGURA 129.
Las excavadoras hidráulicas se han convertido en el equipo de movimiento de tierras preferido para la construcción de caminos forestales. Aquí una excavadora está despejando y desbrozando el trazado para un nuevo camino forestal. Todo el material orgánico debe ser retirado del trazado y no se deben incorporar escombros leñosos en los materiales del relleno.

F. NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN

La mayoría de los caminos forestales y rurales se construyen mediante la excavación de una calzada a partir del terreno en pendiente natural. Por lo tanto, se requiere nivelación cuando se excava la mayor parte del suelo y se producen perturbaciones. Para el ancho de un camino, cuanto más empinado es el suelo mayor será el volumen del suelo que debe ser excavado o desplazado durante la construcción del camino (Tabla 15). El diseño y la disposición del camino (las marcas y demarcaciones en el terreno, junto con los planos y mapas) le indican a los operadores de los equipos el trazado correcto, los taludes de corte adecuados y la inclinación que debe tener el nuevo camino. Puede solicitar a los operadores que construyan caminos mediante métodos de vertido lateral en terrenos con poca inclinación, que usen corte y relleno (con compactación real) en pendientes moderadas y que usen técnicas de construcción en banco en pendientes empinadas o cuando la construcción del camino se realice cerca de canales de arroyos, lagos o humedales.

1. CONSTRUCCIÓN DE VERTIDOS LATERALES

En la construcción de vertidos laterales, el bulldozer comienza en la parte superior del talud de corte propuesto, excavando y vertiendo el material hasta lograr la pendiente y el ancho de camino deseados. El material es empujado o "desviado" enfrente del filo a áreas en las que el relleno es necesario (Figura 130). El relleno de la carretera se utiliza para cubrir alcantarillas y crear áreas planas o bajas a lo largo del trazado. Como el relleno de los vertidos laterales debe soportar el tránsito, debe ser distribuido y compactado lo mejor posible para desarrollar suficiente resistencia. Lamentablemente, este método común de construcción de caminos con vertido lateral o "en sentido descendente" no puede compararse con los métodos de compactación de ingeniería estándar en los que el relleno es colocado y compactado en finas capas.

En la construcción de vertido lateral, la mayor parte de los escombros baja por la pendiente por debajo de la calzada final y no puede compactarse ni contenerse de manera adecuada. Por este motivo, **los métodos de construcción de vertido lateral no son adecuados en pendientes empinadas o moderadas (en especial cerca de canales**

FIGURA 130. *Camino construido mediante corte y vertido lateral (camino de corte y relleno) en una ubicación de ladera superior. Una hilera de troncos y residuos orgánicos a lo largo de la base de un talud de vertido lateral puede ayudar a contener y filtrar el suelo erosionado del terraplén flojo. El suelo debe ser vertido lateralmente sobre taludes suaves o moderados que hayan sido despejados y desbrozados de vegetación y donde el material no pueda ser erosionado y transportado a un arroyo.*

de arroyos) en los que el material suelto puede saturarse durante la estación húmeda y erosionar o deslizar aún más cuesta abajo. Durante la construcción de vertido lateral, es fundamental que el material de vertido lateral o los escombros estén lejos de los arroyos y no sean colocados en un lugar que pueda erosionarse y entrar en contacto con un curso de agua.

La construcción de un camino puede aumentar el riesgo de sufrir un deslizamiento de tierras si:

- Se forman **pendientes muy pronunciadas** con el material de vertido lateral.
- **Se sobrecargan las pendientes** mediante el agregado de material de vertido lateral y de relleno.
- **Se altera el drenaje de la ladera** mediante el bloqueo o redireccionamiento del movimiento de aguas superficiales o subsuperficiales a terraplenes o suelos inestables.
- **Se retira material o se recorta** el pie de una pendiente empinada o potencialmente inestable.

Como regla general, en terrenos con pendiente moderada y empinada se debe mantener el vertido lateral en todos lados a menos de tres pies de profundidad, medido en perpendicular a la superficie original del terreno. Dentro de los 400 pies de un curso de agua, aproximadamente, el vertido lateral debe reducirse a aproximadamente 30 pies del borde del camino. Esto minimizará el riesgo de que se produzcan deslizamientos de tierra superficiales y fallas en la pendiente que trasladen sedimentos a los canales del arroyo. Los caminos construidos dentro de una zona de protección de arroyos, o los caminos que cruzan pendientes moderadas o empinadas que se extienden, sin un aplanamiento importante, cuesta abajo a un canal de un arroyo o a otro cuerpo de agua no deben tener un vertido lateral de más de 1 pie de espesor y deben rebajarse a aproximadamente 10 pies del camino.

La sobrecarga y la formación de pendientes muy pronunciadas en taludes que ya eran pronunciadas o húmedas con material de vertido lateral durante la construcción de un camino es la causa más común de deslizamientos de tierra relacionados con el camino. Las fallas en vertidos laterales suelen estar relacionadas con pendientes del terreno del 65% o más, si bien los manantiales y filtraciones pueden provocar fallas en ángulos de pendiente más leves. Además, los terraplenes de vertidos laterales pronunciados y desnudos suelen ser difíciles de revegetar y estabilizar ante la erosión de la superficie (desmoronamiento y perforación). Como regla general, no se debe utilizar vertido lateral en pendientes del terreno que superen el 35%, pero el vertido lateral puede realizarse en pendientes un poco más empinadas si los suelos no están húmedos o inestables y no hay arroyos, lagos o humedales en las cercanías. Las fallas relacionadas con el camino en pendientes menos pronunciadas se producen, generalmente, cuando existen aguas subterráneas emergentes debajo del relleno de vertido lateral o cuando el drenaje del camino ha dirigido la escorrentía de la superficie a los terraplenes.

Un método de "construcción de vertido lateral" más protectivo utiliza una excavadora hidráulica, en lugar de un bulldozer, para iniciar el levantamiento del camino. La excavadora puede remover prolijamente los desechos, tocones y troncos y colocarlos en la base de los terraplenes para que no sea incorporen al relleno (Figura 131). Luego escarba o quita la capa orgánica, excava el suelo mineral y lo coloca, cubo por cubo, comenzando en la base de la pendiente (Figura 132). Si es necesario,

FIGURA 131. *Las excavadoras pueden realizar un proceso simple de tres pasos de limpieza y desbrozado, excavando y nivelando el desarrollo durante la construcción de un camino de banco equilibrado. El uso de una excavadora minimiza el volumen del material de vertido lateral. En la primer pasada, una excavadora operada desde un banco iniciado retirar los troncos y tocones, desbroza el talud e instala un camellón de filtrado de residuos en la base del terraplén propuesto. La segunda tarea de la excavadora consiste en eliminar el exceso y colocar y compactar el relleno en el banco que ha creado (ver pilas de suelo limpio) y pendiente abajo de los residuos en camellón. En tercer lugar, el material descubierto e inalterado se utiliza para construir la superficie soportante del camino (B.C.M.F., 1991).*

FIGURA 132. *A cada paso, la excavadora despeja la vegetación y desbroza la superficie del talud que tiene enfrente antes de excavar y extender el banco del camino. El suelo excavado del nuevo segmento del banco del camino se coloca y se compacta en el nuevo banco del camino y en la pendiente desbrozada debajo del nuevo segmento. La vegetación despejada, colocada a lo largo de la base del futuro terraplén, ayuda a contener la erosión de los materiales de relleno expuesto hasta que se estabilicen y se vuelvan a vegetar. (Modificado de: BCMF, 1991)*

la excavadora puede excavar un banco entre laderas en la base del relleno y luego rellenar desde el fondo de la pendiente hasta el banco del camino. El sistema hidráulico de las grandes excavadoras permite que compacten el relleno parcialmente mientras el relleno es colocado. Todo material de relleno o los escombros sobrantes se colocan detrás de la excavadora en el banco del camino ya construido, donde la topadora puede desviar y compactar el material en finas lomas y a la vez lograr la forma final de camino con peralte hacia afuera (Figuras 133, 134 y 135).

Los escombros colocados cuidadosamente mediante este método de excavadora son más estables y menos susceptibles a fallas que los rellenos de caminos de vertido lateral realizados únicamente por bulldozers. También excluye la necesidad de una gran disposición final en camiones de los escombros, como se necesitaría normalmente para la construcción en bancos en donde todo el material de residuos debe ser retirados del sitio. Una cara de relleno de entre 55% y 65% (dependiendo de los materiales) suele ser el material con mayor inclinación que puede ser colocado, salvo que el relleno sea "de ingeniería" y utilice métodos de compactación estándar, como se explica debajo.

Los camellones de filtrado de escombros se forman con facilidad y son colocados en la base del relleno por la excavadora para contener la erosión de la superficie luego de la construcción. Luego se utiliza la excavadora o el bulldozer en el banco del camino iniciado (Figura 133) para desarrollar el camino con el ancho y la forma de superficie definitivos, utilizando el material descubierto e inalterado para construir la superficie de soporte compactada del camino (Figura 134). La calzada puede tener una superficie rocosa para su utilización en todas las estaciones (Figura 135).

2. CORTE Y RELLENO COMPACTADO Y CONSTRUCCIÓN EN BANCOS

Se pueden emplear diferentes técnicas de banco de caminos en pendientes moderadas y empinadas para mejorar la estabilidad del camino. Esto incluye los bancos equilibrados (usando la excavadora), rellenos de hendiduras, prospección inversa, múltiples bancos y construcción en balcón con disposición final. Cada una de estas técnicas utilizan métodos de construcción que pueden aportar mayor estabilidad al prisma del camino, en comparación con el vertido lateral. Cada una de estas técnicas es adecuada para un tipo de suelo y pendiente específicos y no debe utilizarse en otras situaciones.

Las técnicas de prospección inversa y ***múltiples bancos*** utilizan un método denominado "compactación de abajo hacia arriba" que aporta estabilidad al material de relleno colocado en la parte externa del prisma del camino. **La técnica de múltiples bancos no suele ser utilizada, pero es una buena forma de desarrollar un pilote estable con un mínimo vertido lateral.** En primer lugar, se corta un banco en la base del relleno propuesto, a una distancia del talud de aproximadamente 30 pies por debajo de la pendiente del camino propuesta (su ubicación exacta depende del talud de la ladera y del ancho del camino final). Podría ser necesario excavar y disponer del material de este primer corte para que no sea vertido lateralmente cuesta abajo. Luego el operador mueve levemente el material cuesta arriba para crear otro banco, arrojando los escombros al primer banco cuesta abajo, donde serán compactados. Luego de completar el segundo banco, el proceso se repite cuesta arriba hasta la elevación final del camino. El resultado es un relleno "fijado" sobre la ladera en múltiples bancos pequeños con mínimo vertido lateral (Figura 136).

La técnica de *banco simple* es una técnica más popular que utiliza los mismos métodos básicos que la técnica de múltiples bancos. Luego de cortar el primer banco (el más bajo), se puede utilizar una excavadora o un bulldozer en la ladera debajo del banco para ensanchar y levantar la calzada. A medida que el trabajo de corte avanza cuesta arriba, la calzada se ensancha y las capas de escombros se agregan al banco en finas "lomas" que se compactan a medida que se distribuyen. El trabajo de corte, relleno y compactación de la calzada continúa hasta que el camino alcance la pendiente y el ancho de diseño final (Figura 137).

Recuerde, los bulldozers y los cargadores no compactan de manera eficiente. Todos los demás equipos con

FIGURA 133. *Detrás de la excavadora, se utiliza un bulldozer para preparar el subrasante definitivo, dar forma a la superficie, crear el ancho de camino necesario y ofrecer compactación del suelo al nuevo relleno.*

FIGURA 134. *Nuevo camino construido por una excavadora y un bulldozer. Los troncos recolectados del derecho de vía se han colocado en la parte superior de los camellones de filtrado y serán retirados luego. El modelado de la superficie del camino definitivo (peralte hacia afuera), la eliminación de la berma y la pavimentación (si corresponde) se realizarán usando una topadora o un nivelador y un camión cisterna.*

FIGURA 135. *Camino forestal de superficie rocosa y con peralte hacia afuera construido por una excavadora hidráulica. Note la ausencia de una berma externa del camino que recolectaría y concentraría la escorrentía de la superficie en el prisma del camino.*

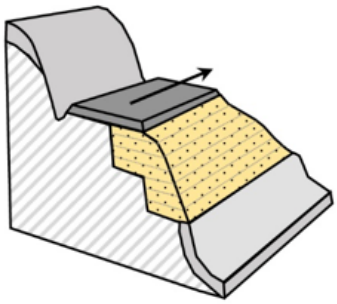


FIGURA 136. *Construcción de un camino con la técnica de múltiples bancos. Note los dos bancos cortados en el suelo nativo o los materiales rocosos y la compactación en capas de los materiales de relleno en los bancos. La técnica de múltiples bancos ofrece mayor estabilidad estructural al relleno y se utiliza cuando se construyen caminos en pendientes empinadas.*

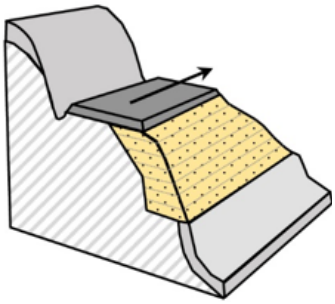


FIGURA 137. *La construcción de un camino con un solo banco o "banco equilibrado", en donde el volumen del material de corte es igual (equivale) al volumen del material de relleno que se coloca en el exterior del banco del camino. En muchos casos, se excava un banco en la base del relleno propuesto y se colocan capas en lomas y suelo compactado sobre el banco hasta lograr el nivel de camino deseado.*

ruedas (como los cargadores con neumáticos de caucho, los autovolquetes, etc.) ofrecen una mejor compactación que los equipos a tracción (bulldozers). En todos los casos, se debe tener la precaución de cubrir toda la superficie del suelo con el trabajo de compactación. **En general, los equipos a tracción se consideran compactadores de suelo poco eficientes, pero en el caso de rellenos colocados de manera adecuada con niveles de humedad óptimos, un bulldozer puede lograr resultados satisfactorios si las lomas del suelo son finas y el suelo está húmedo.** En situaciones críticas, en las que la compactación del relleno es necesaria para garantizar que el material no sufrirá fallas, se deben utilizar verdaderos compactadores. Consulte con un ingeniero civil para seleccionar los equipos adecuados para llevar a cabo su trabajo. Los compactadores pueden ser máquinas de rejilla, de pata de carnero, neumáticos, vibratorios y de pata de cabra. Los compactadores de rejilla y vibratorios son adecuados para materiales más gruesos que los cienos y arenas gruesos, mientras que los otros tipos de compactadores se prefieren para arena y partículas de suelo más finas. **Independientemente del equipo que se utilice, la clave en cualquier trabajo de compactación es la condición de humedad adecuada de los materiales del relleno.** Consulte con un ingeniero civil o con un contratista de equipos con experiencia para recibir asesoramiento para la selección de equipos de compactación.

La *prospección inversa* consiste en un método de producir una construcción en balcón sin disposición final. El suelo debe ser de grano medio a grueso y estar bien drenado y las laderas no pueden superar el 80%. Es posible que esta técnica no sea adecuada en los alrededores de canales de arroyos cavados, en los que suele haber agua subterránea emergente. La superficie inmediatamente frente a la excavadora debe ser despejada y desbrozada y los escombros orgánicos deben ser vertidos lateralmente o en camellón en la base del terraplén propuesto. Luego, se corta un balcón profundo frente a la excavadora de alrededor de 25 a 30 pies de ancho y de 8 a 10 pies de profundidad en el eje del camino (nuevamente, dependiendo del talud del terreno y del ancho del camino). Los materiales del suelo excavado a partir de este corte son "devueltos" y apilados en el subrasante detrás de la excavadora. Una vez que el banco ha sido construido, el material del subrasante apilado es nivelado y alisado por un bulldozer o por la excavadora, con muy poco o sin vertido lateral (Figura 138). Como los materiales de la calzada son excavados y colocados, con muy poca compactación, de debe esperar a que se asienten y drenen antes de realizar el peralte hacia afuera de la superficie o de instalar las zanjas finales y las alcantarillas de alivio de cunetas. En las pendientes empinadas, el relleno debe ser reforzado o retenido y se podrían requerir subdrenajes para manantiales y áreas húmedas.

La construcción de ***rellenos de hendiduras*** es un método potencialmente peligroso que puede provocar fallas y problemas en la calidad del agua si las condiciones del material y del sitio no son adecuadas. Los rellenos de hendiduras son rellenos finos que se colocan en paralelo a la ladera subyacente, en lugar de colocarse como cuñas utilizadas en las construcciones de corte y relleno tradicionales. Los rellenos de hendiduras no pueden compactarse en pendientes que superen el 35%. En las pendientes más leves, las hendiduras son pequeñas y relativamente estables. A medida que las pendientes aumentan, los rellenos se vuelven más gruesos y más susceptibles a fallas.

La construcción de rellenos de hendiduras debe utilizarse únicamente en situaciones especiales en las que 3/4 del banco en caminos en balcón se compone de rocas o depósitos aluviales y siempre que no haya ningún lugar para disponer del material excedente. El motivo es evitar que se produzca una pendiente muy pronunciada al colocar o distribuir una fina capa de material grueso sobre la superficie del terreno en una pendiente que es menor a su ángulo de reposo (Figura 139). Una excavadora con un alcance normal de 35 pies puede controlar y guarnecer un relleno de hendiduras de hasta 40 pies cuesta abajo del banco del camino.

La construcción de rellenos de hendiduras debe utilizarse como último recurso, ya que la posibilidad de que se produzcan fallas es relativamente alta y una gran parte de la ladera forestal se extrae de la producción. El desmoronamiento del relleno también puede generar riesgos si hay caminos o edificios cuesta abajo del relleno de hendiduras. **La arena, los cienos y la arcilla no son adecuados para la construcción de relleno de hendiduras. Los rellenos de hendiduras son colocados y no construidos por vertido lateral, ya que el vertido lateral no controlado en pendientes empinadas produce depósitos muy inestables que pueden enredarse o quebrarse por el deslizamiento de escombros.**

3. CONSTRUCCIÓN EN BALCÓN

La construcción en balcón, método final que se describe aquí, suele involucrar la excavación de la calzada mediante el uso de una excavadora hidráulica. Consiste en cortar un banco en la roca o en el suelo con el mismo ancho del camino. Ningún material se somete a vertido lateral y los escombros se utilizan para rellenar áreas bajas o cruces de arroyos a lo largo del trazado del camino. El material excedente puede ser transportado fuera del sitio a un lugar de almacenamiento estable, mientras que solo una pequeña cantidad puede ser desviada o reducida y compactada en el levantamiento del camino (Figura 140).

La construcción en balcón suele utilizarse únicamente en taludes moderados o empinados, o cuando un camino se encuentra acerca o en paralelo al canal de un arroyo que pueda verse afectado por el vertido lateral. La disposición final puede ser muy costosa y la construcción en balcón puede costar entre cuatro y siete veces más que los métodos de corte y relleno. Sin embargo, la construcción en balcón sin disposición final en pendientes empinadas seguramente provocará fallas de vertido lateral en muchos sitios y tendrá impacto sobre los canales de arroyos cuesta abajo.

Los caminos en balcón suelen generar cortes altos. Muchos tipos de rocas y suelos no soportan esos taludes de corte altos. Es posible que las rocas inestables, incluso

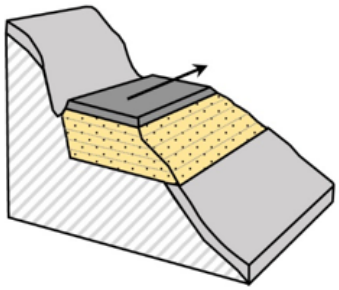


FIGURA 138. *La construcción de un camino con banco de prospección inversa brinda un banco de camino de relleno completo en el cual la totalidad de la calzada se construye mediante la compactación de capas de relleno en un solo banco ancho sin vertido lateral. Los terraplenes empinados podrían requerir un refuerzo interno y el agua subterránea emergente podría necesitar un drenaje subsuperficial.*

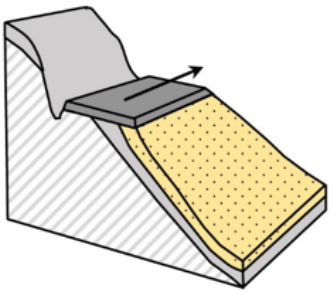


FIGURA 139. *En la construcción de un camino con hendiduras se "coloca" (no se vierte lateralmente) una capa delgada de relleno sobre la pendiente debajo del camino. Las hendiduras se deben utilizar solamente en situaciones específicas, generalmente con materiales de piedra partida con drenaje libre en donde las gradientes de los taludes estén por debajo del ángulo de reposo del material y no haya otro lugar para colocar el material excavado. Este método de construcción se utiliza con poca frecuencia y debe evitarse por completo cerca de arroyos, en pendientes empinadas o en lugares que tengan cienos, arcillas y otros suelos de grano fino.*

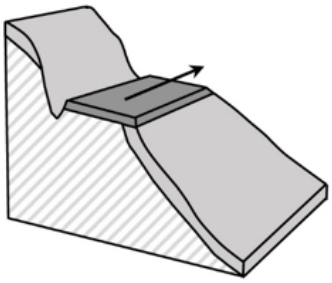


FIGURA 140. *Construcción de camino de banco completo, en donde todo el material excavado ha sido transportado para su disposición final en camiones desde el sitio y depositado en un sitio de almacenamiento estable.*

las rocas sedimentarias blandas o muy fracturadas, o las rocas con capas inmersas de manera pronunciada en el corte del camino no sean adecuadas para cortes en balcón. Estos cortes profundos pueden eliminar el soporte de pie crítico e iniciar una falla cuesta arriba. Los depósitos de barreales profundos, de arcillas blandas, y otros materiales del suelo con propiedades físicas similares también pueden ser inapropiados para cortes altos debido a su susceptibilidad a sufrir fallas de rotación. Si bien la construcción en bancos o de prospección inversa pueden ser mejores técnicas para dichos suelos y materiales de roca blandos e inestables, es posible que no se pueda construir el camino en lugares en los que las pendientes sean empinadas y las rocas sean débiles.

Los escombros sobrantes deben ser transportados y almacenados en un lugar estable en el que no puedan erosionarse o quebrarse e ingresar al curso de agua. Asimismo, los escombros no deben ser colocados en pendientes inestables, donde el peso agregado pueda provocar el movimiento de la tierra. La sobrecarga de suelos arcillosos o cienosos podrían provocar una falla en la capacidad de soporte en el subsuelo. **Los bancos de rocas; las secciones anchas y estables del camino; las crestas; los bancos; y los bordes internos de las plataformas son lugares típicos en los que se puede almacenar el relleno de manera segura. Se debe evitar el almacenamiento de escombros en el borde externo de caminos, desvíos y plataformas construidas en pendientes empinadas ya que el peso agregado podría provocar una falla en el terraplén.** Todos los sitios de relleno propuestos deben ser examinados antes de la construcción. Los sitios de disposición de escombros de gran tamaño propuestos deben ser revisados por un geólogo o ingeniero geólogo calificado antes de desarrollar el sitio para garantizar su estabilidad. Aquellos sitios que tengan aguas subterráneas emergentes o gruesas capas orgánicas pueden experimentar fallas en la pendiente luego de las cargas y no deben utilizarse.

En la mayoría de las situaciones, los escombros son cargados directamente en autovolquetes por la excavadora y transportados al sitio de almacenamiento, en donde son distribuidos en capas que son reprocesadas y luego "compactadas en campo" en capas por un bulldozer. En algunos casos, los bulldozers pueden transportar (empujar) de manera económica los escombros a sitios de almacenamiento estables a distancias que no superen los 500 pies. En general, la pila de escombros terminados en el sitio de almacenamiento debe respetar la topografía local para ofrecer un drenaje libre y disperso. Antes de la estación húmeda, los escombros deben ser molidos y plantados para controlar la erosión (Figura 141).

G. CONSTRUCCIÓN EN SUELOS HÚMEDOS

Si no se pueden evitar los pequeños manantiales o filtraciones en la disposición del trazado del camino, se pueden usar materiales y técnicas de construcción especiales para minimizar los problemas de los suelos húmedos. Las técnicas establecidas para la construcción de drenajes de gravas limpias y balanceo de la superficie han mejorado mucho mediante el uso de materiales geotextiles sintéticos (Las medidas correctivas se pueden implementar en función del problema (ver Capitulo 4, Sección B 5(b)). Estas telas y materiales de ingeniería suelen venir con instrucciones detalladas del fabricante que deben ser respetadas para lograr los mejores resultados. Muchas compañías brindan asesoramiento gratuito para ayudar al usuario en aplicaciones específicas.

El agua que emerge de canaletas del camino puede controlarse utilizando un sistema de drenaje francés o zanja de drenaje vertical (un "desagüe de piedra en zanja") (Figura 142). La zanja es excavada, revestida en ambos lados y en el fondo con una tela geotextil, rellenada con grava limpia de textura abierta y cubierta con tela y suelo. En ciertos casos, se debe instalar un tubo de drenaje perforado cerca del fondo de la zanja, rodeado de grava, para permitir una rápida eliminación y descarga del flujo subsuperficial interceptado. Esta tela evita que los materiales finos del suelo ingresen a la zanja y taponen el drenaje. La zanja luego es drenada a lo largo del prisma del camino en una zanja de salida o en un tubo de drenaje subsuperficial situado debajo de la línea de la cuneta.

El agua que emerge debajo de la calzada puede controlarse mediante la instalación de una manta de drenaje debajo del relleno. Esto brinda

FIGURA 141. *Sitio de eliminación de residuos típico para la disposición final de material de residuos de un sitio de construcción de un camino de banco completo. El sitio de disposición de residuos está ubicado en una loma amplia, seca y de pendiente suave. El material es vertido, y luego esparcido, compactado (por un bulldozer) y sembrado, cubierto y plantado. El material de residuos debe colocarse en un lugar en donde el suelo erosionado no contamine el camino o la cuneta ni sea transportado a un arroyo.*

una vía rápida para que el agua emergente fluya por debajo del camino sin saturar la calzada y los materiales de relleno suprayacentes, lo cual previene la formación de surcos, condiciones lodosas o fallas en el relleno. En el campo, se coloca una manta geotextil permeable sobre una serie de bancos de corte en la zona húmeda antes de la construcción del camino y se rellena la parte superior con una capa de grava. Esta manta de grava debe llegar hasta el borde externo del camino y "descargar" cerca de la base del relleno para garantizar un drenaje adecuado. Los bancos mantienen la estabilidad de la pendiente con los materiales de la base del camino y de pavimentación que cubren la manta de grava atrapada. Se aplica otra capa geotextil en la parte superior y los suelos nativos se distribuyen y compactan sobre la parte superior hasta alcanzar el nivel de calzada deseado.

Los ejemplos anteriores brindan una breve introducción a los exitosos métodos de ingeniería disponibles para resolver problemas de drenaje subsuperficial. Se recomienda leer más material y realizar una mayor investigación antes de usar materiales geotextiles para drenaje subsuperficial (ver Capítulo 4 para obtener más información sobre la selección y el uso

FIGURA 142. *El subdrenaje en tubo se utiliza para capturar el agua subterránea subsuperficial antes de que pueda saturar un terraplén adyacente. Esta zanja tenía 10 pies de profundidad y 2 pies de ancho y estaba recubierta con tela geotextil no tejida y rellena con grava. Se colocó una tubería perforable flexible en una fina capa de grava en el fondo de la zanja y el drenaje con una pendiente gradual colina abajo y el flujo subsuperficial capturado se descargó a un talud estable cercano.*

de geotextiles). Puede solicitar asistencia a un ingeniero civil con experiencia o a un geólogo o ingeniero geólogo calificado que tenga experiencia en el uso de estos productos, o puede solicitar asistencia técnica al representante local de una compañía que fabrique o distribuya geotextiles diseñados para estas aplicaciones.

H. CONSTRUCCIÓN EN PENDIENTES INESTABLES

La primera regla en la construcción de caminos es evitar las áreas inestables y los deslizamientos de tierra. Sin embargo, en ciertas ocasiones puede suceder que se hayan agotado todas las demás opciones y la construcción de un camino en zonas inestables sea la alternativa menos nociva. **Si la construcción del camino debe realizarse en taludes inestables, se recomienda consultar con un ingeniero geólogo o ingeniero geotécnico calificado para desarrollar planes y métodos de construcción para el segmento de camino específico.** En situaciones en las cuales se pondría en grave riesgo la calidad del agua por operaciones en pendientes inestables, es posible que los proyectos de construcción o reconstrucción deban ser aplazados o descartados por completo. **Las pendientes inestables que pongan en riesgo la calidad del agua deben ser identificadas y consideradas inadecuadas para la construcción del camino.** Consulte el "Capítulo 4: Diseño de Caminos y Cruces de Arroyos, Sección B, 4(c) para conocer las pautas y consideraciones especiales para la construcción de caminos en terrenos inestables.

Se pueden aplicar algunas medidas preventivas para compensar las reducciones de estabilidad de la pendiente esperadas que suelen relacionarse con la construcción del camino. Estas recomendaciones incluyen 1) no generar una pendiente demasiado pronunciada ni cargar la parte superior de una pendiente inestable con material de vertido lateral, 2) no alterar el drenaje de una ladera al bloquear o redirigir el flujo superficial o subsuperficial a un área inestable o al deslizar masa o formar charcos de agua y 3) no retirar material del pie de una pendiente o deslizamiento inestable. Estas medidas preventivas deben aplicarse cuando se opera con pendientes pronunciadas mayores al 50% a 55% y podrían ser necesarias en algunos tipos de suelos con gradientes menores.

La mayoría de las fallas relacionadas con el camino (en especial las fallas del relleno) son consecuencia directa del relleno excesivo y del vertido lateral en taludes empinados, del vertido lateral de materiales de relleno en zonas de aguas subterráneas emergentes o de la concentración y descarga de la escorrentía de la superficie sobre los terraplenes del camino (Figura 143). Las carreteras estrechas pueden reducir significativamente la

FIGURA 143. *Construcción de camino con vertido lateral en taludes del cañón interno sobre un arroyo con peces. Los materiales de vertido lateral de grano fino se posan sobre pendientes del 70% y muestran signos de inestabilidad y fallas en proceso. La parte restante estable de la calzada está en el corte del camino.*

cantidad de material que debe ser excavado durante la construcción del camino en estas áreas (Tabla 15). Por lo tanto, en estas pendientes empinadas (que superan alrededor del 60%), el vertido lateral debe evitarse por completo. Asimismo, los tipos de suelos inestables o la presencia de manantiales y filtraciones podrían limitar el uso de vertido lateral en pendientes tan bajas como el 45% para minimizar la posibilidad de que se produzca inestabilidad en el vertido lateral o fallas en el relleno.

Es especialmente importante que evite el vertido lateral en pendientes empinadas en bajíos de cabeceras, donde las laderas convergen en un canal estrecho y empinado. Estos lugares son excelentes para la generación de deslizamientos de escombros y los flujos de residuos resultantes pueden desplazarse miles de pies cuesta abajo, socavando empinados y depositando grandes cantidades de sedimentos y escombros que afectan seriamente los arroyos con peces y el suministro de agua de uso doméstico (Figura 144). El criterio profesional y las recomendaciones son fundamentales para la identificación de riesgos de flujo de escombros; esta tarea debe ser realizada por un geólogo o ingeniero geólogo experto y calificado para obtener mejores resultados.

Las avalanchas de escombros en taludes empinados pueden ser provocadas por el movimiento de tierras generado por grandes explosiones durante la construcción de un camino o la excavación de canteras, en especial durante la estación húmeda. Esto sugiere que la posibilidad de generar un deslizamiento de tierras en las cercanías del sitio de una explosión puede reducirse si las explosiones se realizan durante el período de verano seco. En pendientes empinadas, el exceso de material de explosiones debe ser retirado y no vertido lateralmente ni quedar acumulado en la ladera debajo del camino.

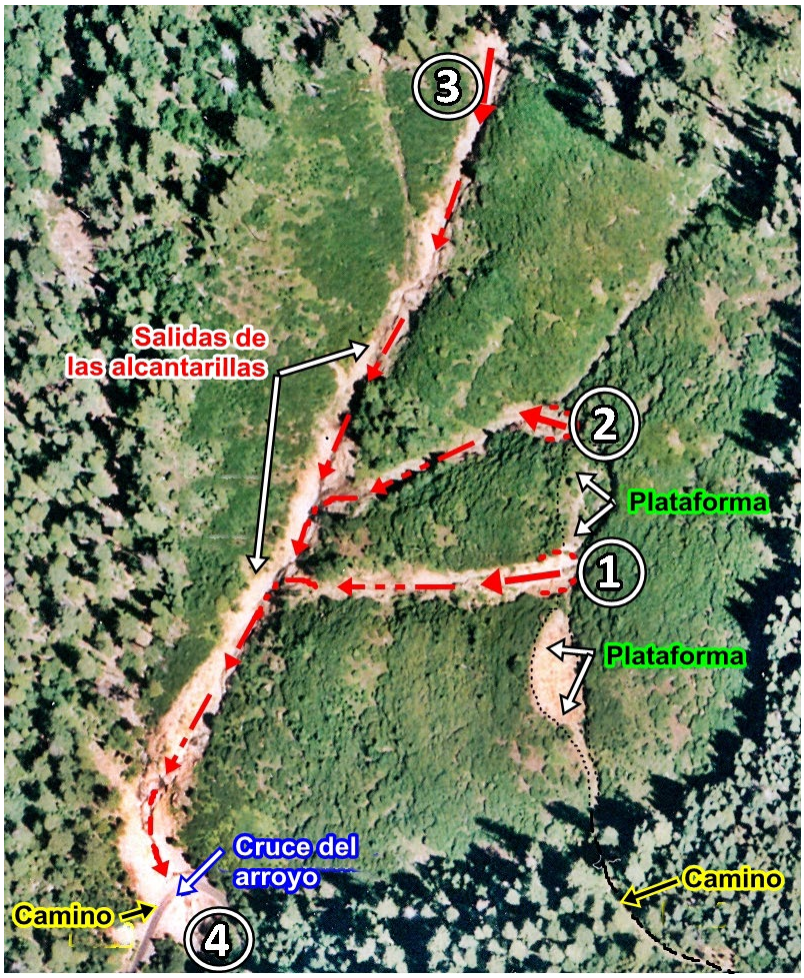


FIGURA 144. *Foto aérea que muestra deslizamientos de escombros y flujos desencadenados por una gran tormenta. El deslizamiento No. 1 se produjo cuando se construyó un camino forestal sobre un bajío topográfico empinado. El deslizamiento No. 2 se produjo cuando el vertido lateral de la plataforma en una ladera empinada del cañón interno. El deslizamiento No. 3 comenzó a unos 2000 pies corriente arriba, en donde se construyó un camino a través de un bajío empinado y húmedo. Cada deslizamiento de escombros era transportado como un flujo de lodo, socavando el canal de sedimentos y escombros leñosos. Los torrentes fusionados se lavaron e incorporaron relleno erosionado del cruce del arroyo en la imagen 4 y se desplazaron otras 0,5 millas corriente abajo.*

Conocer los límites de un área inestable (deslizamiento de masa) es fundamental para seleccionar el tipo y el lugar de construcción de corte y relleno a utilizar. Los cortes y rellenos pueden ubicarse cruzando ciertos deslizamientos de tierra con pocas consecuencias sobre su estabilidad o incluso un aumento neto de la estabilidad de la pendiente. Por ejemplo, se puede cargar con peso el pie de ciertas pendientes de rotación existentes o potenciales, o se puede descargar la cabeza, sin reducir la estabilidad de la pendiente (Figura 145). Por lo tanto, un camino de relleno completo (con material acopiado y sin cortes o con pocos cortes) en el pie o un camino en balcón (sin acopio) en la cabeza de este tipo de deslizamiento no reducirá la estabilidad y probablemente mejore las condiciones (Figura 146). Sin embargo, a

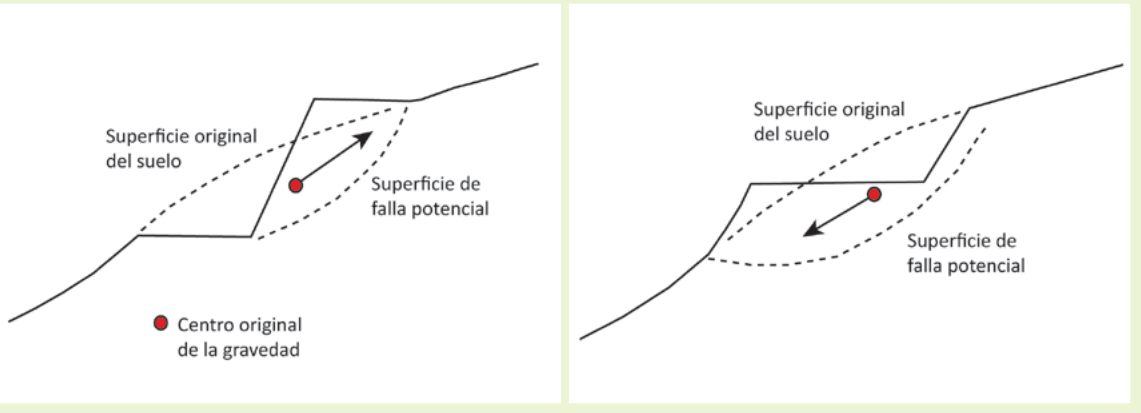


FIGURA 145.
En general, el pie de una pendiente de rotación debe ser cargada, mientras que la cabeza debe ser descargada. La carga de la cabeza y/o la descarga del pie (diagrama izquierdo) sirven para aumentar el centro de gravedad y generan una mayor inestabilidad. La carga del pie y/o la descarga de la cabeza modifican el centro de gravedad hacia abajo y pueden reducir la estabilidad de la pendiente. Esta estrategia no funciona para otros tipos de deslizamientos de tierra, en donde se debe evitar la construcción de caminos.

pesar de utilizar técnicas de construcción de caminos de última generación, los movimientos de tierra pueden continuar. Como regla general, los deslizamientos de tierra y las áreas inestables no deben cruzar los caminos.

Por último, el riesgo general de que se produzca una falla en la pendiente también puede reducirse al reducir el largo total del camino, así como el ancho de la carretera, en especial para caminos construidos en pendientes empinadas. Por ejemplo, si se utilizan sistemas de línea larga o de extracción forestal con helicópteros para las operaciones forestales se puede reducir la construcción de caminos en laderas inestables hasta un 50% o más. Los caminos estrechos también son menos perturbadores que los caminos anchos y tienen menos probabilidades de afectar áreas inestables. Las gradientes de caminos empinados y las inclinaciones pueden utilizarse para reducir el millaje del camino y evitar áreas inestables y pueden ser más rentables que la construcción de caminos en balcón y transporte al sitio final en áreas inestables o pendientes empinadas. Se pueden utilizar pendientes de camino empinadas e inclinaciones locales para construir el camino en cimas de riscos y bancos de bajo mantenimiento dentro de la cuenca fluvial. Sin embargo, las secciones empinadas del camino suelen requerir peraltes hacia afuera, mejores cunetas, más pavimento y mejor drenaje de la superficie en comparación con los caminos de gradiente baja.

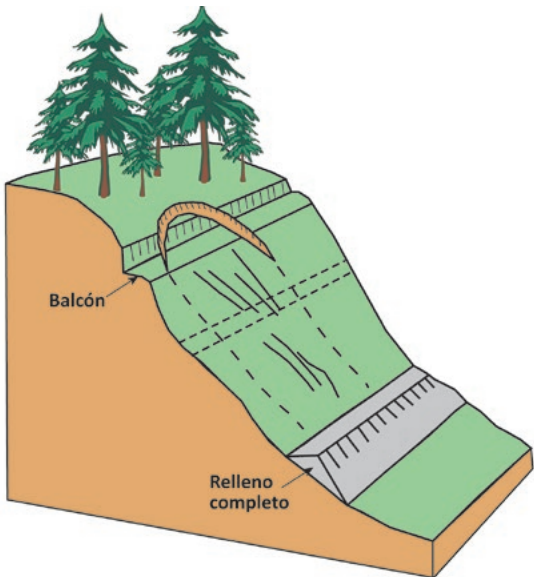


FIGURA 146.
En ciertos deslizamientos de tierra de rotación, se puede construir un relleno completo a lo largo del pie (la carga del pie) o el corte de un banco completo, transportando el material por el camino a lo largo de la cabeza (descargar la cabeza) sin reducir la estabilidad de la pendiente. Sin embargo, en la mayoría de los casos es mejor evitar las pendientes inestables.

I. CONSTRUCCIÓN DE CRUCES DE ARROYOS

Los tipos más comunes de cruces de arroyos permanentes incluyen puentes, rellenos entubados, rellenos blindados y vados, así como diversos cruces de arroyos temporales que se retiran antes del invierno o del período de clima húmedo (ver Capítulo IV). El uso de cruces de troncos y rellenos sin entubar no es adecuado para cruces de arroyos permanentes, si bien puede haber sido utilizado con frecuencia en el pasado.

La construcción de un cruce de arroyo es un proceso que consta de dos partes: 1) la construcción del banco de un camino cerca y saliendo del sitio del cruce y 2) la construcción e instalación de estructura/s de drenaje y relleno en el cruce.

1. ALREDEDORES DE CRUCES DE ARROYOS

La excavación de las zonas cercanas al camino es una parte fundamental en la construcción de un cruce de arroyo. Si las pendientes del canal son empinadas, cualquier vertido lateral en las cercanías podría enviar suelo blando directamente al curso de agua (Figura 147).

En el caso de que los caminos crucen cañones de arroyos o canales cavados con pendientes empinadas, los alrededores del canal deben construirse con métodos de construcción en balcón. Los escombros pueden ser transportados al sitio final con camiones o colocados en el prisma del camino excavado detrás de la excavadora y empujado lejos del cruce usando bulldozers. **¡No se debe utilizar vertido lateral**! Las excavadoras son ideales para los trabajos de construcción en balcón en alrededores de cruces de arroyos difíciles de trabajar.

Los caminos que crucen pendientes empinadas en cañones de arroyos también suelen pasar a través de materiales húmedos o suelo inestable. Se deben identificar los suelos y las pendientes potencialmente inestables cerca de un cruce antes de que lo equipos corten en la pendiente, de modo tal que los alrededores puedan diseñarse para evitar, o para drenar y estabilizar, el área inestable. En áreas húmedas, el camino podría requerir la construcción de cunetas (ya sea entre laderas o con peralte hacia afuera) y la superficie podrían cubrirse con rocas para agregar estabilidad y reducir la erosión de la calzada.

En el caso de que los caminos deban cruzar canales con pendientes laterales de canal más moderadas o leves, generalmente pueden utilizarse técnicas de construcción en balcón o de corte y relleno sin dañar el arroyo. Los caminos pueden comenzar a construirse con excavadoras para retirar y colocar relleno debajo y sobre la calzada detrás, evitando que los sedimentos lleguen al canal del arroyo. El material excavado puede ser almacenado temporalmente en

FIGURA 147. *El vertido lateral no controlado en las cercanías de este cruce de arroyo de construcción deficiente transporta sedimentos directamente al canal del arroyo. Los caminos construidos cerca de arroyos debe ser de banco completo, los terraplenes deben estar en un ángulo estable (alrededor de 2:1), se debe colocar una coraza alrededor de la alcantarilla, las alcantarillas deben extenderse a aproximadamente 6 pies más allá de la base del relleno y las pendientes deben cubrirse y vegetarse.*

el relleno del cruce del arroyo o bien se puede utilizar un bulldozer para distribuir el material en la calzada, lejos de los alrededores. El relleno también puede ser colocado en capas compactadas en la base del prisma del camino recientemente construido y utilizado para construir un relleno estable. **Se debe evitar el vertido lateral en los alrededores de cruces de arroyos.**

Independientemente del tipo de cruce de arroyo, los alrededores del camino deben estar hidrológicamente desconectados en la medida de lo posible. Es decir, los tramos de los alrededores del camino y de las cunetas deben ser drenados del arroyo y de las laderas adyacentes con vegetación. Las salidas de las estructuras de drenaje del camino (por ej., vados ondulantes superficiales y alcantarillas de alivio de cunetas) en los alrededores del camino a cruces de arroyos deben ser marcadas a lo largo del trazado propuesto y construidas a una distancia suficiente del curso de agua de manera tal que no descarguen, de manera directa o indirecta, en el arroyo. **Los segmentos de camino restantes que seguirán drenando al arroyo deben ser cubiertos de rocas en la superficie, pavimentados o tratados de algún modo para minimizar la erosión de la superficie y la descarga de sedimentos al arroyo.**

2. INSTALACIÓN DE PUENTES

Los puentes suelen ser la mejor opción, y la menos dañina, para la instalación de cruces de arroyos y deben considerarse para todos los cursos de agua de gran tamaño, con incisiones profundas o Clase I (con peces). En comparación con los cruces de rellenos entubados, se produce una menor perturbación del suelo durante la instalación de puentes, existen menos probabilidades de fallas durante las crecidas y las fallas no suelen generar descargas de sedimentos catastróficas.

Los principales componentes de la mayoría de los puentes utilizados para caminos de bajo volumen son pilares de banco, vigas o piezas de acero para el canal de cruce, cubiertas, tablones y guardas protectoras para ruedas. Dependiendo de la instalación, a veces se utilizan corazas para evitar que los pilares socaven el canal durante los flujos de crecida. La mayoría de las piezas de los puentes pueden montarse previamente fuera del sitio e instalarse rápidamente en el lugar del cruce o bien el puente puede construirse totalmente en el lugar. Los vendedores de puentes con vigas en "I" prefabricados suelen tener un punto único de venta de puentes y pilares de puentes y ofrecen la posibilidad de elegir especificaciones personalizadas o genéricas, el transporte desde la fábrica hasta el lugar de trabajo e instalación por parte de personal capacitado.

Al igual que los cruces de arroyos entubados, la mayor posibilidad de impacto a los canales de arroyos se produce durante la instalación de los puentes. Principalmente, la instalación debe minimizar o eliminar el uso de equipos en el arroyo. Se podría requerir un cruce (vado) de equipos de bajo impacto en las cercanías inmediatas del cruce para preparar los pilares y los alrededores para la colocación del puente. Si es aprobado por las agencias regulatorias (por ej., el Departamento de Peces y Vida silvestre de California), este vado puede ser utilizado en el futuro por equipos a tracción que crucen el arroyo durante períodos de flujo bajo para evitar daños en la plataforma del puente (Figura 148) o en lugares en los que se superaría el peso límite establecido del puente.

Los impactos ambientales de los cruces de aguas bajas poco frecuentes por parte de equipos pesados a tracción pueden asegurarse mediante la distribución de maderas, grava limpia o bolsas de tela rellenas de grava o fardos de paja en el lecho del canal. Si el arroyo es demasiado largo o muy profundo como para ser cruzado por equipos pesados, se deberá crear un acceso desde el otro lado o se necesitará una grúa móvil para ofrecer servicios de elevación desde el banco cercano. En cualquiera de los casos, las actividades de construcción deben generar la mínima perturbación posible y no provocar vertido lateral en el canal del curso de agua.

La instalación exitosa de un puente temporal o permanente a lo largo de un curso de agua requiere reflexión y planificación y se podría requerir un operador de equipos y un ingeniero con experiencia. En primer lugar, se deben preparar y colocar (o construir) los pilares del puente en cada banco para aceptar el puente. Los puentes "permanentes" pueden ser sujetados a los bancos mediante

FIGURA 148.
Muchos puentes construidos en pequeños caminos forestales y rurales no pueden soportar el paso de equipos de carga pesada o se dañarían con el paso de los equipos. Por este motivo, a veces se construye un vado adyacente. Estos vados empinados pueden erosionar el arroyo del canal y transportar sedimentos al arroyo del canal si no tienen una superficie rocosa, un camellón o si no son cubiertos y sembrados en cada uso y antes de la temporada de lluvias.

el uso de pilas en el terreno natural o mediante el uso de pilares de concreto vertido o prefabricado anclado al lecho de rocas o sujetado a anclas "de hombre muerto" enterradas detrás del pilar. El diseño específico de los pilares depende del puente, de la carga esperada y de las condiciones del sitio; deben ser preparados por un profesional calificado y con experiencia (por ej., un ingeniero o ingeniero geólogo matriculado). Para minimizar el riesgo de que se produzcan movimiento durante su uso, los puentes temporarles deben ser fijados o sujetados a pilares como troncos o losas de concreto (Figura 149).

Cada pilar debe ser nivelado y sujetado de manera suficiente al banco de modo tal que no se produzca ningún desprendimiento o falla del banco debido al peso del puente y del vehículo durante su uso. Los pilares y muelles deben ser paralelos al canal del arroyo y estar detrás del canal para evitar el angostamiento del lecho y los bancos (Figura 150).

FIGURA 149.
Se pueden construir contrafuertes de puentes con troncos, muelles, losas de concreto y otros soportes. Este contrafuerte es un soporte de concreto prefabricado que se fabricó fuera del sitio y se instaló cuando la construcción del camino llegó al lugar del cruce. Se excavó una base plana para cada contrafuerte, se esparció y compactó el material de base y se colocaron y midieron contrafuertes de concreto prefabricado para el puente específico.

FIGURA 150.
Construcción de puente con viga en "I" en un camino forestal. Si se requiere una armadura rocosa a lo largo de los bancos de arroyos, debe ser colocada antes de la instalación del puente.

El cruce del puente debe estar en ángulo recto al canal y, si es posible, debe tener al menos 50 pies alrededor antes de llegar al puente (Figura 151).

Siempre que sea posible, la pendiente del puente debe estar nivelada o cerca del nivel para minimizar la tensión sobre las piezas del puente y los pilares como consecuencia del tránsito. Para evitar que las superficies de los alrededores del camino drenen directamente al arroyo, los puentes deben ubicarse en la parte inferior de una depresión abrupta en la pendiente del camino si esto fuera posible (Figura 152). Preferentemente, el puente debe estar levemente elevado por encima del grado de los alrededores del camino para garantizar que no reciba escorrentía de la superficie del camino de uno o ambos márgenes (Figura 153). Si el cruce del puente es el punto más bajo del camino, los alrededores deben tener superficie de roca o estar pavimentados al menos hasta el caudal de agua más cercano a la

FIGURA 151.
El puente de vagón plataforma cruza correctamente el canal del arroyo a un ángulo aproximado de 90o, pero es demasiado corto (está posado en el borde superior del banco del canal) y los contrafuertes de suelo descubierto y sin protección están sujetos a erosión durante las crecidas. El largo del puente debe tener en cuenta el ancho del flujo del canal y la capacidad de flujo, así como el ancho de la parte superior del banco del canal. Los bancos deben tener una pendiente en un ángulo estable y se debe ampliar el ancho de la coraza si es necesario.

FIGURA 152.
Los segmentos del camino que se acercan a un puente no deben drenar sobre la superficie del puente. De lo contrario, el suelo erosionado de la superficie del camino adyacente puede ser transportado al través de puente hacia el arroyo. Si el puente está en un punto bajo de la pendiente del camino, asegúrese de que la superficie del camino colina arriba esté bien drenada antes del puente y considere pavimentar las cercanías conectadas con rocas o pavimento.

superficie del camino (vado ondulante superficial). Si el camino se extiende lejos del cruce en una o ambas direcciones, los alrededores deben ser aplanados en una distancia de al menos 50 pies y la escorrentía de la superficie del camino debe ser dirigida a la alcantarilla de alivio de cunetas o vado ondulante superficial que drenen a una franja de filtrado con vegetación antes de llegar al sitio del puente.

Los soportes estructurales con vigas en "I" de acero a ser utilizadas en puentes no deben ser arrastradas por el lecho. Se puede utilizar una grúa, una excavadora o una excavadora y un camión con volcador para trasladar un puente portátil, con un equipo en cada lado. Si se instalan plataformas en la superficie del puente, se deben distribuir y sujetar con pernos a la parte superior para brindar una buena superficie de soporte y para distribuir la carga de los vehículos a todos los soportes de expansión o piezas de

FIGURA 153.
Preferentemente, los alrededores del puente deben tener una altura levemente menor a la superficie de tránsito para que el agua drene lejos del puente. Observe cómo las pendientes de los alrededores del camino tienen una pendiente hacia arriba del puente, de modo tal que la escorrentía del camino no fluye hacia la cubierta del puente.

acero estructural. En los puentes de madera, se debe anexar tablones a la plataforma. Se deben utilizar pernos para anexar la plataforma ya que las puntas suelen aflojarse y salirse a medida que el puente se dobla con cargas pesadas. Por último, por razones de seguridad, se debe instalar postes, maderas aserradas o guardas protectoras metálicas para ruedas en los bordes externos para alertar a los conductores que se alejen de la superficie estable y se acerquen demasiado al borde de la cubierta (Figura 154).

3. INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS

Durante la construcción del camino, la construcción de cruces de arroyos entubados tiene el mayor potencial de contaminar los sedimentos (ver Capítulo 5, Sección M (6)—Protección de la calidad del agua durante la construcción). Si el arroyo está fluyendo en el lugar de instalación de la alcantarilla, el cruce puede ser drenado mediante la construcción de un pequeño dique de desviación (por ej., un dique provisional) aguas arriba y el bombeo o desvío del flujo alrededor del área del proyecto. El canal del arroyo drenado luego se limpia y se prepara para la alcantarilla. Se deben remover las rocas grandes y los escombros leñosos. Tanto los cimientos de la alcantarilla como las paredes de las zanjas deben estar libres de troncos, tocones, ramas o rocas que puedan dañar el tubo o provocar filtraciones o flujo alrededor de la parte externa de la alcantarilla.

La alcantarilla debe estar alineada, tanto vertical como horizontalmente, con el canal del arroyo natural y debe tener un buen lecho, ser rellenada y cubierta; de lo contrario, sufrirá fallas eventualmente. El correcto trazado es fundamental para que la alcantarilla funcione adecuadamente. El trazado inadecuado de la salida puede provocar la erosión del banco y el trazado inadecuado de la entrada puede provocar el taponamiento con escombros. Siempre que sea posible, las alcantarillas de cruce de arroyos deben instalarse en el curso recto del canal. **La entrada de la alcantarilla es el lugar en que se originan la mayoría de las fallas durante los flujos pico. Por lo tanto, si el canal tiene una inclinación natural en el lugar de instalación, es muy importante que la salida esté alineada con el canal de subida natural.** Si la entrada está en un ángulo del arroyo natural, es mucho más probable que los escombros flotantes queden atascados en la entrada y taponen

FIGURA 154.
Las guardas protectoras en un puente de vagón plataforma (ver Figura 153) le indican al conductor que está demasiado cerca del borde del puente. En este puente de vagón plataforma, el camino en primer plano tiene una pendiente hacia abajo del puente, pero la guarda protectora continua de acero también sella la superficie del puente de modo tal que toda la escorrentía de camino y los sedimentos fluyen por el puente y por el camino antes de dispersarse por la ladera vegetada.

el tubo durante los flujos de crecida. Por el contrario, la salida puede ser protegida de la erosión mediante el uso de armaduras rocosas en el banco del canal o de un ángulo tubo que pueda anexarse para llevar el flujo al canal natural corriente abajo desde la salida.

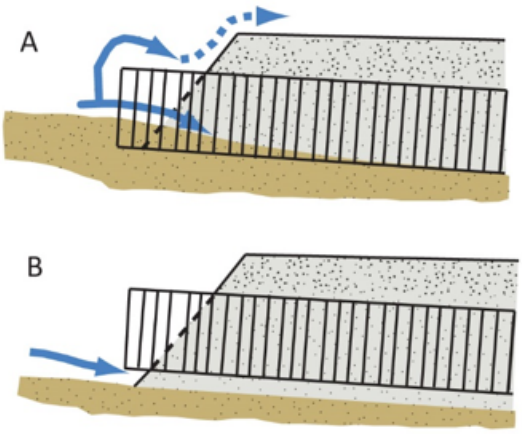
Las alcantarillas de cruce de arroyos deben ser colocadas en la base del relleno y en el nivel del lecho del cauce original. En los arroyos sin peces, la alcantarilla debe estar insertada levemente en el lecho del cauce natural para que el agua descienda varias pulgadas cuando ingresa al tubo. Las entradas de alcantarillas que estén demasiado bajas pueden taponarse con escombros y provocar una erosión en la cabecera que migre aguas arriba y las entradas demasiado altas pueden provocar que el agua socave la alcantarilla en la entrada (Figura 155). Las alcantarillas que se instalen en una gradiente más baja que el canal del arroyo natural sufren erosión en la cara del relleno corriente abajo, salvo que se le instale una bajada anclada redonda completa. De manera similar, las alcantarillas instaladas con una gradiente más baja que el canal del arroyo natural suelen experimentar una mayor deposición de sedimentos y formación de charcos en la entrada, lo cual aumenta el riesgo de taponamiento de la entrada y de falla del cruce del arroyo. Las alcantarillas colocadas al nivel del canal tiene una mayor capacidad de transportar sedimentos y madera.

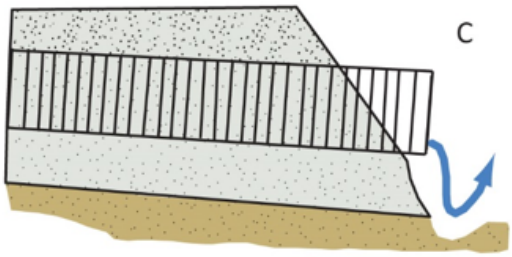
El lecho de la alcantarilla puede estar compuesto de suelo compactado libre de rocas o de grava (Figura 156). Si se utiliza grava para el lecho, se necesitará un tejido de filtro para separar la grava del suelo a fin de minimizar la posibilidad de que el suelo se tubifique. El lecho debajo de la alcantarilla debe permitir una distribución uniforme de la carga en todo el largo del tubo. **Casi todas las alcantarillas se hunden después de ser enterradas debido a la compactación del suelo. Para que esto suceda, todas las alcantarillas deben instalarse con una "inclinación hacia arriba" o leve joroba en el lecho, centrada en el medio del tubo.** El grado de inclinación debe ser de entre 1,5 y 3 pulgadas cada 10 pies de largo del tubo de la alcantarilla. La decantación y compactación natural que se producen después de colocar el relleno permitirán que el tubo se asiente en un perfil recto.

La colocación del relleno puede comenzar una vez que la alcantarilla esté colocada en su lugar del lecho. El material de relleno debe estar libre de rocas, ramas u otros escombros que puedan abollar el tubo o permitir que el agua se filtre por el tubo. Primero se debe cubrir un extremo de la alcantarilla y luego el otro. Una vez que los extremos estén sujetados, se debe cubrir el centro. Si vierte o criba el material de relleno cuidadosamente sobre la parte superior mediante una retroexcavadora o una pala excavadora, las partículas más finas fluirán alrededor y sobre los lados de la alcantarilla. Las partículas más grandes rodarán hacia el exterior. Las partículas de suelo finas se compactarán con mayor facilidad y ofrecerán un buen sellador contra pérdidas en el largo del tubo.

El material de relleno debe ser apisonado y compactado durante todo el proceso de instalación. El material de la base y la pared lateral debe compactarse antes de que el tubo se coloque en su lecho. Se debe utilizar una mínima cantidad de relleno para el lecho de la alcantarilla a fin de reducir filtraciones en el relleno. El material de relleno debe ser compactado en capas de aproximadamente 0,5 a 1 pie hasta cubrir al menos 1/3 del diámetro de la alcantarilla (Figura 156). Para evitar fugas, la compactación debe realizarse en condiciones de humedad óptima del suelo. Se puede utilizar un compactador manual vibratorio a gas (apisonador) para compactar los lados de la alcantarilla a medida que se realiza el relleno. Una vez que se alcance una profundidad suficiente, se pueden utilizar compactadores rodillo y equipos pesados para nivelar el relleno.

Una vez que se complete el relleno en la parte superior del tubo, se debe acorazar la entrada y la salida de la alcantarilla. Se puede construir un muro de cabeza de metal, concreto, bolsas de arena o rocas para evitar la erosión de la entrada. Cuando esté disponible, se suele utilizar una armadura rocosa para acorazar las áreas de entrada y salida de las alcantarillas recientemente instaladas (Figura 157a y 157b). En el área de la entrada, la protege contra la erosión durante crecidas y grandes flujos de agua. En el área de la salida del relleno, se coloca una armadura rocosa levemente por encima del tubo de la alcantarilla saliente para proteger al nuevo





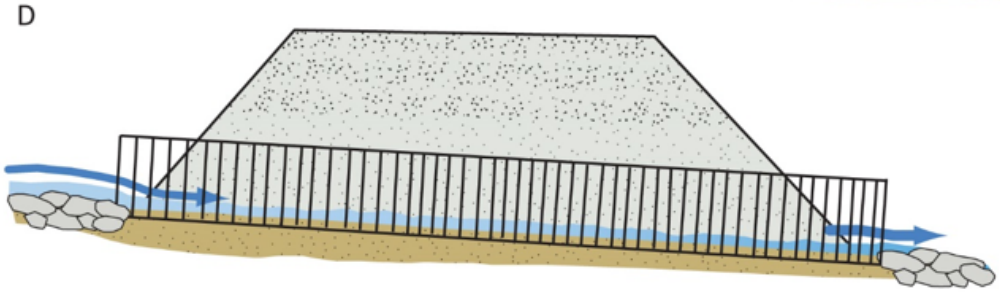


FIGURA 155. *La correcta instalación de una alcantarilla implica la correcta orientación de la alcantarilla, la fijación de la tubería levemente por debajo del lecho del arroyo original y el relleno y la compactación del relleno mientras se coloca sobre la alcantarilla. Si la entrada se instala en un punto demasiado bajo del arroyo (A) puede provocar el taponamiento de la alcantarilla y si la entrada se coloca demasiado alta (B), el flujo puede socavar la alcantarilla. Si la alcantarilla se coloca demasiado alta en el relleno (C), el flujo en la desembocadura erosionará el relleno. Si se coloca correctamente (D), la alcantarilla debe estar levemente por debajo de la pendiente del arroyo original y ser protegida con una coraza en la entrada y en la salida. Las alcantarillas instaladas en canales de arroyos con peces deben insertarse en el lecho del cauce de manera suficiente (>25% incrustado) para tener un fondo de grava natural en toda la alcantarilla. (Modificado de: MDSL, 1991)*

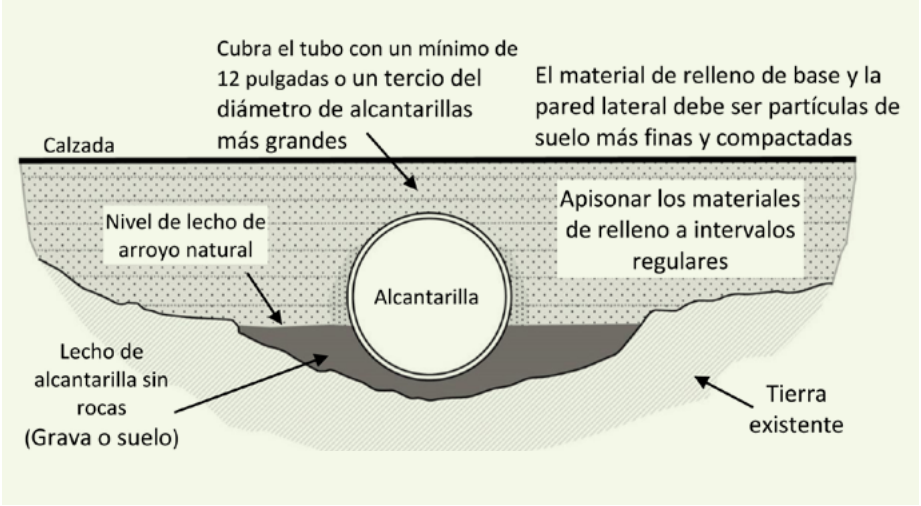


FIGURA 156.
El relleno libre de rocas se coloca sobre la alcantarilla en capas y se compacta debajo de la tubería y alrededor de la pared lateral. La compactación del suelo en los soportes (esquinas más bajas) de la alcantarilla le aporta fuerza de confinamiento a la tubería y permite reducir la deformación especialmente en las formas de alcantarilla no redondas. (Modificado de: FEMA, 2009)

FIGURA 157A. *Instalación de una alcantarilla en un relleno poco profundo en un arroyo empinado, de basamento rocoso, Clase II (sin peces) reemplazó a una tubería con un tamaño demasiado pequeño (Figura 109a). La nueva alcantarilla de seis pies de diámetro se colocó levemente en el lecho del cauce original y la entrada se acorazó para prevenir la erosión. El canal agregado sobre la entrada (primer plano) ha sido excavado y las áreas de suelo descubierto perturbadas han sido cubiertas y sembradas. La calzada entra y sale del cruce del arroyo con un vado crítico colocado justo camino abajo de la línea de bisagra izquierda*

FIGURA 157B. *Luego de la primer temporada húmeda (Figura 109b), el lecho del canal se ha auto-acorazado y ha creado una sección transversal estable que lleva a la entrada. Las áreas de suelo descubierto se cubren con pasto.*

relleno de la erosión por salpicaduras en la salida de la alcantarilla y para atrapar sedimentos que erosionen los nuevos terraplenes corriente abajo hasta que se estabilicen con la vegetación. Si se trata de un arroyo vivo, se debe observar el flujo hacia la alcantarilla para determinar si se requiere una armadura rocosa adicional y en qué parte. Como medida de precaución para evitar la sedimentación en el arroyo, se puede construir un camellón de desperdicios madereros en la base del relleno del camino alrededor y al lado de la salida de la alcantarilla para que el suelo no forme un depósito lateral en el canal del arroyo o en la entrada durante el relleno y la nivelación final de la calzada. Las armaduras rocosas colocadas alrededor de la salida de la alcantarilla también pueden servir para este fin.

A partir de ese momento se puede realizar el relleno definitivo del cruce del arroyo. Las capas de relleno se empujan hacia el cruce hasta alcanzar el nivel de camino de diseño definitivo. El relleno debe colocarse sobre la parte superior de la alcantarilla a una profundidad de al menos 1 pie, para alcantarillas de 18″ a 36″, o un mínimo de 1/3 a 1/2 del diámetro de la alcantarilla para tubos de mayor tamaño. **Si no se puede lograr una cobertura adecuada en una alcantarilla redonda, se debe instalar una alcantarilla de arco, una alcantarilla oval o un arco cerrado en la base** (Figura 158). La opción menos recomendable sería instalar alcantarillas redondas dobles, ya que la posibilidad de taponarse es mucho mayor que la de un tubo simple.

FIGURA 158.
Instalación de un arco de tubería dual en un arroyo con peces. Debido al relleno poco profundo, se instaló una segunda alcantarilla de arco de tubería para mejorar el cruce para que pase el flujo de crecida de diseño y la totalidad de la cara del relleno se acorazó con rocas. El paso de bajo flujo hubiera sido mejor si la tubería más pequeña estuviera incrustada en el fondo del canal, levemente por debajo de la alcantarilla principal. En lugar de ello, la alcantarilla no está incrustada y el cruce es una barrera para la migración de peces durante los períodos de bajo flujo.

Se debe realizar un vado en el borde del nuevo relleno del camino para ofrecer un diseño de drenaje "a desvío de fallos" (ver Capítulo 4). Preferentemente, todo el relleno del camino debe estar sumergido en la línea de bisagra del cruce del arroyo. Esto evita el desvío de los arroyos y reduce el volumen de relleno erosionable (el posible volumen de fallas) y el largo del nuevo talud de relleno erosionable. En cualquiera de los casos, si la alcantarilla se tapona el arroyo fluirá sobre el banco del camino y volverá a su canal natural, sin descender a la calzada adyacente.

Otra práctica frecuente consiste en colocar el banco del camino entre laderas en el cruce del arroyo, especialmente al poco tiempo de un trabajo de construcción o reconstrucción, para que la escorrentía de la superficie del camino fluya en el interior hacia la entrada de la alcantarilla, en lugar de fluir sobre la larga cara de relleno externa recientemente construida y descubierta. Para minimizar la escorrentía del camino que ingresa directamente al cruce, se puede realizar un peralte hacia afuera en las áreas cercanas del camino y se debe colocar un vado ondulante superficial camino arriba del cruce para drenar la superficie del camino. Los administradores de explotación forestal y las haciendas suelen usar rellenos entre laderas ya que los camiones con remolque pasan mejor por un cruce entre laderas y no es necesario que la superficie del camino sea tan ancha como debería. Según las velocidades de vehículos esperadas, los peraltes hacia afuera pueden ser la mejor alternativa en caminos rurales utilizados por el público.

La opción más tradicional consiste en construir la calzada con una forma de camino con peralte hacia afuera a lo largo del cruce. La escorrentía de la superficie del camino puede controlarse con una berma externa que luego descargue en el suelo nativo en el borde del relleno del camino o sea transportada a la base del nuevo relleno en un drenaje de berma o un drenaje de alcantarilla de tapa abierta o blindada (con superficie de rocas). Sin embargo, las bermas tienen tendencia a provocar fallas y solo deben utilizarse cuando se pude realizar un mantenimiento regular durante la estación húmeda. Una vez que la calzada tome forma y se haya colocado la coraza en las áreas de entrada y salida, los suelos de los terraplenes desnudos deben ser sembrados con pasto (preferentemente especies no permanentes o nativas, no invasivas) y luego molidos para reducir la erosión durante los primeros años y hasta que crezca la vegetación. Si la cara del relleno tiene mucha vegetación con pasto en el momento en el que caen las primeras lluvias, es posible que no se requiera berma para evitar la erosión de la superficie en el nuevo terraplén.

Como medida de protección final, se debe instalar una malla de residuos o una barrera de escombros aguas arriba de la entrada si existe algún riesgo de que las ramas y trozos taponen la entrada de la alcantarilla (ver Capítulo 4—Barreras de escombros y mallas de residuos). Esto es especialmente importante en caminos forestales con antecedentes de incendios forestales o en los que las áreas cuesta arriba hayan sido limpiadas o cosechadas recientemente o en los que se ha programado una limpieza o cosecha en el futuro y en los que se puede realizar un mantenimiento suficiente. Las barreras de escombros o mallas de residuos aumentan los costos de inspección y mantenimiento ya que requieren una limpieza intermitente de los escombros leñosos después de las tormentas. Al mismo tiempo, las rejillas contra escombros pueden evitar que un cruce de arroyo tenga fallas o envíe grandes volúmenes de sedimentos erosionados corriente abajo y dejen al camino inaccesible hasta que bajen las aguas de crecida y se puedan realizar reparaciones.

4. CRUCES DE ARROYOS TEMPORALES

Por definición, los cruces de arroyos temporales son diseñados para ser retirados. Al igual que en el caso de los puentes, la instalación de un cruce temporal debe provocar la mínima perturbación del lecho del canal y de los bancos y se debe utilizar la menor cantidad posible de material de relleno. El objetivo es dejar el sitio casi sin perturbaciones y que esté sujeto a una mínima erosión tras la eliminación del cruce.

Al igual que en la instalación de otros cruces de arroyos, debe haber muy poco o ningún vertido lateral en los alrededores del canal. Se deben colocar marcas coloridas, mantillos de paja o algún otro marcador en el fondo del canal para que se pueda identificar claramente el fondo del canal natural cuando se retire un cruce temporal. El cruce temporal debe construirse en la parte superior del marcador. Si el curso de agua es cavado o está fluyendo al momento de la instalación, se pueden instalar troncos temporales, troncos y alcantarillas, rellenos entubados o puentes temporales.[1]

Para los cruces de troncos, la vegetación debe ser podada del trazado y del lecho del cauce y los bancos, en lugar de ser barridos con un tractor. Luego, se coloca paja en el lecho y contra los bancos para ayudar a identificar las márgenes originales del canal y para proteger el canal de perturbaciones. En un canal de un arroyo vivo (que fluye), se debe colocar una alcantarilla capaz de transportar los flujos esperados durante el periodo de operaciones en la base del relleno de troncos. Los troncos son sujetados en grupos mediante eslingas de cable de acero y luego son descendidos al canal. Los troncos sujetados con cables facilitan la operación, que puede realizarse en un solo paso mediante un bulldozer, un cargador o una excavadora. Cuando se acumule un "relleno" de troncos que sea de alrededor de 18 pulgadas del nivel del cruce temporal, los grandes espacios vacíos que queden pueden rellenarse con troncos más pequeños. Luego se coloca tela geotextil o una capa de paja de 6" a 12" en la parte superior de los troncos para evitar que el suelo de la superficie suprayacente del camino se infiltre a través de los troncos en el lecho del canal y se lave corriente abajo (Figura 159). En general, el suelo local es adecuado para la superficie estable y la capa de tela o paja permite la fácil remoción del relleno de recubrimiento del suelo.[2]

J. ALCANTARILLAS DE ALIVIO DE CUNETAS

1. UBICACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS DE ALIVIO DE CUNETAS

Las alcantarillas de alivio de cuentas cerca de canales y áreas inestables son las estructuras de drenaje más importantes que deben ser ubicadas e instaladas con

1 El tipo más común de cruce de puente temporal en caminos forestales y rurales es el puente de vagón plataforma. Ver Capítulo 4, Sección C(4) y Capítulo 5, Sección I(2) sobre diseño e instalación de cruces de puentes.

2 En California, este tipo de cruces temporales suele denominarse cruce de "Spittler", ya que fueron creados por Thomas Spittler, Estudio Geológico de California (retirado) (Spittler, 1992).

FIGURA 159. *Vista oblicua de un cruce de un camino forestal temporal en un arroyo perenne con peces. En primer lugar, biólogos especializados utilizaron técnicas de electro-pesca en el canal superior e inferior para eliminar y relocalizar a peces o anfibios. El cruce estaba compuesto por dos alcantarillas de 18 pulgadas de diámetro, cubiertas de grava, tela geotextil, docenas de troncos, más tela geotextil y una superficie de tránsito gruesa de 12 pulgadas compuesta de suelo local. Los troncos no siempre son necesarios, pero se agregaron para elevar la superficie del camino para facilitar el paso. Los materiales que forman parte del cruce temporal pueden retirarse con facilidad al momento de finalizar las operaciones.*

cuidado. Los elementos más importantes para el drenaje de cunetas en caminos construidos o reconstruidos recientemente son la ubicación (el lugar al cual descargan la escorrentía de la carretera), el espacio (la frecuencia con la cual proporcionan drenaje de la cuneta) y la calidad del agua (si el flujo de la zanja es enviado a un arroyo, ¿el arroyo es transparente o túrbido?). El objetivo es evitar o minimizar la conectividad hidrológica entre la escorrentía sucia del camino y el arroyo y evitar la erosión o las fallas de pendiente en el punto en el que se libera el flujo de la cuneta a la pendiente.

- Cuando el camino se acerca a un cruce de arroyo, las alcantarillas de alivio de cunetas deben colocarse de manera tal que la salida no esté demasiado cerca del arroyo, pero lo suficientemente cerca del cruce como para que el flujo de la cuneta sea interceptado y dirigido a través de la alcantarilla a un área de amortiguación con plantas. El largo restante de la cuneta seguirá fluyendo al cruce del arroyo.

- Cuando le sigue un camino levemente cuesta arriba del canal de un arroyo, es importante identificar los mejores lugares para colocar la salida de la alcantarilla de modo tal que no envíen escorrentía del camino al arroyo. La salida debe ser marcada y luego debe colocarse la alcantarilla de alivio de cunetas según la ubicación de esta salida.

- Cuando trabaje en laderas inestables o potencialmente inestables, se debe tener cuidado de no descargar escorrentía del camino a la inestabilidad de un pendiente y, en lugar de ello, debe elegir crestas estables, pendientes rocosas o bancos estables para liberar la escorrentía.

El área de salida de las alcantarillas de alivio de cunetas debe ser examinada detalladamente para identificar el mejor lugar posible para la descarga. En los caminos existentes, la mayoría de las cunetas drenan a las entradas de una alcantarilla de cruce de arroyo o a alcantarillas de alivio de cunetas que descargan a áreas cuesta abajo. **El factor clave en la construcción de un nuevo camino, y en la mejora de un camino, es garantizar la reducción de la conectividad hidrológica mediante la dispersión de la superficie del camino y la escorrentía de la cuneta antes de que llegue a un arroyo** (Figura 160).

2. INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO DE CUNETAS

Una vez que se hayan identificado las ubicaciones adecuadas para evitar o minimizar la conectividad hidrológica, se pueden aplicar prácticas de construcción estándar para instalar alcantarillas de alivio de cunetas. Las alcantarillas de alivio de cunetas deben instalarse a un ángulo de 30 grados de la cuneta para desviar el flujo de la cuneta y reducir el riesgo de que se produzca erosión y taponamiento de la entrada. Debe tener cuidado de no cavar una gran cuenca de

FIGURA 160.
Las alcantarillas de alivio de cunetas en caminos ribereños que están muy cerca de un canal de un arroyo son difíciles de conectar hidrológicamente. En este caso, se ha anexado una tapa de cierre y tuberías perforables flexibles dobles a la salida de una alcantarilla de alivio de cunetas. La tubería perforable flexible luego es fijada a lo largo del contorno del talud y la escorrentía túrbida de la cuneta se libera lentamente y se esparce en todo su largo.

entrada que pueda provocar que la canaleta debajo de la entrada de la alcantarilla se desmorone, se erosione o se deslice hacia la entrada. Si la alcantarilla tiene un ángulo correcto, en sentido descendiente hacia el camino, no se requiere una entrada de gran tamaño para desviar el flujo a la entrada de la alcantarilla. **Al igual que los vados ondulantes superficiales, primero se debe identificar la ubicación de la salida de la alcantarilla ya que esto afectará el lugar al que llegará la escorrentía en la pendiente y el lugar al que se desplazará la escorrentía.** Una vez que se identifique la salida, se puede ubicar la entrada para lograr un diseño eficaz.

Las alcantarillas de alivio de cunetas deben tener una pendiente al menos 2 a 4% más empinada que la pendiente de la cuneta a la que se dirijan, o de al menos 5 pulgadas cada 10 pies (Figura 48). Preferentemente, las alcantarillas de alivio de cunetas deben ser colocadas en las laderas naturales de modo tal que puedan salir de la base del relleno y drenar directamente a la ladera natural. Esto garantizará que la velocidad del agua sea suficiente como para transportar sedimentos a través del tubo. En general, una alcantarilla con una pendiente del 10% es autolimpiante, pero cuanto más empinada sea major (Figura 161).

El lecho y el material no deben contener rocas y escombros que puedan perforar el tubo durante las tareas de instalación y compactación. Los materiales de relleno deben ser compactados desde el lecho a una profundidad de 1 pie o 1/3 del diámetro de la alcantarilla, según lo que resulte mayor, sobre la parte superior de la alcantarilla. La salida de la alcantarilla puede vaciarse en un vado de rocas, grava, maleza o troncos (Figura 162) para disipar energía, pero si la alcantarilla transporta tanta escorrentía que se forma o podría formarse un barranco, se requiere más drenaje en sentido ascendente para reducir los volúmenes del flujo y eliminar la conectividad hidrológica. La erosión de la salida no suele generar problemas, salvo que la erosión se extienda cuesta abajo en forma de barranco.

K. VADOS ONDULANTES SUPERFICIALES

Los vados ondulantes superficiales son simples roturas en la pendiente de un camino. Descienden hacia la

FIGURA 161. *Al igual que las alcantarillas de cruces de arroyos, las alcantarillas de alivio de cunetas deben instalarse en la base del relleno del camino y, si es necesario, con una coraza en la entrada y cierto tipo de disipación de energía en la desembocadura. Si la alcantarilla se coloca alta con respecto al relleno, se debe utilizar una bajada anclada para transportar el flujo desde la salida corriente abajo hasta la base del relleno. (Modificado de: MDSL, 1991)*

cuneta o, más comúnmente, a la parte exterior del borde del camino para drenar y dispersar la escorrentía de la superficie del camino. Los vados ondulantes superficiales se instalan en la calzada cuando sea necesario para drenar la superficie del camino y para evitar surcos y la erosión de la superficie (Tablas 3 y 19) y son los más utilizados en combinación con el peralte hacia afuera del camino. A medida que el camino se vuelve más empinado, los vados ondulantes superficiales deben ser menos espaciados, más empinados y con peralte hacia afuera en un ángulo más empinado para capturar y desviar adecuadamente la escorrentía del camino (Figura 163). Los caminos cubiertos de rocas con una pendiente del 20% o levemente empinadas puede construirse con vados ondulantes superficiales, pero se debe limitar el tránsito a los vehículos con tracción en las cuatro ruedas. En general, los caminos con una pendiente del 8 al 12% pueden tener un peralte hacia afuera con vados ondulantes superficiales y aún así adaptarse a la mayoría de los tipos de vehículos.

Es relativamente fácil localizar y construir adecuadamente vados ondulantes superficiales si son diseñadas

FIGURA 162.
Siempre que la pendiente de la alcantarilla esté significativamente más empinada que la cuneta servidora (para que pueda auto-limpiarse), se pueden instalar alcantarillas de alivio de cunetas más altas en el relleno. La alcantarilla emergente debe adaptarse con un codo y una bajada anclada para tomar el flujo de la base del relleno. Se deben instalar anclas de pendiente (ver foto) aproximadamente cada 20 pies pendiente abajo para evitar la separación de la alcantarilla.

FIGURA 163.
Varios vados ondulantes superficiales amplios en sucesión, cerca de un camino rocoso con peralte hacia afuera construidos en un terreno moderadamente empinado. A medida que aumenta la pendiente del camino, los vados ondulantes superficiales deben estar menos espaciados.

en el plano original para la construcción del nuevo camino. En ese caso, son diseñadas con características de corte y casi no se utilizan rellenos en su construcción. Sin embargo, también pueden instalarse en los caminos existentes para mejorar el drenaje de la superficie. **En los caminos existentes, se cortan vados ondulantes superficiales de la calzada con el relleno excavado utilizado para crear la inclinación inversa (joroba ancha) en la parte de bajada del vado.** Los vados ondulantes superficiales en los caminos existentes pueden construirse en aproximadamente una hora, o menos, utilizando un bulldozer mediano (tamaño D-5), un nivelador o una excavadora. Los caminos no pavimentados se reconstruyen con más facilidad si se utilizan vados ondulantes superficiales, pero las superficies de caminos rocosas también pueden reconfigurarse y luego renovarse.

Según la pendiente del camino, la excavación de un vado ondulante superficial suele comenzar a los 50 a 100 pies del camino ascendente, en donde se planifica el eje del vado (Tabla 20). El material se excava progresivamente desde la calzada, creando una pendiente levemente empinada, hasta llegar al eje. Esta es la parte más profunda de la excavación y la profundidad general es determinada por la pendiente del camino.

Cuanto más empinado sea el camino, más profunda deberá ser la zanja para revertir la pendiente de la carretera y generar escorrentía suficiente para derramarla a la parte exterior del camino (Tabla 20). Esto se denomina "cambio de inclinación" o inclinación inversa (Figura 34). En caminos empinados, la mayor pendiente hacia afuera a través del eje del vado ondulante superficial puede excluir la necesidad de realizar inversiones de pendiente bruscas, "llevando" la escorrentía de la superficie a la parte externa de la carretera mediante el uso de peralte hacia afuera sin requerir una verdadera pendiente inversa (Figura 164).

En los caminos forestales y rurales con una pendiente de menos del 12%, el largo de un vado ondulante superficial (desde el comienzo cuesta arriba al punto mínimo hasta el extremo cuesta abajo) depende de la pendiente del camino y del tipo y la velocidad del tránsito vehicular que usa el camino. Los vados ondulantes superficiales deben ser funcionales y eliminar la escorrentía de la superficie, pero no deben ser un riesgo para la seguridad ni ser vistos como una montaña rusa o provocar que el tránsito deba reducir significativamente la velocidad mientras conduce por el camino. Idealmente, la mayoría de los conductores no deben saber ni pensar que están conduciendo por

FIGURA 164. *En caminos más empinados (aproximadamente más del 15 o 18%), los vados ondulantes superficiales de pendiente inversa son cortos y empinados y podrían ser difíciles para el paso de cierto tipo de tráfico. Alternativamente, se puede construir un vado ondulante superficial de Tipo 3 en donde la escorrentía de la superficie del camino se drene fuera del camino mediante el aumento local del peralte hacia afuera en lugar de revertir la pendiente con un vado.*

una estructura de drenaje del camino. Ya sea que se trate de tránsito comercial o residencial, el tráfico de mayor velocidad requiere de vados ondulantes superficiales más largos para que las zanjas y las jorobas no provoquen que los elementos reboten o floten en el interior del vehículo en velocidades de conducción normalmente seguras para ese camino. Se debe tener cuidado para garantizar que los operadores de niveladores no rellenen el eje de la zanja con suelo o rocas ni realicen un corte profundo en la parte inferior de la sección elevada, eliminando el cambio de inclinación.

Para dirigir de manera efectiva y segura la escorrentía al costado del camino, el vado ondulante superficial debe tener un peralte hacia afuera al menos 2 al 4% mayor que la inclinación del camino que lleva a la zanja. Si el eje de la zanja es plano o demasiado leve (no tiene suficiente pendiente), se acumulará agua y se crearán baches y charcos que impedirán el flujo del tránsito. En el eje del vado ondulante superficial típico del camino, la pendiente de la calzada debe ascender levemente para garantizar que la escorrentía se desvíe por la zanja y no pueda continuar por la superficie del camino. El aumento de la inclinación (inclinación inversa) debe realizarse para aproximadamente 10 a 20+ pies antes de que la superficie del camino comience a descender nuevamente a su pendiente original. Esta transición del fondo del eje, a través de un aumento de la pendiente, a la pendiente descendente original se logra en una distancia de camino de 10 a 30+ pies, dependiendo de la pendiente del camino y de la velocidad del tránsito estimadas.

Si los vados ondulantes superficiales se construyen e instalan correctamente en un espacio adecuado (ver Tabla 19), requieren muy poco mantenimiento. No deben acumular suficiente escorrentía como para desarrollar una erosión significativa en la superficie del camino entre zanjas o en la ladera de la salida de la zanja. Se podrían desarrollar grietas, y quizás un pequeño barranco, en el terraplén externo en el que la zanja descarga la escorrentía, pero esto no suele ser un problema si la calzada no tiene una erosión significativa y la erosión del terraplén no continúa cuesta abajo y envía sedimentos a un canal del arroyo.

L. SUBRASANTE Y PAVIMENTO

La superficie del camino puede ser una gran fuente de sedimentos de grano fino. En algunas cuencas, podría ser la fuente primaria de erosión acelerada (provocada por el hombre) y de producción de sedimentos. La construcción y pavimentación adecuada del camino, junto con las medidas de protección de drenaje de la superficie del camino, pueden reducir significativamente este fuente de turbidez y sedimentos finos.

Los caminos permanentes que se utilizarán para transporte y tránsito en invierno y en estaciones húmedas,

incluso los caminos forestales y rurales y los caminos utilizados para el transporte comercial de productos forestales, deben ser pavimentados para mejorar la transitabilidad y reducir la erosión. Los caminos muy transitadas deben ser inspeccionados regularmente para identificar cualquier signo de daño en la superficie y deterioro structural (Figuras 165 y 166). Los daños graves en la superficie de un camino suelen comenzar con la acumulación de cúmulos gruesos de polvo de roca seca durante el verano o de exceso de agua (y barro) durante el invierno (Figura 167). El agua estancada es una señal de drenaje deficiente del camino (Figura 168) y los surcos indican que el camino se está deteriorando (Figura 169).

Un subrasante estable y bien drenado es esencial para un buen camino. La capacidad de soportar carga de un camino depende de la resistencia del suelo, el drenaje y las características de compactación del subrasante (Tabla 30). El material nativo forma el subrasante del camino y, si es necesario, puede ser excavado, mejorado en el lugar (fortalecido o drenado) o cubierto con agregado. Los subrasantes débiles o húmedos (suelos que no pueden soportar una carga por sí mismos) deben ser fortalecidos mediante el agregado de grava o rocas sueltas o aplastadas, a veces en combinación con telas geotextiles, para brindar resistencia y distribuir la tensión del suelo (Tabla 31).

FIGURA 165. *Debido al tráfico y a la erosión, la pavimentación del camino se ha desgastado y se ven los materiales de base nativos de color más claro y grano más fino. El camino debe ser repavimentado.*

FIGURA 166. *La pavimentación del camino en este camino empinado ha desgastado los materiales de base rugosos, lo cual dificulta el tránsito y reduce la tracción.*

FIGURA 167. *El tránsito pesado o los vehículos comerciales forman polvo de roca seca, lo cual erosiona mecánicamente y desgasta los materiales de pavimentación del camino. La superficie del camino se desgasta y los sedimentos salen del camino como polvo transportado por el aire o como escorrentía durante el próximo evento de escorrentía.*

FIGURA 168. *El agua estancada y el desarrollo de baches son indicadores comunes de un drenaje deficiente del camino.*

FIGURA 169. *Los surcos en este camino estacional indican un deterioro en el subrasante que requerirá la suspensión del tránsito durante los períodos más secos, o el fortalecimiento con la aplicación de* ***materiales geosintéticos, de capa de base y de pavimentación.***

TABLA 30. Características del suelo para materiales del subrasante del camino[1]

Tipo de material	Resistencia, compactación y aptitud de los cimientos	Drenaje	Reacción a heladas	Símbolos comunes de tipos de suelos[2]
Gravas limpias y arena limpia[3]	Buena a excelente	Excelente	Ninguna a leve	GW, GP, SW, SP
Gravas y arena con partículas finas no plásticas[4]	Buena a excelente	Deficiente a malo	Leve a alta	GMd, SMd
Gravas y arena con partículas finas plásticas[4]	Deficiente a buena	Deficiente a impermeable	Leve a alta	GMu, GC, SMu, SC
Cienos y arcilla no plásticos y levemente plásticos[4]	Deficiente a regular	Regular a impermeable (mayormente deficiente)	Media a alta	ML, CL, OL
Cienos y arcilla mediana y altamente plásticos[4]	Muy deficiente a deficiente	Regular a impermeable (mayormente deficiente)	Mediana a muy alta	MH, CH
Turba y otros suelos altamente orgánicos	Muy inestable, compactación deficiente	Deficiente a malo	Leve	Pt

[1]Washington DNR (1982)
[2]Símbolo del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS)
[3]"Limpia" significa que menos del 12% del material tiene un tamaño menor a 1/64" (la partícula más pequeña visible al ojo humano)
[4]La plasticidad puede evaluarse mediante métodos simples, como humedecer levemente una muestra pequeña, rodar las partículas finas para formar una bola y luego un cordón antes de que rompa: El rango de plasticidad incluye: **No plástico**: no se puede formar un cordón sin importar el contenido de humedad; **Baja plasticidad**: luego de 2 o 3 veces, la bola moldeada se rompe; **Mediana plasticidad**: luego de 3 a 5 veces, la bola se rompe fácilmente al ejercer una fuerza moderada (presionando entre el pulgar y el índice); y **Alta plasticidad**: la bola no se rompe, incluso al ejercer una fuerza moderada, luego de cinco intentos.

TABLA 31. Directrices para mecerse de un camino[1]

Factors "para" mecerse de un camino	Factors "para no" mecerse de un camino
El camino está en un clima costero o valle.	El camino está en un clima seco.
El tipo de suelo es débil y pobre drenaje, propensas a la erosión.	Bien drenado, superficie de grava camino.
Grado por camino es empinada, el agua tendrá el potencial para correr por el camino y erosionar la superficie.	Grado camino suave, menos de 8%.
El uso del camino es permanente y se requiere acceso durante todo el año.	El camino se puede usar una vez o en una temporada durante los períodos secos del año.
El uso de los caminos es permanente y se necesita acceso durante todo el año.	El camino puede ser anulado o cerrado después de su uso a corto plazo.
El camino está previsto para el uso pesado.	El camino está previsto para su uso bajo.
Roca es fácilmente disponible y relativamente barato.	Roca es escaso, debe ser transportada largas distancias y es caro de aplicar.
El camino está en una zona de recreo de alto uso, y le será difícil mantener el tráfico fuera del camino durante la estación húmeda.	El camino puede ser bloqueado fácilmente y con eficacia hasta que el clima lo permite.
	El camino se encuentra en una cresta o en lo alto de la ladera, y hay poco riesgo de daños de la erosión.

[1]Modificado de: ODF, 2000

Los suelos húmedos y poco resistentes pueden ser estabilizados mediante el uso de telas sintéticas (geotextiles) diseñadas específicamente para esta aplicación. La tela se distribuye sobre el subrasante y luego es cubierta con una capa de roca base. El agua pasa a través de la membrana, pero el suelo húmedo sigue estando bajo y no se mezcla con la roca base ni con el agregado de la superficie. En consecuencia, la roca se seca con mayor rapidez y la tela distribuye la presión de la carga de los rodados en una superficie de gran tamaño.

En primer lugar, se suele verter una "capa base" de 2 a 3 pulgadas de diámetro de piedra angular con algunas partículas finas (para permitir la compactación) en la superficie de camino nativo compactada usando autovolquetes, que se distribuye a una profundidad uniforme usando un nivelador o tractor y luego es compactada. El uso de un verdadero equipo de compactación (en lugar de tractores) permitirá obtener una superficie de camino de mejor calidad y más duradera, pero los vehículos a tracción o con ruedas también pueden producir una compactación del suelo aceptable si la humedad del suelo está en un nivel óptimo. Las telas geotextiles de diseño pueden utilizarse debajo del material de la capa base si las condiciones de humedad del suelo lo requieren. Luego se esparce una "capa de superficie" más fina de varias pulgadas de espesor sobre el material grueso de base compactado para brindar una superficie de tránsito densa y lisa (Figura 170). Las capas resultantes de piedra angular de bloqueo ofrecerán una superficie de camino de bajo impacto que puede utilizarse todo el año (Figura 171). La superficie de tránsito del camino (distribuida y compactada sobre la capa base) debe ser lisa y resistente y no debe estar sujeta a vientos ni debe lavarse.

Para su utilización en todos los climas, la piedra angular debe ser colocada a una profundidad total de 6 a 10 pulgadas, o más, que luego se compactará a una profundidad terminada de 4 a 6 pulgadas en condiciones de uso normal. La Tabla 32 indica el volumen aproximado del agregado necesario para pavimentar una milla de camino, que va de los 10 a 20 pies de ancho, con una profundidad de 1 a 6 pulgadas.

M. CONTROL DE LA EROSIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción, reconstrucción (mejora), el uso y el mantenimiento de caminos puede provocar la erosión del suelo y problemas de sedimentación de los arroyos.

FIGURA 170.
Sección transversal estructural de un camino que muestra una capa superficial de grava limitada por material más fino, que subyace a una capa de base angular esparcida y compactada en un subrasante natural estable.

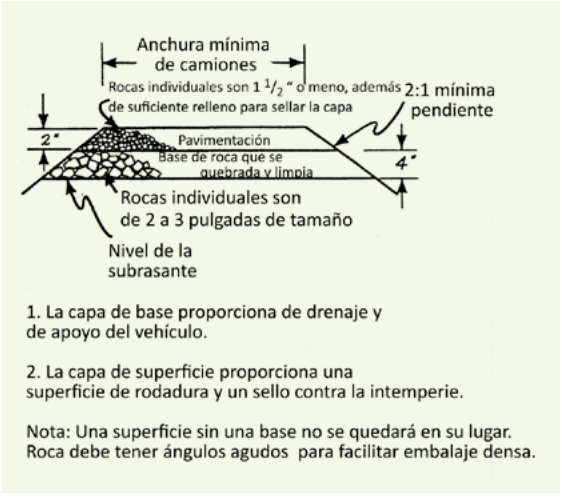


FIGURA 171.
Diagrama transversal que muestra una capa de base típica y la aplicación de una capa superficial para caminos forestales y rurales (USDA-SCS, 1983).

TABLA 32. Agregado (yardas³) necesario para pavimentar o blindar una milla de camino[1]

Ancho del camino (pies)	Profundidad de la roca no compactada (pulgadas)					
	2”	4”	6”	8”	10”	12”
10’	326	652	978	1.304	1.630	1.956
12’	391	782	1.174	1.564	1.956	2.348
14’	456	913	1.369	1.826	2.282	2.738
16’	522	1.043	1.565	2.086	2.608	3.130
18’	587	1.174	1.760	2.348	2.934	3.520
20’	652	1.304	1.956	2.608	3.260	3.912

[1]USDA – USFS (1978). 16,3 yardas³ no compactadas equivalen a 1 en profundidad por 1 pie de ancho por 1 milla de largo. Cuando el agregado se compacta, aumentan los volúmenes requeridos en un 15 a 30%, según el tipo y la gradación del material.

De hecho, se ha determinado que los caminos son una de las principales fuentes de erosión provocada por el hombre y producción de sedimentos en cuencas forestales forestadas y administradas. Parte de la erosión es provocada por la mala ubicación y el mal diseño de los caminos, pero otra parte proviene claramente de la planificación inadecuada del control de la erosión y los sedimentos en el sitio de construcción. Las prácticas adecuadas de construcción, reconstrucción y mantenimiento de caminos forestales y rurales reducen la erosión a largo plazo y la sedimentación de los arroyos de cuencas forestales. Sin embargo, incluso los caminos bien ubicados, diseñados y construidos necesitan medidas de control de la erosión para minimizar la pérdida de suelo y la producción de sedimentos.

1. CAMINOS Y PLATAFORMAS

Se requieren medidas mecánicas y de vegetación para minimizar la erosión acelerada provocada por caminos, plataformas y desvíos en construcción. La prevención eficaz de la erosión requiere una ubicación adecuada del camino, la planificación previa de los cortes y rellenos, la reducción de la exposición del suelo, la compactación de rellenos o la disposición final de material de relleno suelto de pendientes empinadas y áreas laterales de arroyos, el desarrollo de cortes y terraplenes estables, un drenaje eficaz de la superficie de la carretera, cubrición del suelo para controlar la erosión de la superficie durante el primer año y siembra y plantación para una prevención de la erosión a más largo plazo.

Los terraplenes deben ser construidos en ángulos estables para evitar una falla masiva y el envío de sedimentos a los arroyos. Las pendientes que desarrollan inestabilidad, especialmente aquellas que amenazan con enviar sedimentos a los canales del arroyo, deben ser estabilizadas o eliminadas inmediatamente. No deben incorporarse escombros leñosos al material de relleno de vertido lateral durante la construcción ya que se descompondrán y pueden provocar inestabilidad en la futura pendiente y fallas (desmoronamientos) muchos años o décadas después de su entierro. La mezcla de escombros leñosos y suelo alrededor del perímetro externo de plataformas y desvíos en rellenos de caminos en pendientes empinadas son una fórmula de posible inestabilidad y deslizamiento de tierra. Las fallas poco profundas o pequeñas hendiduras en una canaleta o terraplén pueden ser excavadas (si amenazan con enviar sedimentos directamente al canal del arroyo) o estabilizadas mediante la colocación de grandes rocas en la base de la pendiente para apuntalar los materiales inestables. Las técnicas específicas para construir contrafuertes de roca, paredes de retención, muros de contención de madera y pendientes reforzadas superan el alcance de este manual y requieren el asesoramiento y el diseño de un geólogo ingeniero o ingeniero geotécnico calificado.

Las pendientes descubiertas creadas por operaciones de construcción también deben ser protegidas hasta que la vegetación pueda estabilizar la superficie. La erosión de la superficie en cortes y rellenos expuestos puede minimizarse mediante cubrición del suelo, siembra, plantación, compactación, acorazado o construcción en bancos antes de las primeras

lluvias. La instalación de camellones de filtrado en la base de los nuevos rellenos del camino puede minimizar el movimiento del suelo erosionado a áreas cuesta abajo y canales de arroyos. Se instalan usando equipos pesados a medida que el camino se limpia y nivela. Durante la construcción, también es importante retener los árboles y arbustos enraizados en la base del relleno como "ancla" para el relleno y los camellones de filtrado (Figura 172).

Las actividades de construcción de caminos deben realizarse durante la estación "seca" y todas las estructuras de drenaje de la superficie deben ser instaladas y terminadas antes de que comience el invierno o las lluvias de la estación húmeda (15 de octubre para los caminos forestales de California). Cuando las actividades de construcción o reconstrucción se realizan cerca de un curso de agua vivo, se podrían requerir mallas de retención o diques de retención con fardos de paja en el canal y en las pendientes adyacentes durante la fase de construcción. El uso de los caminos durante el período de invierno podría requerir la aplicación de pavimento para evitar el deterioro del camino, controlar la erosión y evitar el transporte de sedimentos a los arroyos cercanos. Las escorrentías con barro de los caminos sin pavimentar pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos que fluyen a través de alcantarillas y hacia arroyos.

2. SITIOS DE DISPOSICIÓN DE ESCOMBROS, SITIOS DE PRÉSTAMOS Y BANCOS DE ROCAS

La erosión también debe controlarse en áreas en las que se hayan creado grandes extensiones de suelo desnudo, como sitios de disposición de escombros, sitios de préstamos y bancos de rocas. La adecuada ubicación, excavación y desarrollo topográfico de los sitios de disposición de escombros y de los bancos de rocas son fundamentales para garantizar el drenaje controlado y minimizar la erosión y los problemas de sedimentos. Cuando se colocan en pendientes, los desechos se deben

FIGURA 172. *Camino forestal con peralte hacia afuera recientemente construido con una línea de residuos acumulados, denominada camellón de filtrado, en la base del relleno para atrapar el suelo erosionado de la nueva pendiente del relleno. Los residuos deben ser colocados en la base del relleno y no deben ser incorporados al material del suelo. Este relleno ha sido recubierto con paja y cubierto con una fina capa de pasto. Es muy importante que se instalen camellones de filtrado en lugares en los que los caminos se acercan o cruzan canales de arroyos. Observe cómo el camino forma la topografía de la tierra e incorpora vados ondulantes superficiales en bajíos naturales para eliminar la escorrentía de la superficie.*

distribuir en capas y se deben compactar para desarrollar resistencia en los materiales. Los sitios de disposición de escombros, sitios de préstamos y bancos de rocas no deben estar ubicados cerca de arroyos o en lugares donde el vertido lateral, los embalses o la escorrentía cargada de sedimentos pueden llegar al curso de agua.

Cuando se está construyendo un banco de rocas, el suelo de la parte superior y la sobrecarga se deben acumular para su posterior uso como suelo de superficie de recuperación. Durante el desarrollo y el uso de sitios de préstamos y sitios de disposición, también es importante mantener el drenaje interno y externo controlado. Los flujos de salida deben dispersarse para evitar la erosión y el agua debe ser dirigida a través de estanques y áreas de filtrado con plantas para atrapar sedimentos. La escorrentía no debe dirigirse directamente a un curso de agua.

Las áreas de disposición rellenadas y los bancos de rocas deben ser recuperados de manera permanente. Esta actividad podría estar regulada en su área. Por ejemplo, el desarrollo y la recuperación de bancos de rocas y sitios de cambiar el tamaño en terrenos privados en California podría estar sujeto a las regulaciones de la Ley de Rehabilitación y Minería Superficial (SMARA) de California si las excavaciones propuestas son superiores a 1 acre en tamaño o a 1000 yardas^3 en volumen (Figuras 173a y 173b). Los sitios de disposición deben ser molidos y

FIGURA 173A. *Banco de rocas antes de la rehabilitación. Se utilizaron rocas extraídas, desgarradas y de explosiones como materiales de base, pavimentación y enrocamiento de protección del camino en toda el área de la cuenca fluvial. La rehabilitación consistió en la reconstrucción del camino de acceso y el uso de materiales de residuos excavados y los residuos de la cantera para reconstruir el banco abierto y la cara de la cantera.*

FIGURA 173B. *Vista del mismo banco de rocas luego de un trabajo de reconstrucción, sembrado, cubrición y plantación. Las áreas expuestas han sido reformuladas y cubiertas con suelo para fomentar la revegetación. El área luego fue cubierta, sembrada y plantada. El trabajo de rehabilitación se realizó mediante una excavadora y un bulldozer grande.*

sembrados, o pueden ser hidrosembrados usando una lechada de abono y semillas, antes de las lluvias del invierno (Figura 174). Las áreas compactadas deben ser marcadas para promover la revegetación. Las áreas de roca desnuda deben tener un peralte hacia afuera y ser cubiertas con varios pies de suelo. Luego, las áreas descubiertas deben ser cubiertas con maleza y especies de árboles que puedan crecer bien en el ambiente alterado.

3. CRUCES DE ARROYOS

Los cruces de arroyos son los sitios en los que los caminos entran en contacto directo con el agua que fluye. Por este motivo, es fundamental que se apliquen medidas de control de la erosión adecuadas y suficientes para garantizar que la erosión y la sedimentación de los rellenos entubados, puentes u otros sitios de construcción no ingresen en el curso de agua. La prevención de la erosión y el control de la erosión en los cruces de arroyos se centran en cuatro elementos principales:

1. evitar fallas (erosión) en los cruces de arroyos provocadas por fallas en la estructura de drenaje y rebalses;
2. evitar el desvío de arroyos como consecuencia de fallas en la estructura de drenaje;
3. proteger, estabilizar, controlar la erosión y revegetar los rellenos de cruces de arroyos construidos (y reconstruidos) recientemente; y
4. minimizar la "escorrentía" de sedimentos finos de los alrededores de caminos adyacentes conectados hidrológicamente.

Algunos tipos de cruces de arroyos son más vulnerables a la erosión que otros. Los cruces entubados son más susceptibles a la erosión que la mayoría de los demás tipos de cruces, si bien los rellenos blindados y los vados endurecidos también son susceptibles a la erosión y a las fallas. En general, los problemas surgen mayormente en las entradas, salidas, rellenos y superficies del camino de la estructura de drenaje. Puede encontrar una gran cantidad de ideas de diseño de cruces de arroyos en el Capítulo IV y estas ideas abordan las fuentes de posibles erosiones y fallas más importantes.

Especialistas en control de erosión y geólogos calificados pueden ayudarle a diseñar e instalar estructuras de control de erosión especiales. **Sin importar la medida que elija, cualquier técnica de control de la erosión debe ser correctamente instalada y recibir un mantenimiento regular para ser eficaz.**

Las medidas de prevención de la erosión y de control de la erosión para cada una de estas áreas se suelen utilizar para limitar la erosión durante y después de la construcción. Estas incluyen:

FIGURA 174. *Luego de esparcir y compactar el material de residuos transportado para su disposición final de un proyecto de camino, este sitio de disposición de residuos fue sembrado y cubierto usando un elevador de paja y plantado con árboles.*

- Construcción de un diseño de drenaje "sumergido" o zanja crítica en cada relleno de cruce de arroyo que tenga riesgos de desviarse.

- Instalación de una armadura rocosa o entradas acampanadas para proteger la entrada del tubo de la socavación y erosión (ver Capítulo IV). Las rejillas contra escombros (barreras de residuos) pueden evitar el taponamiento de la entrada de la alcantarilla y la subsiguiente erosión del relleno.

- Las salidas de las alcantarillas deben tener una extensión de hasta 6 pies más allá de la base del relleno del camino y descargar al canal natural del arroyo para minimizar la erosión de la salida. La armadura rocosa puede utilizarse en la salida de la alcantarilla y alrededor de la misma para evitar la erosión por el flujo de movimiento rápido.

- Recubrimiento de rocas en los alrededores del camino conectados y drenaje frecuente del camino y las cunetas en las áreas de amortiguación adyacentes con vegetación.

- La calzada puede realizarse entre laderas a través del cruce o el camino puede tener un peralte hacia afuera y estar situada en una berma para alejar la escorrentía del nuevo terraplén externo erosionable.

- Los nuevos terraplenes muestran una mayor erosión en sus primeras estaciones húmedas, hasta que se estabilizan. Instalación de armaduras rocosas alrededor de la nueva salida y entrada de la alcantarilla para atrapar sedimentos que se erosionen desde más arriba en el nuevo relleno antes de que puedan llegar al arroyo.

- También se pueden construir mallas de retención o barreras de fardos de paja en cortes y rellenos muy grandes en áreas de suelo desnudo y empinado para retener el suelo que se erosione de la superficie.

- Las mallas de retención, las barreras de retención de fardos de paja y los rollos de paja se han convertido en una práctica estándar en muchos sitios en construcción. Para que estas medidas sean exitosas, deben ser correctamente diseñadas, construidas y mantenidas durante el tiempo que estén instaladas.

- El mejor tratamiento para la erosión de la superficie en pendientes inferiores al 50% es cubrir el suelo y revegetar las áreas descubiertas lo más rápido posible. La erosión de la superficie se controla inmediatamente en estas pendientes mediante la aplicación de una capa continua y completa de cubierta o de una manta de cubierta comercialmente disponible, y el sembrado de la superficie para que crezca un pasto sano o legumbres antes de que lleguen las primeras lluvias (Figura 175).

FIGURA 175. *La cobertura y el sembrado son métodos eficaces para controlar la erosión de la superficie de las pendientes del relleno descubierto. La cubierta vegetal protege al suelo hasta que crezca el pasto y la vegetación. Sin embargo, como se descompone rápidamente, el manto de paja es eficaz únicamente durante el primer año. Luego de eso, la vegetación bien establecida debe brindar la protección necesaria.*

- El control de la erosión a largo plazo en las pendientes de corte y relleno nuevas requieren la plantación y el sembrado de especies boscosas de rápido crecimiento.

- La revegetación exitosa de los rellenos de cruces de arroyos y otras áreas de suelos descubiertos no siempre es tan simple como arrojar una mezcla estándar de semillas de pasto. Las condiciones del sitio, por ejemplo el tipo de suelo, la exposición, el aspecto, la elevación, las temperaturas del verano y del invierno, la sequedad o humedad del suelo y otros factores del sitio podrían requerir el uso de especiales de plantas únicas o nativas, técnicas de plantación especiales, momentos de plantación especiales, regado durante el primer año, fertilizantes o mejoras del suelo. Debe consultar con un botánico forestal, ecologista, su asesor agrícola local o un especialista del Distrito de Conservación de Recursos o del Servicio de Conservación de Recursos Naturales capacitado para conocer las recomendaciones de su área.

4. PREVENCIÓN, CONTROL Y ESTABILIZACIÓN DE BARRANCOS

Causas de formación de barrancos relacionados con el camino: los barrancos suelen asociarse con caminos mal diseñados y mal construidos. Los barrancos relacionados con el camino suelen ser provocados por 1) la acumulación y descarga de escorrentía de la superficie del camino, 2) alcantarillas de alivio de cunetas múltiples, 3) alcantarillas de alivio de cunetas que descargan demasiado flujo a laderas erosionables, 4) cunetas al costado del camino largas o empinadas, 5) alcantarillas de cruce de arroyos pequeñas o taponadas que provocan rebalses y barrancos (lavado) del relleno, 6) alcantarillas de cruce de arroyos mal instaladas que descargan flujo al terraplén (alcantarillas múltiples) o en laderas sin protección, 7) arroyos desviados que provocan barrancos en los caminos y laderas y 8) cruces de arroyos sin estructura de drenaje.

En general, los barrancos de mayor tamaño son aquellos que se forman cuando el flujo del arroyo se desvía del canal hacia laderas empinadas y sin protección. La erosión de los barrancos de desvíos de arroyos puede provocar graves daños al sistema de caminos y las laderas adyacentes. Las pendientes empinadas, suelos erosionables, las prismas de caminos no pavimentados, los altos niveles de tránsito y el uso del camino en la estación húmeda también contribuirán a empeorar la perforación y la erosión del barranco (Figura 176). En tramos de camino más largos, la erosión laminar avanzará hasta provocar una perforación y luego un barranco (Figura 177).

Una vez que se forman barrancos, se seguirán agrandando hasta que encuentren un sustrato rocoso o un basamento rocoso duro o hasta que se elimine la fuente de la escorrentía. Los barrancos relacionados con el camino pueden generar grandes volúmenes de sedimentos, enviarlos de manera eficiente a arroyos y afectar gravemente la calidad del agua y el hábitat acuático (Figura 178). Este es el caso de los suelos muy erosionables, incluso los suelos desgastados y graníticos descompuestos (DG).

Prevención de barrancos: **es mucho más fácil prevenir la erosión de los barrancos que controlarlos una vez que se forman.** Cuando los caminos han sido diseñados y construidos adecuadamente, la erosión del barranco relacionada con el camino debe ser mínima, o en lo posible inexistente. La erosión del barranco relacionado con el camino se produce como resultado de la acumulación y descarga de escorrentía de la superficie del camino. El drenaje deficiente del camino genera perforaciones y barrancos en cunetas, en la superficie del camino o en laderas adyacentes en donde la escorrentía concentrada se haya liberado. Los procesos erosivos pueden prevenirse mediante la dispersión de la escorrentía del camino, de modo tal que no haya suficiente flujo como para causar perforación y formación de barrancos. Las técnicas son simples y directas.

La segunda fuente de erosión del barranco junto a los caminos es consecuencia de los procesos erosivos en los cruces de arroyos. Como ya se explicó previamente, los barrancos en cruces de arroyos pueden evitarse si se aplican las siguientes medidas:

1. diseño e instalación adecuados de estructuras de drenaje en todos los cruces de arroyos;

2. diseño de alcantarillas de cruce de arroyos para el flujo de diseño de 100 años, que incluya las cargas residuos y sedimentos;

3. instalación de hondonadas críticas en cruces de arroyos que tengan un potencial de desviación; y

4. instalación de alcantarillas de cruce de arroyos adecuadamente alineadas en la base del relleno del camino con proyección de la entrada y salida de la alcantarilla que sobrepase la cara del relleno.

FIGURA 176.
Perforación de la superficie en un camino estacional empinado construido en suelos nativos, erosionables y de grano fino. Se han construido camellones para drenar la escorrentía de la superficie, pero la erosión se produce en tramos cortos del camino expuesto.

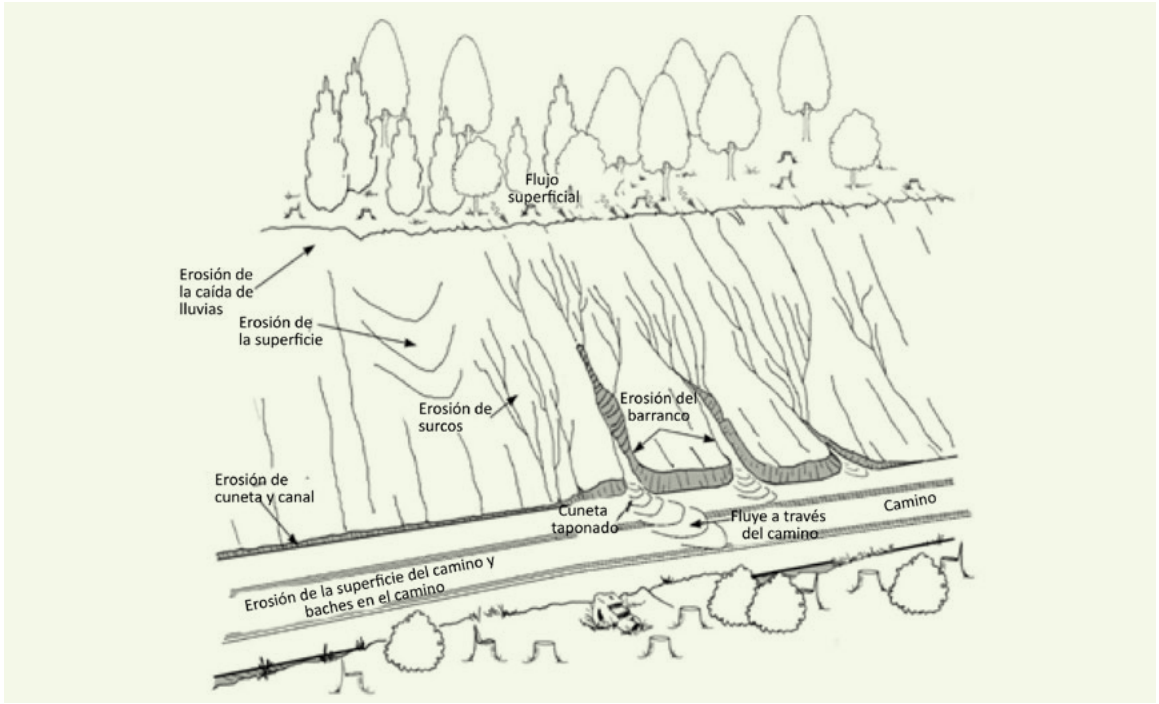


FIGURA 177.
Tipos de erosión fluvial en cortes marginales, áreas de suelo descubierto y superficies de caminos. (Keller y otros, 2011)

FIGURA 178.
Tres barrancos extremadamente largos formados enteramente por tramos largos de camino que drenan a una alcantarilla de alivio de cunetas. Los barrancos formados en sucesión, de derecha a izquierda, ya que el propietario movió la ubicación de la alcantarilla cuando el camino comenzó a ser amenazado por la socavación en cada sitio.

Control y estabilización de barrancos: en algunos casos, se necesitarán medidas de control de la erosión para controlar la expansión y el agrandamiento de los barrancos existentes. **La medidas más eficaz de control de barrancos consiste en eliminar (quitar) o reducir el flujo de agua que ingresa al barranco. Sin flujo, el barranco se estabilizará naturalmente y dejará de agrandarse.** Si eso no es posible, se pueden adoptar otras medidas de control de barrancos como métodos estructurales o biotécnicos, o una combinación de ambos, con la finalidad de estabilizar la erosión en los barrancos y las paredes laterales, así como para evitar la futura degradación del canal. Estos métodos suelen ser costosos y, si son diseñados e implementados deficientemente, pueden provocar una erosión continua o mayor.

La estabilización física de un barranco consiste en 1) controlar la erosión en cabecera y el movimiento, 2) controlar la degradación del barranco en el largo del barranco y 3) volver las paredes con pendiente muy pronunciada y los vertidos laterales del barranco a un ángulo estable. Las erosiones en la cabecera del barranco suelen ser estabilizadas para instalar ciertos tipos de estructuras de coraza o transporte en la cabecera para protegerla de la erosión o para transportar el flujo en la base de la cabecera. Las estructuras pueden estas compuestas de estructuras de colchón de gaviones, concreto, madera o en el punto de ruptura o en la cabecera del barranco (Figura 179). Estas estructuras son utilizadas para blindar la cabecera y permitir el flujo desde la cabecera hasta el fondo del barranco sin generar una migración remontante.

Es importante que estas estructuras de caída tengan una forma y un área (ancho y profundidad) transversal distintivas para contener y transportar los flujos pico. Deben abarcar todo el ancho del barranco y ser buen fijado en el lecho y los bancos para evitar el riesgo de socavación del flujo debajo o alrededor de los bordes de la estructura de caída o coraza. La base de la estructura de caída debe estar blindada con una plataforma de enrocamiento de protección para disipar la energía y evitar la socavación del canal y de la pared lateral que puede desestabilizar el barranco. De manera similar a la construcción de un cruce de relleno blindado, las rocas deben tener diferentes tamaños para resistir punteados o ajustes significativos durante los flujos pico.

Los bancos de barrancos inestables, con una pendiente demasiado pronunciada o erosionables pueden requerir un reprocesamiento para establecer gradientes de pendiente estables (por ej., 3:1, 2:1 o 1½:1) y reducir el envío significativo de sedimentos. El reprocesamiento de los bancos de barrancos, junto con el acorazamiento o la revegetación de la pared lateral del barranco más bajo, pueden ayudar a reducir la posibilidad de socavación del barranco

y futuras fallas en las paredes laterales. Si el flujo ha sido eliminado de un barranco existente, y ya no se agranda ni se degrada, es posible que los bancos no requieran un tratamiento adicional ya que se contraerán y estabilizarán naturalmente.

Los canales del barranco pueden estabilizarse mediante la reducción de la gradiente de la pendiente y el aumento de la aspereza del barranco. En general, esto se logra mediante la instalación de estructuras de control de pendiente, por ejemplo diques de contención, en intervalos en el largo del barranco. **Los diques de contención con espacio adecuado provocarán deposición a lo largo de la sección tratada del suelo del barranco de modo tal que los flujos erosivos no se seguirán degradando en el suelo nativo que está debajo.** Los diques de contención puede reducir eficazmente la velocidad de flujo erosiva y promover la deposición de sedimentos que fomenta el crecimiento de vegetación estabilizadora dentro del canal del barranco (Figura 180).

Los diques de contención puede ser construidos con concreto, rocas sueltas, mallas de rocas confinadas, tablas, gaviones, bolsas de arena, troncos o fardos de paja (Figura 181). Los diques de contención de fardos de paja son estructuras temporales que se deteriorarán y caerán después de una temporada húmeda. En general, se desalienta su utilización salvo en el caso

FIGURA 179.
Colchón de gaviones en la cabeza del barranco que acoraza la cabecera y transporte el flujo de la superficie al canal estable debajo. (Del USDA National Engineering Handbook, 2007)

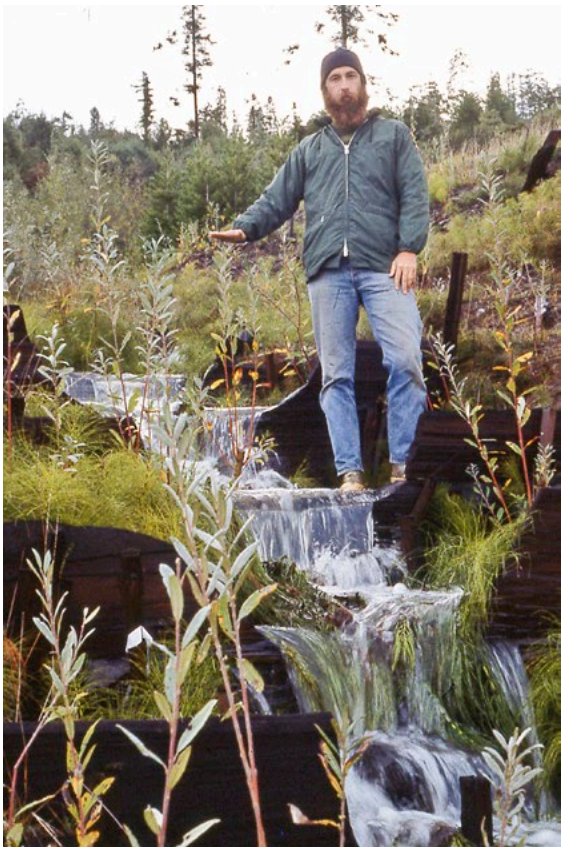


FIGURA 180.
Diques de contención construidos en un barranco para prevenir la erosión y estabilizar el lecho y los bancos. Especies de sauces plantados y creciendo en el lecho y los bancos que estabilizarán el barranco una vez que crezcan las raíces.

FIGURA 181.
Diques de contención correctamente instalados que (1) están correctamente espaciados, (2) tienen vertederos dentados para contener y concentrar el flujo máximo de diseño sobre el centro de la estructura, (3) están insertados en el lecho y los bancos del barranco y (4) acorazados en la base (desembocadura) de cada estructura. Observe que se han plantado especies de sauces en el canal y en los bancos de la quebrada.

de usos a corto plazo, situaciones de emergencia y drenajes de cabeceras muy pequeños (1/2 a 1 acre).

La frecuencia y el espacio de los diques de contención dependen de la altura real de los diques propuestos y de la gradiente del barranco a tratar (Figura 182). La altura real de una estructura de dique de contención es la altura del punto más bajo en el aliviadero que está sobre el suelo del barranco. Los diques de contención deben tener un espacio tal que el agua que fluye hacia el barranco siempre fluya sobre el sedimento almacenado en el fondo del barranco detrás del dique cercano corriente abajo (Figura 182). Así es como funciona la estabilización de la pendiente con diques de contención. El flujo nunca toca el fondo del barranco original y no puede seguir degradándose. De esta manera, los diques deben tener poco espacio entre sí para que el flujo del dique de contención superior fluya al retorno de agua creado por el dique de contención más bajo.

Las estructuras de diques de contención con alturas que superen los 3 pies deben ser diseñadas por un profesional calificado y con experiencia (por ej., un especialista en control de erosión, geólogo o ingeniero geólogo). Los diques de contención instalados deficientemente con materiales sueltos o no fijados provocarán la desestabilización del barranco, corrimiento o socavación, la falla del dique de contención y erosión en la cabecera que puede provocar la falla de otros diques de contención en el barranco (Figura 183). Una vez que se pierde el control de la pendiente en cualquier parte del sistema del barranco, el canal se seguirá degradando y debilitará otras estructuras.

La vegetación también se puede usar para estabilizar los barrancos. Existen métodos biotécnicos disponibles para controlar la erosión en la cabecera y para estabilizar el lecho del barranco (ver debajo). Algunos barrancos de gradiente bajo pueden estabilizarse mediante el uso de una cobertura continua de vegetación en lo que se denomina una vía fluvial sembrada. Esto funciona mejor si se elimina la mayor parte del flujo del barranco y el canal del barranco es reformulado para tener un bajío amplio y suave.

En climas cálidos y húmedos, se puede utilizar pasto vetiver como una alternativa de bajo costo para el control de la erosión de barrancos. Este pasto perenne, en forma de copete, en masa forma raíces densas y muy enraizadas que son lo suficientemente rígidas como

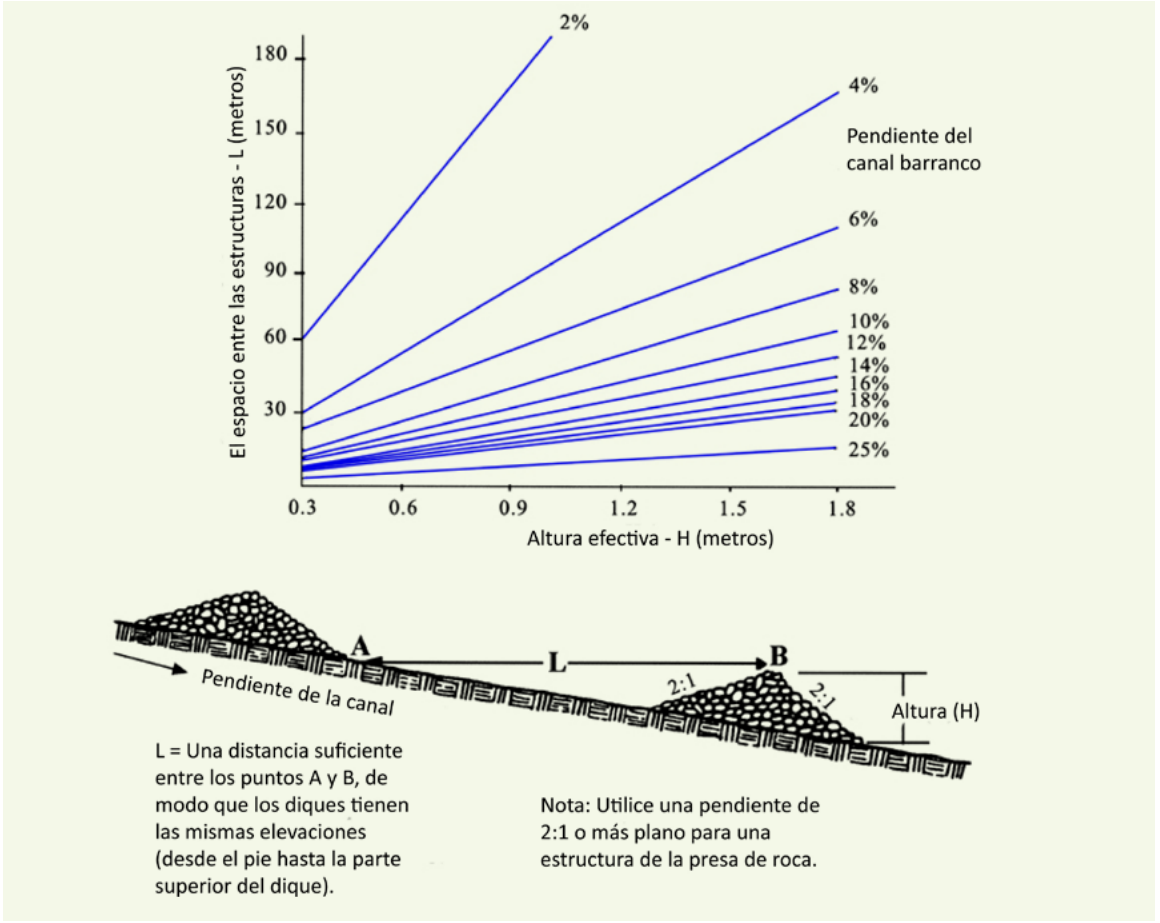


FIGURA 182.
Espaciado de estructura de control de barrancos (Keller y Sherar, 2003)

FIGURA 183.
Diques de contención de rocas mal instalados en una cuneta junto a un camino rural para controlar la erosión. Los diques de contención estaban demasiado espaciados (ver flecha arriba en la cuneta para los diques cercanos), de modo tal que la erosión entre los diques provocaba la degradación y la socavación de las estructuras corriente arriba. El dique en primer plano falló porque 1) no estaba insertado en las paredes laterales o el lecho del canal, 2) la capacidad de desbordamiento era insuficiente y no había disipación de energía en su base.

para resistir las fuerzas erosivas y contener los suelos erosionables. El pasto vetiver puede plantarse en setos de 1 a 3 pies de ancho a lo largo del canal del barranco y en las paredes laterales del barranco a intervalos verticales de 6 a 7 pies. El paso vetiver puede plantarse en áreas muy lluviosas, pero no puede plantarse en áreas de clima frío y heladas y, en consecuencia, no puede utilizarse en regiones frías y muy elevadas.

Por último, la medida de estabilización de un barranco estructural incluye la reformulación y el revestimiento del barranco con una armadura rocosa para que el lecho y los bancos del barranco estén protegidos del agua que fluye (Figuras 184 y 185). Estos métodos pueden ser muy costosos, especialmente si los materiales de roca no están disponibles localmente. Se debe calcular el enrocamiento de protección necesario para las velocidades de flujo esperadas y ser colocado en la entrada superior y en la salida inferior del barranco. El enrocamiento de protección restante debe ser colocado en la superficie de todo el canal del barranco y en las paredes laterales a la altura de los flujos de crecida esperados. Dependiendo de la erosionabilidad de los suelos, pueden colocarse telas geotextiles en el fondo del barranco antes de colocar el enrocamiento de protección.

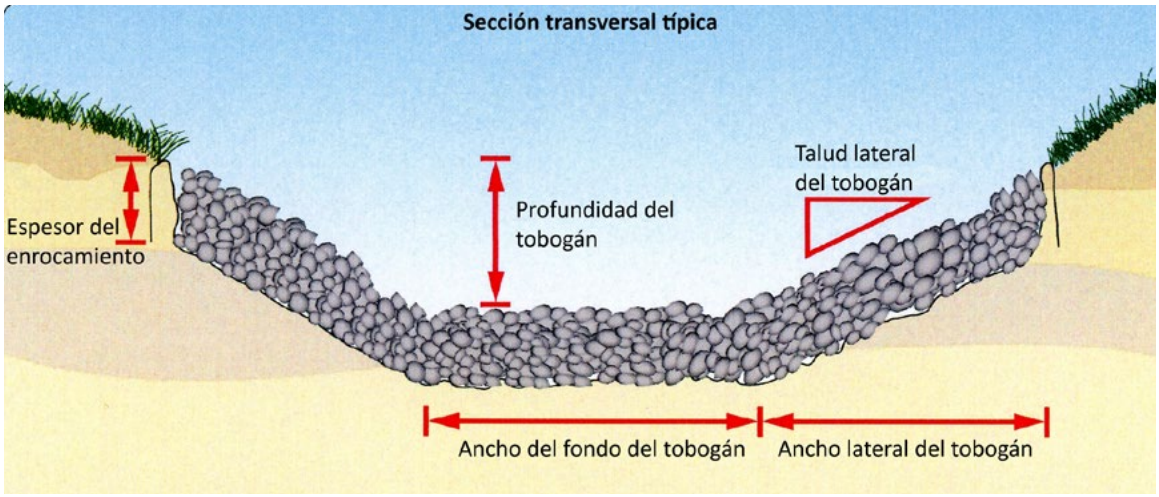
Una vez que se aplican medidas de control de barrancos estructurales, es importante plantar vegetación en todas las áreas de suelos descubiertos en el superficie del barranco. El fondo y las paredes laterales del barranco deben ser sembrados con pastos perennes nativos y cubiertos con paja libre de malezas o siembra hidráulica y, si es posible, se deben plantar plantas herbáceas, arbustos y árboles nativos. **La vegetación es un componente importante del control de la erosión de barrancos ya que si las estructuras de control de erosión, como diques de contención o aliviaderos de rocas, fallan, la vegetación plantada puede reducir el impacto de la erosión mediante la aspereza del canal y la reducción de la velocidad de flujo del barranco.** Para proteger los tratamientos de control de erosión de barrancos y reducir el riesgo de erosión en el futuro, se debe alejar al ganado de los canales y las paredes laterales del barranco mediante la instalación de cercos de exclusión alrededor del perímetro del sistema de barranco tratado.

5. CONTROL BIOTÉCNICO DE LA EROSIÓN

El control biotécnico de la erosión ofrece una opción rentable y estéticamente agradable de control de barrancos y de estabilización, el refuerzo y protección de pendientes y márgenes. La vegetación protege al suelo erosionable del impacto de la lluvia y del desprendimiento de partículas de suelo, aumenta la aspereza de la superficie y reduce la velocidad de la escorrentía de la superficie. Las plantas también actúan como "filtros" hidrológicos al absorber el flujo subsuperficial, drenando el agua de las pendientes y los bancos de arroyos. Además, los sistemas de raíces tienen un papel integral en la estabilización del suelo al aumentar la infiltración, combinar y anclar suelos y mejorar la estructura del suelo. A diferencia de los tratamientos estructurales, los tratamientos de vegetación aumentan su efectividad con el tiempo. Por estos motivos, la vegetación puede brindar protección contra la erosión de la superficie, la formación de barrancos, las fallas de masas poco profundas y la erosión de márgenes; y ofrecer una sucesión natural y un hábitat ribereño y terrestre esencial para peces, anfibios, mamíferos, insectos y pájaros.

El control biotécnico de la erosión puede dividirse en dos enfoques: bioingeniería del suelo e ingeniería biotécnica. Estos métodos pueden aplicarse en forma individual o en combinación para crear estructuras de control de erosión biotécnicas híbridas. *Técnicas de bioingeniería del suelo:* confíe en el uso de esquejes de plantas vivas (en general, sauces, alisos, cerezos y álamos) para suministrar elementos estructurales básicos necesarios para estabilizar pendientes y márgenes, reforzar el sustrato del suelo y reducir la erosión del suelo. *La ingeniería* biotécnica también utiliza vegetación viva, pero la integra con elementos estructurales duros (como troncos, enrocamiento de protección, bloques de concreto y gaviones) para crear estructuras de control de erosión complejas que brindan un refuerzo del suelo y mayor estabilización y protección de la pendiente. Es posible que se requiera regado durante un máximo de tres años para que crezcan las plantaciones en ciertos ambientes o entornos. Con el tiempo, a medida que la vegetación madure y se desarrollen las raíces, las pendientes y márgenes se volverán cada vez más resistentes a la erosión.

FIGURA 184.
Las cunetas con armadura rocosa, si se construyen con los tamaños y la gradación de roca adecuados y la forma del canal en U, pueden prevenir la degradación y la erosión de la cuneta, pero también inhiben el mantenimiento fácil de la cuenta usando maquinarias. En lugar de acorazar las cunetas o de instalar diques de contención en las cunetas, suele ser mejor reducir el volumen de flujo mediante la instalación de más alcantarillas de alivio de cunetas.



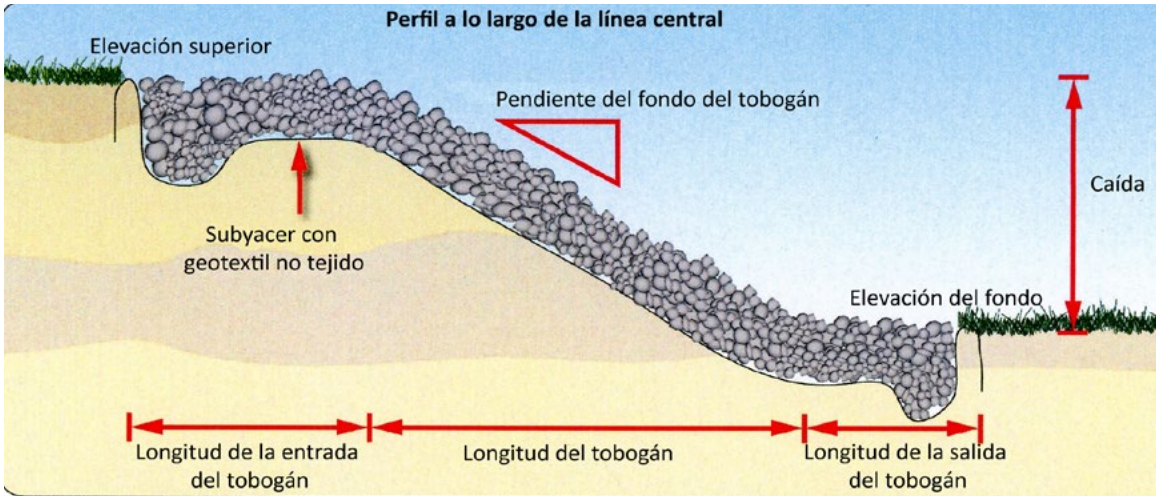


FIGURA 185.
Aliviadero o canal de rocas (Brook, 2013)

Es importante destacar que estos métodos pueden utilizarse únicamente para reforzar pendientes poco profundas o inestabilidades de márgenes poco profundos ya que están limitados por la profundidad de las raíces de las plantas utilizadas. Estos métodos no deben utilizarse para tratar inestabilidades de pendientes muy asentadas, con características de deslizamiento translacional, rotacional o de remoción de masa compleja; flujos de escombros; o flujos de tierra. Las estructuras de control biotécnico de la erosión mal diseñadas pueden provocar un aumento de la falla de la pendiente y una mayor desestabilización del suelo. **Contáctese con un profesional calificado para recibir asesoramiento sobre el diseño de control de erosión más adecuado para su proyecto de camino.** Las estructuras de ingeniería biotécnica utilizadas para la contención y la estabilización de pendientes, como muros de contención vivos o mallas de gaviones con vegetación, deben ser diseñadas por un ingeniero civil, ingeniero geólogo o geólogo calificado o con experiencia en proyectos biotécnicos.

a. Ejemplos de métodos de bioingeniería de suelos

La colocación de capas de arbustos implica la cosecha de esquejes vivos de plantas leñosas, como sauces y alisos, y su integración en intervalos paralelos al contorno de la pendiente (Figura 186). Este método se utiliza para estabilizar los taludes de corte y fortalecer las pendientes de relleno propensas a la erosión de la superficie o a la remoción de masa poco profunda. La colocación de capas de arbustos estabiliza las pendientes al ofrecer un refuerzo de la pendiente de los sistemas de raíces establecidos, crear un filtro de vegetación que atrapa sedimentos y reducir la velocidad de la escorrentía de la superficie a través de rupturas de pendiente regulares.

El **relleno de fajinas** tiene un diseño y una implementación similares a la colocación de capas de arbustos, pero se utiliza en áreas específicas para reparar pequeños huecos o hendiduras en bancos de arroyos u otros rellenos o taludes de corte (Figura 187).

Las **barreras vivas** se utilizan para la estabilización de pendientes y márgenes e implica la plantación de esquejes de plantas leñosas, como sauce o

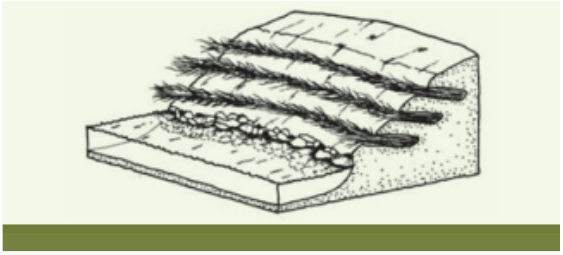


FIGURA 186. *Capas de arbustos (Holanda y Pinheiro da Rocha, 2011)*

cerezo, en la pendiente a intervalos regulares para ofrecer una cobertura vegetal y la fuerza de raíces necesaria para reforzar la pendiente y colocar

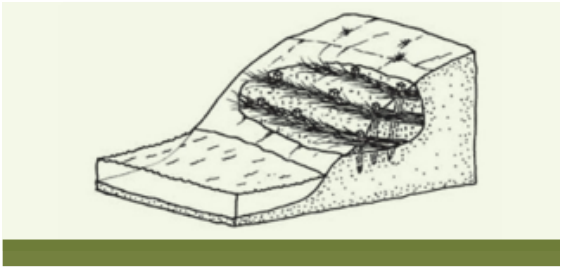


FIGURA 187. *Relleno de arbustos (Holanda y Pinheiro da Rocha, 2011)*

contrafuertes (Figura 188). El espaciado específico depende de la inclinación de la pendiente y de las características del suelo. Este es el método más sencillo de bioingeniería del suelo y suele utilizarse como un elemento de otras estructuras de bioingeniería del suelo e ingeniería biotécnica.

Las fajinas vivas o bardas de sauce se utilizan para estabilizar pendientes, zonas de salpicaduras de arroyos, márgenes y canaletas de caminos. Estas estructuras se componen de esquejes de

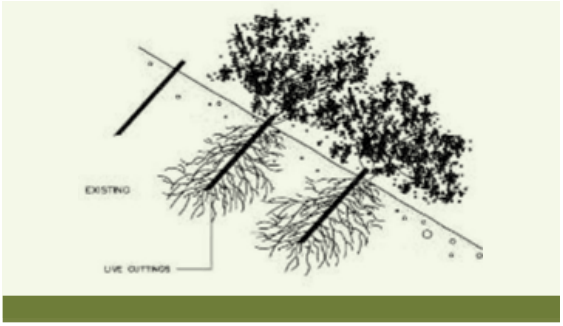


FIGURA 188. *Relleno de fajinas (Keller y Ketcheson, 2012)*

plantas vivas, en general sauces o cerezos, que están entrelazados y agrupados en troncos de arbustos de 6 a 8 pulgadas de diámetro y 4 a 20 pies de largo. Las fajinas vivas se fijan al extremo paralelo en el contorno del talud dentro de zanjas poco profundas y se cubren, en forma total o parcial, con suelo (Figura 189). El espaciado de las fajinas vivas depende de la inclinación de la pendiente y la erosionabilidad del suelo. Estas estructuras ofrecen disipación de energía, estabilización de la pendiente y el atrapamiento de sedimentos (Figura 190).

FIGURA 189. *Fajinas vivas (Holanda y Pinheiro da Rocha, 2011)*

Las bardas de sauce suelen utilizarse como muros de contención cortos para estabilizar pendientes húmedas y demasiado empinadas y para estabilizar hendiduras pequeñas y poco profundas. Se utilizan para estabilizar pequeños barrancos, de modo similar a los diques de contención vivos. Las estructuras se construyen comenzando en la base de la pendiente mediante la inserción de esquejes vivos a modo de "varillas" estructurales en una fila a lo largo del contorno de la pendiente (Figura 191). Los esquejes de plantas vivas se apilan en forma horizontal, uno arriba de otro, directamente detrás de los soportes de las "varillas". El espacio detrás de los esquejes de plantas apilados en forma horizontal se rellenan con suelo para crear una pendiente escalonada. Estas estructuras reducen eficazmente la gradiente de la pendiente, atrapan sedimentos, reducen la velocidad de la escorrentía y refuerzan la pendiente.

La siembra de postes vivos se realiza de manera similar a las fajinas vivas. Se utilizan grupos de plantas vivas cilíndricas como estructuras de drenaje en áreas

FIGURA 190. *Fajinas vivas instaladas en un área de suelo descubierto propensa a la rápida erosión del suelo.*

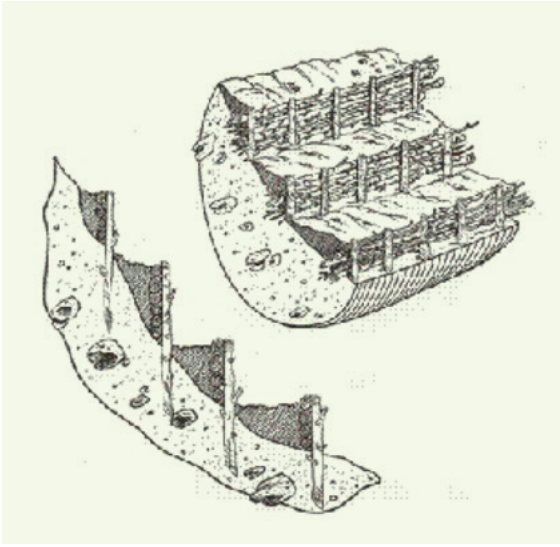


FIGURA 191. *Bardas de sauce (Polster, 1997)*

húmedas inestables, como pendientes inestables saturadas y fallas de pendientes poco profundas y hendiduras con filtraciones. Los grupos de esquejes vivos se colocan y plantan en zanjas excavadas poco profundas o dentro de huecos de una pendiente existente con signos de filtración y orientada cuesta abajo en la dirección del flujo (Figura 192). Si las filtraciones dentro del área inestable son difusas, la estructura puede construirse en forma de "Y" para recoger la humedad de un área más amplia. La concentración de flujo a lo largo de la siembra de postes vivos genera el desarrollo de una zona de vegetación hidrófila y drena eficazmente el área inestable saturada. Estas estructuras no son eficaces en canales bien definidos que muestran un flujo concentrado.

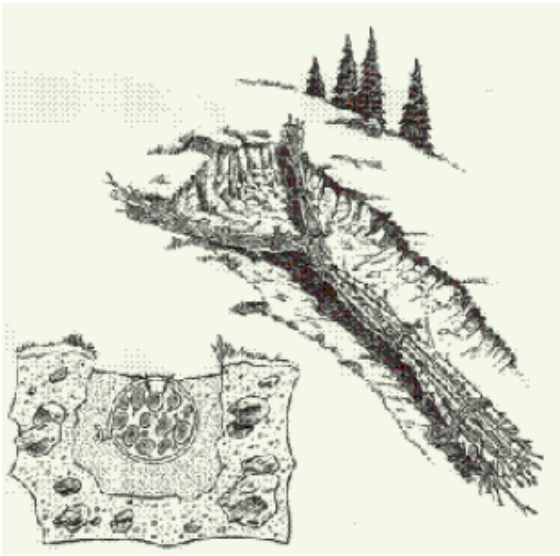


FIGURA 192. *Siembra de postes vivos (Polster, 1997)*

b. Ejemplos de métodos de ingeniería biotécnica

El enrocamiento de protección con plantas se utiliza como un revestimiento del pie del talud o del margen. Este método incorpora métodos de bioingeniería de suelos como barreras vivas, colocación de capas de arbustos, siembra de postes o fajinas vivas dentro de los intersticios del ripio (Figura 193). Este enfoque estético ofrece un refuerzo de la pendiente y promueve la sucesión de plantas nativas y la mejora ribereña. El enrocamiento de protección debe ser colocado sobre una tela geotextil o un capa de agregados de rocas de filtrado y fijado en la base de la pendiente para garantizar la estabilidad. Al igual que la vegetación, debe estar bien insertado en el suelo nativo suprayacente durante la colocación del enrocamiento de protección a un espaciado definido por la inclinación de la pendiente y las características del suelo subyacente. Este método reduce el riesgo de fallas de pendientes poco profundas, reduce la velocidad del flujo erosivo y atrapa sedimentos.

Los muros de contención vivos se construyen a partir de troncos entrelazados que forman un marco poco profundo en forma de caja en el pie de la pendiente. Estas estructuras se utilizan principalmente para la protección de los márgenes. La estructura de contención suele construirse contra un margen demasiado

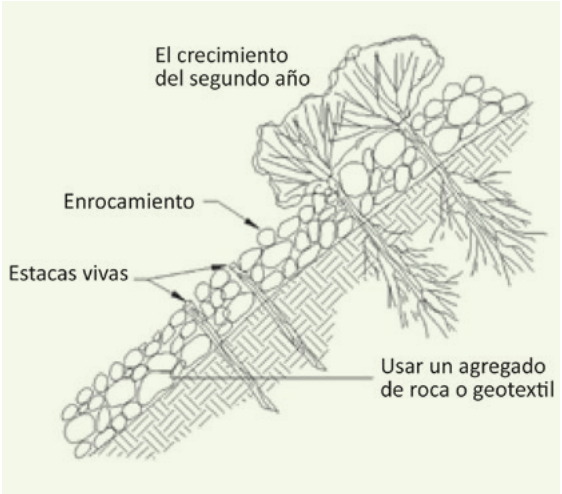


FIGURA 193. *Enrocamiento de protección con plantas (EPA, 2000)*

empinado en la curva externa del meandro donde los flujos son más erosivos (Figura 194). La altura del muro de contención no debe superar los 7 pies y el largo de una estructura individual no debe superar los 20 pies. El marco de contención se rellena con esquejes de plantas vivas y roca y suelo. Los esquejes de plantas vivas deben ser lo suficientemente largas como para poder sobresalir del marco de contención y extenderse por el suelo nativo. Con el tiempo, los troncos se descomponen y la vegetación establecida y el sistema de raíces dentro del marco de contención reforzarán el talud.

Los gaviones con plantas son enrejados de malla de acero galvanizado rectangular que se rellenan con enrocamientos de protección de tamaño pequeño a mediano y se utilizan para revestir pies de taludes y para proteger márgenes (Figura 195). La primera capa de gaviones se sujeta sobre una tela geotextil y se fija en la base del talud o margen empinado. Los demás gaviones se apilan para crear una pared vertical escalonada. El área que está detrás y entre cada capa de gaviones se rellena con materiales de suelo. Los esquejes de plantas vivas se colocan en forma horizontal entre las capas de mallas de gaviones con los extremos basales incrustados en el material de relleno detrás de los gaviones. Los esquejes de plantas se asentarán con el tiempo, desarrollando sistemas de raíces que se entrelazarán alrededor del enrocamiento de protección y se anclarán en el suelo nativo. En última instancia, las mallas de gaviones se deteriorarán y las rocas y la vegetación quedarán como elementos estructurales. Es posible que las estructuras de gaviones no sean adecuadas

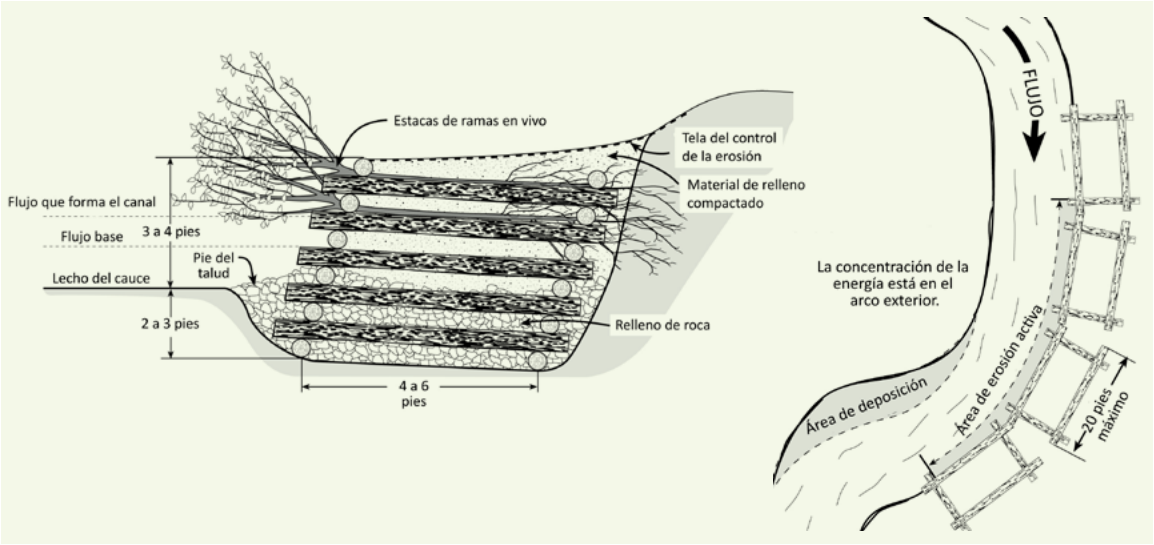


FIGURA 194. *Diseño y colocación de un muro de contención vivo (Departamento de Recursos Naturales de Ohio, 1997)*

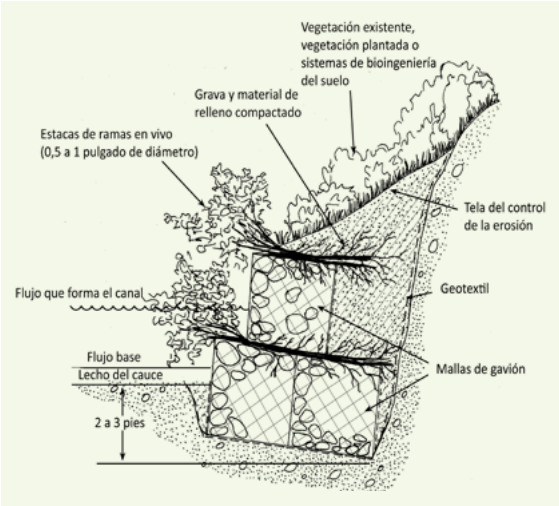


FIGURA 195. *Gaviones cubiertos con vegetación (Departamento de Recursos Naturales de Ohio, 1997)*

para su uso en arroyos o en lugares con presencia de peces. Consulte con su agencia regulatoria de peces y vida silvestre antes de su diseño y construcción.

6. PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

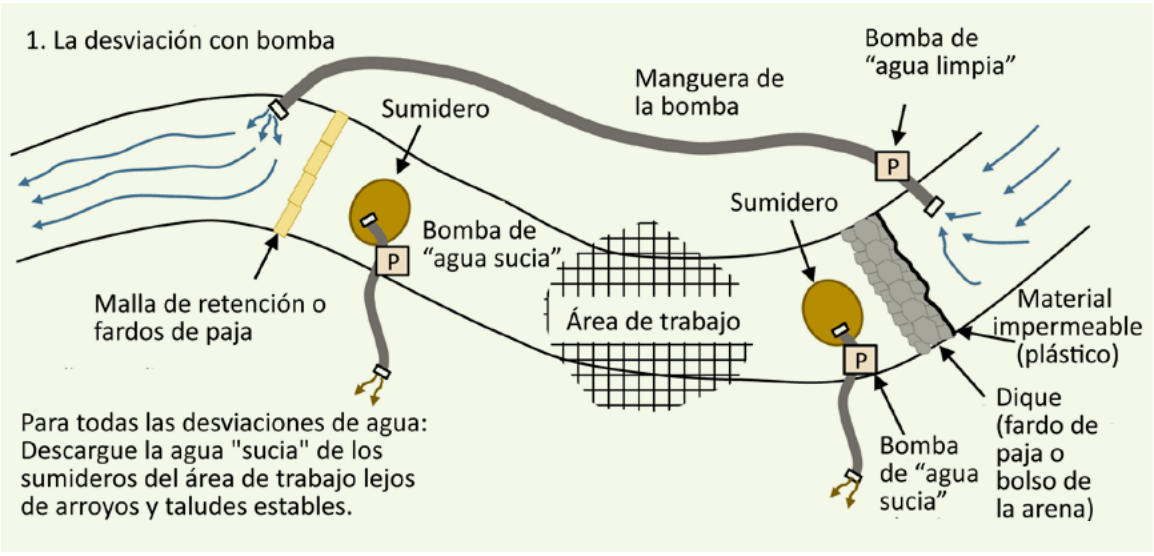
Las actividades de construcción y mejora de caminos en cruces de arroyos y en arroyos vivos, manantiales o humedales requieren medidas de gestión del agua del lugar de construcción para evitar la descarga de agua túrbida y cargada de sedimentos en los cursos de agua, cuerpos de agua o humedales corriente abajo. Las actividades de construcción exponen al suelo descubierto erosionable que puede ser arrastrado a los flujos de la superficie, generando turbidez y sedimentación. Los equipos pesados, como excavadoras y bulldozers, ponen en riesgo la calidad del agua por la posible pérdida de combustibles y fluidos de vehículos que pueden contaminar el suelo, el caudal y la escorrentía de la superficie. La sedimentación, la turbidez y la contaminación química crean serios riesgos para los organismos acuáticos y para los hábitats acuáticos y ribereños. Como las actividades de construcción de caminos suelen llevarse a cabo en la estación seca (de junio a octubre en California), los organismos acuáticos son aún más vulnerables cuando los niveles de las aguas subterráneas y los flujos de la superficie están en su nivel más bajo.

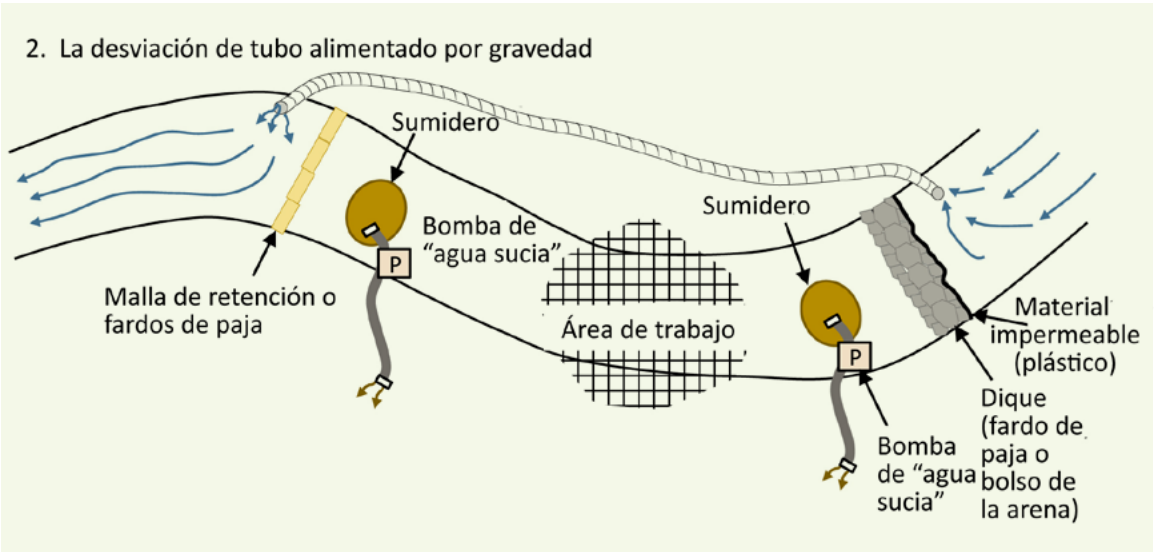
Las medidas de desviación temporal son necesarias para mantener la calidad del agua durante las actividades de construcción (por ej., instalaciones de alcantarillas de cruces de arroyos, mejoras y clausuras) en arroyos vivos o en áreas que descargan flujo en forma activa. **El agua limpia sobre el sitio de trabajo debe ser aislada de la zona de construcción y transportada a los alrededores del área de trabajo para que pueda ser descargada al canal del arroyo o al humedal con efectos mínimos en los índices de flujo de la superficie y en la calidad del agua. Asimismo, el agua "sucia" generada dentro del área de construcción debe ser recolectada y transportada fuera del sitio y descargada en un lugar seguro en el que pueda depositar los sedimentos o infiltrarse en los suelos o la grava y no enviar contaminantes a un curso de agua o humedal. Al ofrecer un desvío temporal, la escorrentía limpia se aleja del área del proyecto y el sitio de construcción debe mantenerse relativamente seco y viable para operaciones de equipos pesados.**

Las leyes y regulaciones locales, estatales y federales requieren medidas de protección para proteger la calidad del agua durante las actividades de construcción y podrían requerir permisos específicos antes de las operaciones de equipos en arroyos y humedales o cerca de los mismos. Consulte con sus agencias locales, estatales y federales para conocer qué permisos se requieren para operar equipos y controlar la escorrentía en canales de arroyos y humedales en su área del proyecto y qué medidas específicas de gestión del agua se requieren.

La escorrentía limpia sobre un área de construcción suele ser desviada fuera del sitio de construcción mediante un sistema de estructuras temporales de desviación del agua. Las técnicas de desviación del agua, y las estructuras de desviación necesarias, se determinan según el tipo de trabajo a realizar, el área de drenaje y el tipo de fuente de agua y el índice de descarga. **Las estructuras comunes utilizadas para aislar y desviar el flujo incluyen tubos, ductos, cuencas y canales excavados, bermas, drenajes de taludes, diques de contención laminares, diques provisionales, rocas, bolsas de grava, madera y medidas de filtración de sedimentos, como mallas de retención, fardos de paja y telas de filtrado o cortinas de turbidez.** El flujo aislado es transportado lejos del sitio de trabajo y descargado corriente abajo a través de un sistema alimentado por gravedad o por bombas eléctricas o a gas. El sistema de desviación de agua podría necesitar un traslado periódico durante la realización del proyecto para brindar acceso a equipos pesados.

Los sistemas de desviación de tubos alimentados por gravedad involucran el transporte de escorrentía limpia aislada a través de un tubo flexible que se extiende alrededor del área del proyecto y cuesta abajo del curso de agua o al área húmeda debajo (Figura 196—centro). Este tipo de desviación requiere suficiente relieve topográfico para iniciar y mantener continuamente





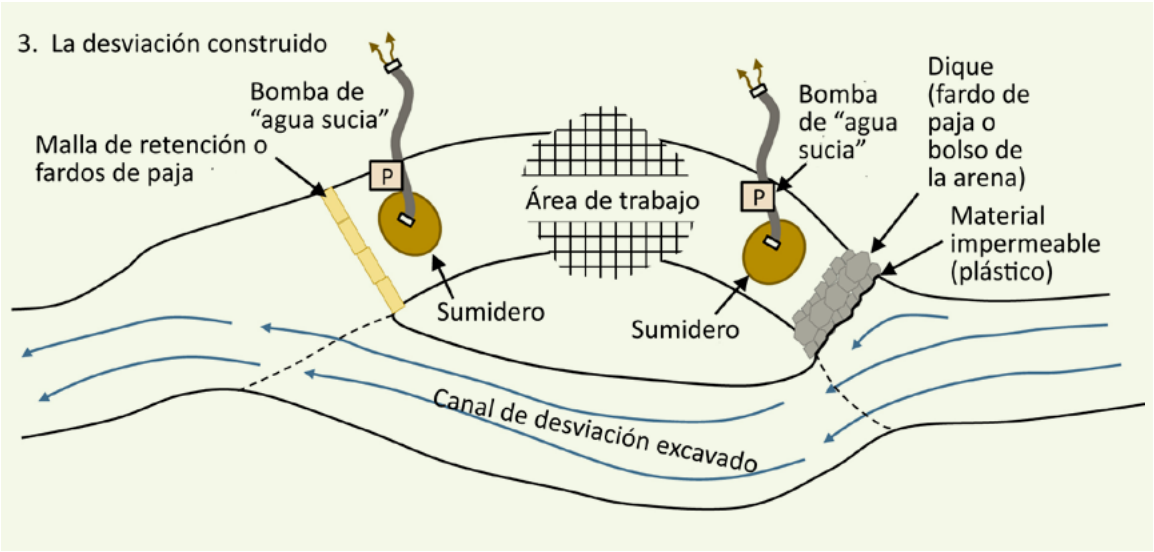


FIGURA 196.
Ejemplos de desviaciones de agua.

el flujo cuesta abajo debajo del sitio de construcción, donde se descarga al canal natural o área húmeda (Figura 197). Los sistemas de desvío alimentados por gravedad son más rentables y requieren menos mantenimiento que las desviaciones con bomba. También pueden colocarse durante la noche o los fines de semana cuando no se estén realizando trabajos de construcción.

Las desviaciones con bomba se utilizan en áreas en los que los sistemas alimentados por gravedad no son viables. Las bombas ofrecen más flexibilidad en terrenos complejos en los que los tubos de desviación deben atravesar topografía para acceder al punto de descarga debajo (Figura 198). El tamaño de la bomba necesaria depende del volumen del flujo que se debe bombear (Figura 199). También es importante contar con una bomba de repuesto y una manguera de repuesto en el sitio en el caso de que se produzca una avería. La escorrentía limpia se aísla mediante un dique temporario y es bombeada por bombas eléctricas o a gas y descargada a través de un tubo a la fuente de agua limpia debajo (Figura 196—parte superior).

La desventaja de utilizar bombas para la desviación de arroyos es que requieren reabastecimiento de combustible y vigilancia regular. Para áreas de construcción de gran tamaño, podría ser necesario que las bombas funcionen durante la noche para drenar adecuadamente el sitio. El uso de una bomba eléctrica puede eliminar la necesidad de que haya una persona en el sitio las 24 horas para controlar y mantener la bomba. Si las condiciones lo permiten, se puede utilizar un sistema de desviación con bomba durante el día y un sistema alimentado por gravedad a través de la construcción activa durante la noche para eliminar la necesidad de control y mantenimiento las 24 horas.

Se debe eliminar el agua "sucia" o las aguas residuales generadas dentro del sitio de construcción para evitar que la contaminación llegue al arroyo y para mantener las áreas de construcción lo más secas posible. Idealmente, las aguas residuales en el sitio se aíslan mediante dos sumideros excavados en el canal del arroyo; 1) uno en la parte superior del área de construcción para eliminar y bombear el agua sucia antes de que contamine el sitio de trabajo o para reducir temporalmente el nivel acuífero en el área de trabajo, y 2) el otro excavado cerca del extremo corriente abajo del sitio de construcción para recolectar aguas residuales antes de que lleguen al arroyo limpio o a la fuente de agua debajo. Las aguas residuales se bombean desde los sumideros y, si es necesario, se distribuyen a bancos, terrazas o pendientes estables, lejos del arroyo limpio o la fuente de agua. También pueden utilizarse dentro del área de la construcción para mejorar la compactación del suelo o para controlar el polvo o pueden ser descargadas a un estanque de sedimentación donde puedan infiltrarse.

Las medidas de control de la erosión como fardos de paja, mallas de retención u otras barreras de filtraciones deben utilizarse en la base del sitio de construcción como medida de seguridad adicional contra la contaminación de la fuente de agua limpia debajo. También se aplican requisitos especiales si se debe trabajar en un arroyo con peces. Antes de la construcción, se debe retirar a los peces y anfibios del área de alcance del proyecto y los mismos deben ser relocalizados en un área acuática limpia cercana, corriente abajo o corriente arriba del área que será perturbada. La relocalización de peces suele ser realizada por biólogos marinos calificados según los métodos aprobados y los requisitos permitidos. Asimismo, también es posible que se requiera una evaluación de las especies terrestres enumeradas (por ej., ranas y salamandras enumerados) para que sean retiradas del sitio de trabajo.

Para proyectos de construcción de mayor envergadura (por ej., instalaciones de puentes y alcantarillas de arcos con placa) que se lleven a cabo en arroyos perennes cerrados donde el flujo no pueda ser aislado o bombeado con facilidad, se pueden construir desvíos temporarios con grandes bermas, diques provisionales, diques de contención laminares o muros de contención que dirijan el flujo a un lado del arroyo, a un canal de alto flujo o a un canal lateral excavado (ver Figura 196—parte inferior).

FIGURA 197. *Desvío de un arroyo con tubería flexible alrededor de un sitio de construcción de un camino. La entrada de esta tubería flexible de 6 pulgadas de diámetro recolecta el caudal limpio de un dique de contención sobre el sitio del proyecto y la gravedad lo envía al área del proyecto y lo devuelve al canal natural corriente abajo del trabajo de construcción (ver foto).*

FIGURA 198. *El dique de contención de sacos de arena en este pequeño arroyo se utilizó para estancar el caudal de modo tal que pueda ser bombeado alrededor de un sitio de instalación de alcantarillas. La manguera de ingreso de color verde se filtra para alejar las rocas y los escombros mientras que la bomba de color rojo se extiende varios cientos de pies alrededor del área de trabajo del proyecto.*

FIGURA 199. *Para grandes arroyos, se pueden utilizar camiones bomba, bombas grandes o múltiples bombas pequeñas para bombear el caudal alrededor de los sitios de trabajo del proyecto. En este caso, se utilizó una un camión bomba para desviar temporalmente el flujo en un arroyo con peces en el cual se reemplazaron las alcantarillas duales por un puente de vagón. Los peces jóvenes fueron retirados de este arroyo con peces antes de comenzar con el trabajo del proyecto.*

NOTAS:

6 RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO

A. INTRODUCCIÓN A LA RECONSTRUCCIÓN Y EL MEJORAMIENTO

La reconstrucción del camino brinda la oportunidad de mejorar un camino de baja calidad en uno o más aspectos de su diseño. Las alcantarillas pueden ser mejoradas para cumplir con las normas vigentes, se pueden instalar estructuras de drenaje adicionales, se puede reformular la calzada para mejorar el drenaje de la superficie y se puede eliminar o estabilizar los rellenos que muestran signos de inestabilidad. En general, los cruces de arroyos, los rellenos y taludes de corte inestables y el mal drenaje de la superficie generan algunos de los mayores desafíos en la reconstrucción de caminos y las mayores oportunidades de prevención de futuras erosiones, protección de la calidad del agua y restauración del hábitat acuático.

Los caminos mejorados suelen denominarse "a prueba de tormentas" si bien siguen teniendo el potencial de sufrir daños frente a crecidas. Sin embargo, **los caminos mejorados adecuadamente deberían tener muchas menos probabilidades de sufrir fallas y las fallas que se produzcan deberían ser menos frecuentes y de menor magnitud.** Los caminos a prueba de tormenta son bastante más resistentes a tormentas e inundaciones y suelen demandar menos mantenimiento y menores costos de reconstrucción en el caso de que se produzcan fallas.

B. RELOCALIZACIÓN DE EXTENSIONES DE CAMINOS PROBLEMÁTICAS

Los problemas en extensiones de caminos pueden producirse tanto en caminos abiertos y mantenidos como en caminos cerrados y abandonados. Algunos de estos caminos tienen problemas especialmente graves y deben ser cerrados en forma permanente y relocalizados en lugares de taludes más favorables en lugar de ser reconstruidos y mantenidos. A continuación se brindan algunos ejemplos de caminos o segmentos de caminos problemáticos:

- Caminos con costos y requerimientos excesivos de mantenimiento.
- Caminos que provocan un daño ambiental persistente a los arroyos y a la calidad del agua y que no pueden corregirse de manera económica.
- Caminos con inestabilidad de taludes frecuente y significativa que pueden provocar cierre intermitente de los caminos, como desprendimiento de calzada, deslizamiento de escombros de la calzada, fallas en canaletas y laderas, caída de rocas o socavación de arroyos.
- Caminos que han sufrido fallas en uno o más lugares y no pueden ser reconstruidos de manera rentable.
- Caminos o segmentos de caminos abandonados que han sufrido múltiples fallas en su extension.
- Caminos o segmentos de caminos abandonados que no pueden ser reconstruidos debido a restricciones regulatorias o ambientales (no se permitiría su construcción en la actualidad).
- Caminos o segmentos de caminos que son demasiado empinados para la actividad de uso de la tierra deseada o el tipo de tránsito esperado.
- Caminos o segmentos de caminos que sean inseguros para los usuarios.

La relocalización de caminos consta de dos actividades: clausura y restauración del camino a ser cerrado en forma permanente y redireccionamiento del trazado a un lugar más favorable, con el diseño y las normas de construcción actuals (Figura 200).

Cuando las extensiones de caminos se cierran, deben ser inventoriadas y evaluadas para detectar posibles signos de erosión y problemas de estabilidad de los taludes. Se deben implementar tratamientos de cierre y clausura de caminos para evitar o reducir en gran medida los posibles efectos ambientales del camino (ver Capítulo VIII). Estos tratamientos incluyen la remoción y restauración completa de todos los cruces de arroyos, la excavación o estabilización de todas las inestabilidades existentes o potenciales del relleno de caminos que puedan transportar sedimentos a canales de arroyos, la decompactación o dispersión permanente del drenaje de la superficie del camino y el tratamiento de todas las demás fuentes de sedimentos relacionadas con caminos.

FIGURA 200.
El camino de la izquierda solía ir sobre un arroyo perenne y una zona ribereña y finalmente llegaba a la cresta de la loma en la distancia. Para eliminar este impacto, el camino ribereño fue clausurado y se construyó una nueva ruta de desviación (derecha) sobre una ladera seca en la misma ubicación de la cresta de la loma.

La relocalización de un camino implica una construcción nueva, salvo que se pueda mejorar un camino abandonado o de baja calidad para acceder al lugar deseado. **Se debe cumplir con todas las regulaciones ambientales y obtener todos los permisos relativos a la construcción de un nuevo camino para relocalizar un camino.** El proceso de relocalización involucra casi todos los pasos ya descriptos para la planificación, el diseño y la construcción de un nuevo camino.

La relocalización de un camino o segmento de camino puede ser tan simple como identificar, diseñar y construir una ruta cercana alternativa que evite los problemas ambientales ocurridos o existentes en el trazado antiguo (Figura 200). Alternativamente, podría involucrar la revisión del plan de transporte local y requiere la relocalización del camino problemático y los ramales del camino a un terreno estable y más favorable. Esto permitirá cubrir las necesidades de transporte deseadas, generando un mínimo impacto sobre el medio ambiente. Los caminos rurales podrían ser más problemáticos de relocalizar, debido a la titularidad múltiple de las tierras y los límites de las propiedades que podrían estar involucradas en el trazado de relocalización. Sin embargo, debe identificar el trazado del camino o ruta más estable y más amigable con el medio ambiente y si esto involucra a alguna propiedad de un vecino debe hablar con ese vecino sobre sus ideas.

C. EVALUACIÓN Y DISEÑO DE MEJORAMIENTOS PARA CAMINOS EXISTENTES

Una de las actividades más comunes relacionadas con los caminos para sistemas de caminos rurales, desde una perspectiva de diseño del camino y de protección ambiental, es el mejoramiento de los caminos y las estructuras existentes para ajustarse a las normas vigentes. En muchos lugares de los Estados Unidos, ya se ha construido la red central de caminos forestales y rurales y las nuevas construcciones son una parte mínima de las actividades de desarrollo y gestión de la tierra. Los nuevos caminos suelen ser aquellos necesarios para acceder a un nuevo desarrollo residencial, a nuevas casas o a ramales de caminos que sean necesarios para acceder a un grupo de árboles que se propone extraer, pero ya existe una red central de caminos primarios y secundarios.

Las normas de diseño para la construcción de nuevos caminos han evolucionado y mejorado sustancialmente en las últimas décadas. Esto significa que **la mayoría de nuestros caminos existentes deben ser evaluados y mejorados, para reducir el riesgo de fallas en los caminos y contaminación continua y para implementar mejoramientos en los caminos que reducirán los requerimientos y costos de mantenimiento de los caminos a largo plazo** (Figura 201).

La mayoría de los caminos existentes en el paisaje fueron construidos hace décadas y se aplicaron normas de menor calidad en su construcción, que en la actualidad podrían generar riesgos graves en los los recursos externos corriente abajo y en la infraestructura del sistema de transporte. **Los cruces de arroyos suelen ser considerados el "eslabón más débil" en los sistemas de caminos forestales y en estos lugares es donde suelen encontrarse los**

FIGURA 201. *Personal de inventario del camino estudia los cruces de arroyos y otros elementos mal diseñados de un camino, identificando las necesidades de mejoramiento a lo largo del camino. Lo más importante a identificar, y mejorar, son los cruces y elementos que podrían provocar fallas en el camino o los cruces de arroyos (como esta alcantarilla de cruce de arroyo demasiado pequeña y posada) o que envían escorrentía del camino y sedimentos finos al sistema del arroyo.*

diseños de menor calidad que tienen un mayor potencial de generar consecuencias adversas.

Por ejemplo, los peces amenazados o en peligro de extinción no pueden pasar por muchas alcantarillas antiguas que se instalaron a una altura demasiado elevada y se han convertido en barreras para su migración. En otros lugares, muchas alcantarillas de cruces de arroyos instaladas hace veinte años o más son consideradas mal diseñadas (demasiado pequeñas) o están oxidadas y con fallas, o ambas cosas. **Las alcantarillas demasiado pequeñas o mal diseñadas o instaladas se consideran "armas cargadas" que pueden fallar incluso durante crecidas moderadas, generando costos de reparación y una severa degradación ambiental corriente abajo.**

Las prácticas y los objetivos de drenaje de caminos han cambiado drásticamente. Por ejemplo, las "mejores prácticas" de diseño de ingeniería del pasado para el drenaje de caminos buscaban recolectar, concentrar y descargar la escorrentía de la superficie del camino para que el camino y su infraestructura no resulten dañado por la erosión. El objetivo estándar del drenaje de la superficie del camino era desviar el drenaje de la superficie del camino y de las cunetas de manera eficiente fuera del camino hacia el canal de arroyo más cercano. Este diseño solía requerir caminos entre laderas con zanjas internas y largas zanjas entre las alcantarillas de alivio de cunetas (Figura 202). **En ese momento, la principal preocupación era proteger la infraestructura del camino dentro del derecho de vía; no las tierras cuesta abajo, la calidad del agua ni los recursos acuáticos corriente abajo.**

En la actualidad, el rediseño y el mejoramiento de los caminos tiene la intención de ajustar los caminos a las normas vigentes mediante la protección de la infraestructura del camino, pero también minimizar el riesgo de daño ambiental por erosión del camino y fallas provocadas por diseños deficientes.

Las fallas de diseño más graves en caminos antiguos existentes incluyen fallas que amenazan la integridad del camino, fallas que amenazan con provocar fallas catastróficas y tener un gran impacto corriente abajo y fallas que contribuyen a la contaminación crónica y persistente de la calidad del agua. La mayoría de estas fallas de diseño se consideraban diseños "de campo" y prácticas de construcción comunes y aceptables hace varias décadas y pueden encontrarse en casi todos los caminos forestales en cuencas montañosas empinadas. En la actualidad, existen normas de diseño y prácticas de construcción mejoradas que permiten corregir o remediar la mayoría de los posibles problemas generados

FIGURA 202.
Tres alcantarillas en un camino rural han desarrollado largos barrancos debajo de sus salidas que conectan el camino con el canal del arroyo en la base de la ladera. La distancia entre las alcantarillas de alivio de cunetas era muy grande y cada alcantarilla transportaba demasiado flujo. Se requiere drenaje de cunetas adicional para dispersar la escorrentía del camino y evitar que se formen nuevos barrancos.

por los viejos diseños de los caminos existentes. Los problemas de diseño más graves y riesgosos para los cuales existen normas de diseño mejoradas son:

1. Estructuras de cruces de arroyos no estándar, como rellenos no entubados, alcantarillas de troncos, puentes de troncos y vados mal ubicados o mal diseñados.

2. Cruces de arroyos cuyas estructuras de drenaje están mal diseñadas (son demasiado pequeñas) para el flujo máximo calculado de 100 años, incluyendo pasaje de sedimentos y escombros leñosos flotantes.

3. Alcantarillas de cruce de arroyos mal alineadas, demasiado cortas, demasiado altas en el relleno (no niveladas), con tendencia a taponarse o que se hayan deteriorado o hayan sufrido daños mecánicos o por tormentas desde su instalación.

4. Cruces de arroyos en canales de flujo de escombros que no hayan sido diseñados para soportar o transportar flujos de escombros sin lavarlos ni desviarlos.

5. Cruces de arroyos entubados con posibilidad de desvíos, en especial cruces en medio taludes empinados y laderas bajas de modo tal que si la alcantarilla se tapona, el caudal se desviaría hacia el trazado del camino y se descargaría en laderas sin protección o en otros canales del arroyo.

6. Cruces de arroyos que son barreras para la migración de peces anádromos o residents.

7. Caminos construidos mediante técnicas de construcción de vertido lateral (corte y relleno) en pendientes de cañones internos inestables y empinadas.

8. Terraplenes de caminos construidos en pendientes empinadas que muestran signos de inestabilidad o posible inestabilidad y que amenazan con enviar escombros y sedimentos de deslizamiento de tierras a arroyos u otros cuerpos de agua.

9. Rellenos de caminos construidos en bajíos de muros de cabeza empinados con signos visibles de inestabilidad o agua subterránea emergente, en especial en áreas donde se han originado torrentes (flujos) de escombros en el pasado.

10. Caminos con drenaje deficiente y entre laderas con alcantarillas de alivio de cunetas muy espaciadas y estructuras de drenaje de superficie de caminos que transportan suficiente flujo durante tormentas como para desarrollar barrancos amplios y largos en superficies de caminos o en laderas corriente abajo de sus salidas.

11. Las zanjas y superficies de caminos conectadas hidrológicamente, especialmente en caminos principales y secundarios que tienen altos niveles de tráfico, mucho tránsito comercial o que estén ubicados en áreas de suelos muy erosionables.

12. Caminos construidos en paralelo o adyacentes a canales de arroyos, en especial arroyos que soportan poblaciones de peces residentes o anádromos o que sirvan como fuentes de agua doméstica.

Muchos caminos forestales y rurales pueden ser mejorados proactivamente y tratados para ayudar a protegerlos y las áreas corriente abajo de los impactos potenciales. Sin embargo, **un camino mal ubicado difícilmente pueda remediarse o invalidarse de manera eficaz mediante la implementación de normas de diseño mejoradas, especialmente una vez que el camino sea reabierto y reconstruido.** Independientemente de los avances en las normas de diseño de caminos y en las técnicas de construcción de caminos disponibles en la actualidad, algunos caminos no pueden ser sometidos a mejoras y deben ser cerrados y clausurados (Figura 203). Esto podría ser una decisión económica, debido a los altos costos de mantenimiento y reparación, pero el nivel de la amenaza o el posible impacto que representa el camino podría tener una gran influencia. En lugar de desarrollar e implementar normas mejoradas para su reconstrucción, los propietarios deben evaluar sus opciones para clausurar caminos y, si fuera necesario, volver a trazar o relocalizar el camino en un terreno estable y más favorable.

FIGURA 203. *Camino construido con vertido lateral desarrollado en un talud de cañones internos empinados, en donde no se debería haber construido un camino. Bulldozer que construyó un camino posando grandes volúmenes de residuos erosionables en la pendiente y los deslizamientos de escombros ya han transportado escombros al canal del arroyo debajo. Este camino tenía una mala ubicación y el mejoramiento no reducirá el potencial de fallas. Se ha programado su cierre permanente y la excavadora (parte superior de la foto) está lista para comenzar el trabajo de clausura.*

D. CONSIDERACIONES DE REDISEÑO PARA LA RECONSTRUCCIÓN Y EL MEJORAMIENTO DE CAMINOS

1. REDISEÑO Y MEJORAMIENTO DE CAMINOS EXISTENTES

Los tratamientos a prueba de tormentas para un camino existente son diseñados para: 1) ajustar el camino a las normas vigentes en cumplimiento de las mejores prácticas de gestión, 2) hacer que el camino mejorado sea más resistente a las tormentas e inundaciones, 3) reducir el impacto en el sitio y corriente abajo de cualquiera falla que se produzca en el trazado, 4) reducir la entrada crónica de sedimentos finos a canales de arroyos relacionada con el camino y 5) reducir los requisitos y costos de mantenimiento del camino a largo plazo.

Para lograr estos objetivos, los **tratamientos de mejoramiento de los caminos existentes deben abordar tres categorías de tratamientos principales: 1) cruces de arroyos, 2) terraplenes de caminos, plataformas y desvíos y 3) drenaje de la superficie del camino.** Otros sitios podrían necesitar un mejoramiento, pero estas tres categorías de tratamientos son las que más suelen amenazar la integridad del camino, la erosión y sedimentación, la calidad del agua y el hábitat acuático corriente abajo. **Una vez finalizados, los tratamientos deberán respetar ciertas normas de diseño y características de rendimiento de los caminos a prueba de tormentas** (ver Figura 204).

El rediseño del camino incluye 1) la reapertura y el mejoramiento de caminos que hayan sido cerrados o abandonados por un tiempo y 2) el mejoramiento de los caminos mantenidos existentes para que se ajusten a las normas de diseño vigentes. Los procesos de mejoramiento son similares pero la decisión de reabrir un camino antiguo abandonado requiere un análisis económico y ambiental mayor.

Los equipos más eficaces para la reconstrucción y el mejoramiento de caminos son las excavadoras hidráulicas, los bulldozers, los camiones cisterna, los autovolquetes y un nivelador para darle forma final al camino. Estos equipos versátiles pueden completar las tareas de reconstrucción con una mínima perturbación del suelo y una mínima pérdida de vegetación. En general, una retroexcavadora de tamaño estándar es demasiado pequeña para realizar las excavaciones necesarias para muchos trabajos de reconstrucción de cruces de arroyos y la eliminación de caminos inestables y el desprendimiento de rellenos. Los autovolquetes suelen ser necesarios para la disposición final de escombros y materiales de residuos generados durante las tareas de reconstrucción y mejoramiento y los compactadores podrían ser necesarios, según el tipo de tránsito esperado.

2. REAPERTURA Y MEJORAMIENTO DE CAMINOS ANTIGUOS ABANDONADOS

La reapertura y el mejoramiento de caminos antiguos "huérfanos" o abandonados, incluso si no han sido mantenidos y están descuidados, suele ser preferible a la construcción de nuevos caminos. La aplicación de nuevas normas de diseño a un trazado antiguo suele tener un menor impacto ambiental y será menos costoso que la construcción de un nuevo camino en un terreno sin caminos. Los puntos débiles y áreas problemáticas en trazados antiguos ya serán evidentes. Las canaletas y terraplenes se estabilizarán

CARACTERÍSTICAS DE CAMINOS A PRUEBA DE TORMENTAS

Cruces de arroyos a prueba de tormentas

- Todos los cruces de arroyos tienen una estructura de drenaje diseñada para el flujo de diseño de 100 años (incluyendo los escombros leñosos y sedimentos).
- Los cruces de arroyos no tienen potencial de desviación (vados críticos funcionales colocados).
- Las entradas de alcantarillas tienen bajo potencial de taponamiento (pueden instalarse barreras o desviadores de escombros cuando sea necesario).
- Las alcantarillas se instalan en la base del relleno y en línea con el canal natural.
- Las alcantarillas existentes o las nuevas alcantarillas de inundación de emergencia que queden más altas en el relleno tienen bajadas ancladas redondeadas que se extienden hacia el canal natural.
- Las salidas de las alcantarillas de cruce de arroyos están protegidas de la erosión (extienda las alcantarillas al menos 6 pies mas allá de la base del relleno y utilice disipación de energía cuando sea necesario).
- La entrada, la salida y el fondo de la alcantarilla están abiertos y en buenas condiciones.
- Los rellenos profundos (más profundos de lo que una retroexcavadora puede llegar a la calzada) con alcantarillas de un tamaño inferior al normal o con potencial de taponamiento cuentan con una alcantarilla de inundación de emergencia.
- Los puentes tienen contrafuertes estables, no erosionables, y no restringen de manera significativa el flujo de crecidas de 100 años.
- Los rellenos de cruces de arroyos son estables (los rellenos inestables son eliminados o estabilizados).
- Las superficies de caminos y cunetas cercanas están "desconectadas" de los arroyos y las alcantarillas de cruces de arroyos en la máxima medida posible usando formas de caminos y estructuras de drenaje de caminos.
- Los cruces de arroyos Clase I (con peces) cumplen con los criterios de paso de peces del Servicio de Pesca y Fauna Silvestre estatal y del Servicio Nacional de Pesquerías Marinas.
- Los cruces de arroyos clausurados se excavan para exhumar el lecho y las laderas del canal originales y estables y luego son estabilizados con cubierta humidificadora y vegetación.

Rellenos de caminos y plataformas a prueba de tormentas

- Los rellenos de caminos y plataformas inestables y potencialmente inestables que puedan transportar sedimentos a un arroyo son excavados (eliminados) o estabilizados estructuralmente.
- Los residuos excavados se colocan en lugares en los que el material erosionado no ingresará a un arroyo.
- Los residuos excavados se colocan en un lugar donde no provocarán una falla en la pendiente o deslizamiento de tierras.

Drenaje de la superficie del camino a prueba de tormentas

- Las superficies de caminos y cunetas están hidrológicamente "desconectadas" de los arroyos y las alcantarillas de cruces de arroyos. La escorrentía de la superficie del camino es dispersada, en lugar de ser recolectada y concentrada.
- Las cunetas se drenan frecuentemente mediante alcantarillas de alivio de cunetas funcionales, vados ondulantes superficiales o drenajes de intersección.
- La salida de las alcantarillas de alivio de cunetas no descargan a arroyos.
- Las alcantarillas de alivio de cunetas con barrancos que llegan a un arroyo deben ser eliminadas o drenadas.
- El drenaje de la superficie de caminos y cunetas no descargan (a través de alcantarillas, vados ondulantes superficiales u otros drenajes de intersección) en deslizamientos de tierras activos o potenciales.
- Los caminos clausurados tienen un drenaje permanente y no dependen de cunetas.
- Los aportes de sedimentos finos de caminos, bancos de corte y cunetas se minimizan mediante el uso de cierres estacionales y la instalación de diversas técnicas de drenaje de la superficie que incluyen eliminación de bermas, camellones, dar forma a la superficie del camino (peralte hacia afuera, peralte hacia adentro o coronación), vados ondulantes superficiales, alcantarillas de alivio de cunetas, camellones y otras medidas para dispersar la escorrentía de la superficie del camino y reducir o eliminar el transporte de sedimentos al arroyo.

FIGURA 204.
Características de caminos a prueba de tormentas

con los años y aquellos que no se estabilicen pueden ser evaluados para recibir tratamientos apropiados. Sin embargo, la mayoría de las características construidas del antiguo camino no se ajustarán a las normas modernas y podrían surgir diversos riesgos ambientales en el camino que deben ser tratados. Esto se identificará durante los inventarios detallados y las inspecciones en campo.

Cuando los caminos reabiertos han sido abandonados por muchos años, es posible que algunos cruces de arroyos largos o segmentos cortos del camino en pendiente empinadas e inestables hayan cedido por erosión o deslizamientos de tierra del pasado. En esos casos, es posible que no valga la pena reconstruir el camino y sea preferible redireccionar el trazado del camino en las áreas problemáticas con un segmento de camino nuevo y estable mediante técnicas y normas de construcción actuales y vigentes. En otros casos, los cruces de arroyos desgastados pueden parecer infranqueables y problemáticos pero suele ser más simple y económico mejorar el cruce para que se ajuste a las normas de diseño vigentes (Figura 205).

En muchos casos, la reapertura temporaria de un camino de construcción deficiente (por una sola temporada de verano) puede ofrecer importantes beneficios ambientales si la recuperación o la clausura podrían reducir la erosión y la sedimentación continua o futura del antiguo trazado. Todos los trabajos de reconstrucción deben llevarse a cabo de manera tal de minimizar la perturbación del suelo. Solamente se deben perturbar las áreas que realmente requieran movimiento de tierras. Típicamente, la mayor parte de la superficie del camino seguirá estando intacta y solamente necesitará una nivelación mínima para volver a ser transitable. Las cunetas y canaletas no deben perturbarse, salvo que ciertas áreas específicas deban ser reparadas o deban convertirse en una configuración con peralte hacia afuera. Se debe evitar la creación de un nuevo vertido lateral en áreas de taludes empinados, cerca de canales

FIGURA 205. *Los cruces de arroyos mal diseñados o no mantenidos en caminos antiguos tienden a sufrir fallas durante grandes tormentas. Esta alcantarilla de 8 pies de diámetro fue parcialmente taponada (observe la madera en la entrada) y los flujos de crecida se acumularon y lavaron el relleno. Durante la reconstrucción del camino, los cruces de arroyos deben ser rediseñados como cruces temporarios (que luego deben ser eliminados) o mejorados para el flujo de crecida de 100 años, incluyendo el paso de escombros y las cargas de sedimentos. Cuando se reconstruyen, estos cruces pueden adaptarse con un filtro de escombros o un desviador de escombros corriente arriba o mediante la instalación de un puente.*

de arroyos o cuando los rellenos sean inestables o demasiado empinados. Como regla general, el nuevo vertido lateral no debe agrandar las plataformas.

Las decisiones de reapertura de caminos abandonados deben tomarse en el sitio, después de haber realizado una inspección de todo el camino y de haber analizado las ventajas y desventajas de volver a perturbar el área. **Como regla general, suele ser recomendable eliminar la vegetación abundante a lo largo del camino abandonado si existen proyectos de prevención de la erosión sustanciales que podrían realizarse durante o después de la reconstrucción.** Es decir, en general es preferible eliminar la vegetación en lugar de dejarla intacta y no tratar las zonas de conflicto de erosión potencial y continua en el trazado del antiguo camino. **La eliminación de la vegetación y la regeneración del prisma del camino, en sí mismo, no suele generar problemas graves de erosión.** En caso de duda, debe buscar asistencia técnica y asesoramiento de especialistas de recursos con experiencia (geólogos calificados, ingenieros geólogos, especialistas en control de erosión, etc.) y la opinión de las agencias regulatorias que deberán aprobar cualquier proyecto propuesto.

Es posible que algunos caminos antiguos no puedan reabrirse y ser mejorados en forma permanente. Esto debe ser relativamente evidente al momento de la inspección de campo y el análisis del camino. Únicamente después de una cuidadosa evaluación, que compare los beneficios económicos y ambientales con su posible impacto, no se podrá justificar la reapertura de caminos que 1) crucen laderas inestables, 2) hayan sido construidos en el eje del canal de un arroyo o valle o 3) requieran un movimiento de tierra considerable y puedan provocar una erosión significativa y la sedimentación del arroyo. Algunos caminos simplemente no pueden ser ubicados en una buena ladera y no se puede realizar nada económicamente para mejorar su diseño o su estabilidad (Figura 206).

FIGURA 206. *Este camino rural cruzaba una gran ladera inestable que mostró un movimiento generalizado durante un invierno excepcionalmente húmedo. El camino no provocó la inestabilidad pero ya no puede ser utilizado. Se debe desarrollar un acceso alternativo en los cruces de caminos en terrenos muy inestables. Este camino debe ser clausurado sin erosión adicional y la inestabilidad es provocada por el camino y sus estructuras de drenaje.*

a. Cruces de arroyos

Los cruces de arroyos existentes a lo largo del trazado del camino requieren una evaluación y un análisis detallados. Si el camino será permanente, se deben revisar todas las estructuras de cruce de arroyos para determinar si han sido bien diseñadas y son capaces de soportar el pasaje del flujo de crecida de 100 años. Los cruces de arroyos que deban ser reconstruidos deben ser rediseñados para tener un mayor nivel de protección. Cualquier falla de diseño significativa que podría provocar una falla en el cruce del arroyo debe ser abordada inmediatamente.

Los cruces de arroyos desgastados son uno de los obstáculos más comunes en los caminos antiguos abandonados (huérfanos) que deben ser reconstruidos. En general, una parte o la totalidad del relleno se erosiona y desaparece corriente abajo si la estructura de drenaje es demasiado pequeña, no se mantiene o no estaba instalada en un principio (Figura 207). Los cruces de arroyos desgastados se reconstruyen del mismo modo que los nuevos cruces y se aplican las mismas técnicas y requisitos. Si el relleno sufrió una erosión parcial en el cruce, es posible que se requiera una excavación del material que se encuentra en el fondo del canal (hasta llegar al lecho del canal original) antes de la instalación de una nueva alcantarilla. Esto podría incluir la remoción de sedimentos y de tocones y troncos enterrados.

Otros cruces de arroyos podrían seguir intactos, pero tener alcantarillas de construcción deficiente, demasiado pequeñas o gastadas que deban ser reemplazadas o mejoradas (Figura 208). Es posible que algunos cruces hayan tenido troncos o escombros enterrados en el canal antes de ser rellenados y en la actualidad tengan grietas (Figura 209). Incluso aunque el cruce esté intacto, se debe excavar el relleno hasta el lecho del cauce original y se debe instalar un relleno estable y bien diseñado y una estructura de drenaje de tamaño adecuada (Figuras 210a y 210b).

FIGURA 207. *La entrada de la alcantarilla en este cruce de arroyo abandonado (no mantenido) se taponó parcialmente con madera y sedimentos. El relleno entubado "se lavó" (se erosionó) y se continúa erosionando y enviando sedimentos al canal y a las áreas corriente abajo. El hecho de "salir" de un antiguo camino no previene posibles problemas de erosión, especialmente si tiene cruces de arroyos entubados.*

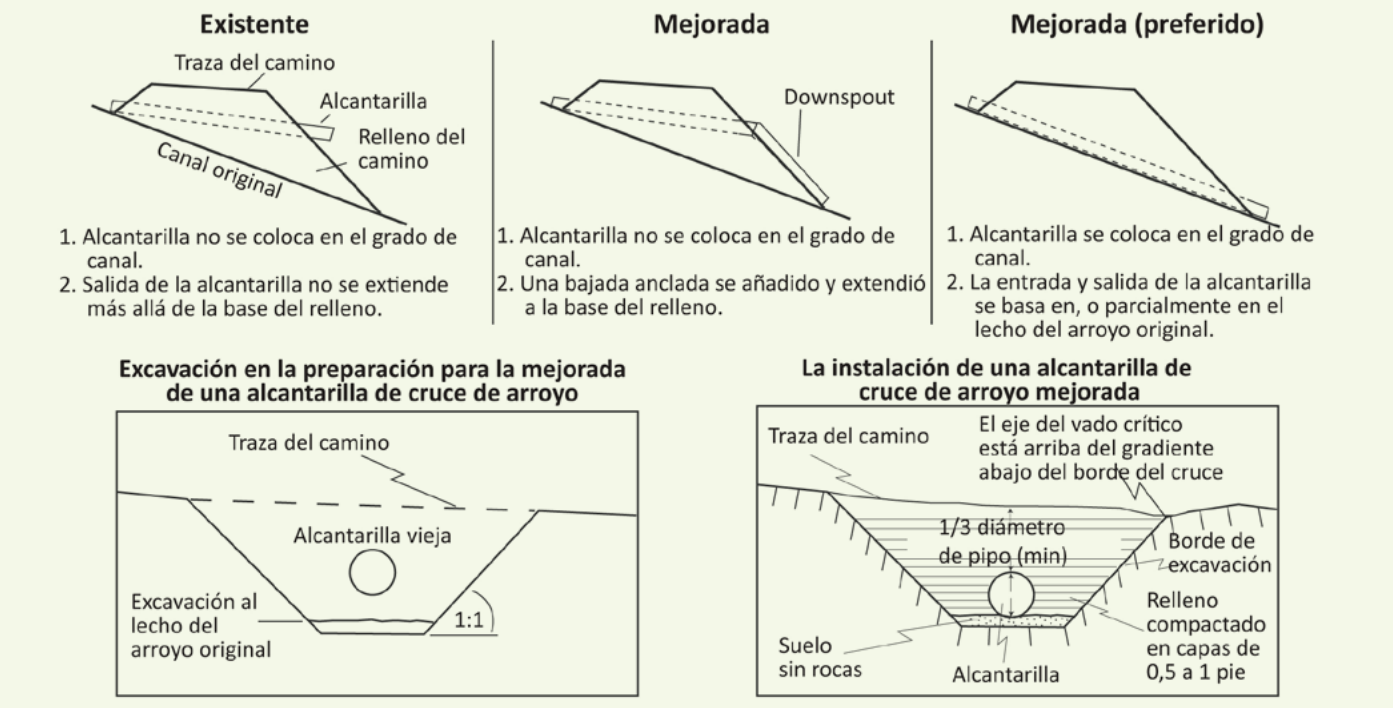


FIGURA 208. *Instalación de alcantarilla típica en arroyos sin peces.*

FIGURA 209. *Grieta en un camino estacional recientemente construido. La alcantarilla plástica se separó (ver flecha) cuando el relleno mal compactado se asentó durante la primera temporada húmeda. El flujo en la alcantarilla provocó que el relleno se erosione y se forme una grieta. Todo el sedimento erosionado se transportó corriente abajo.*

FIGURA 210A.
Este canal de arroyo de Clase I (con peces) ha tenido varios intentos de mejoramiento previos, pero ninguno de ellos fue diseñado para permitir el paso de peces. El cruce original estaba compuesto de troncos apilados en el canal y cubiertos con relleno. Cuando el cruce original se taponó, se instaló una alcantarilla en la parte superior de los troncos y luego se instaló otra alcantarilla más pequeña sobre ella para agregar más capacidad de flujo.

FIGURA 210B.
El mejoramiento reciente consistió en la eliminación de todos los rellenos de cruces de arroyos (incluso los troncos y las alcantarillas antiguas) y en la instalación de una gran alcantarilla incrustada para permitir el paso acuático.

Si se debe instalar un puente temporario o permanente, se debe retirar todo el relleno del cruce antiguo y se deben nivelar o excavar los bancos a un ángulo estable. En general, debe remover todo el material de relleno del cruce anterior si detecta rocas redondeadas, viejos troncos y ramas sin cortar, raíces, tocones y otras características del lecho y los bancos originales expuestos durante la excavación.

b. Fallas de caminos y plataformas

Los terraplenes de caminos y plataformas a lo largo de un camino propuesto para su reconstrucción deben ser examinados y si alguno de ellos muestra signos de inestabilidad o posible inestabilidad, en el cual las fallas de los terraplenes podrían impactar en los canales de arroyos cuesta abajo, debe ser estabilizado o retirado (excavado) (Figura 211). De manera similar, se debe analizar el drenaje de la superficie del camino para garantizar que la escorrentía del camino no perjudique la estabilidad de los terraplenes o las áreas de laderas debajo del camino. Se debe modificar la forma del camino y las estructuras de drenaje para proteger la estabilidad del talud, especialmente en el caso de que los taludes sean empinados y potencialmente inestables.

Los bancos de caminos con fallas pueden ser un gran obstáculo para la reconstrucción. En áreas de taludes de cañones internos empinados, las fallas en todo el ancho de la calzada pueden extenderse cuesta abajo a un arroyo con peces. El vertido lateral en el hueco, con la esperanza de desarrollar un nuevo banco del camino en el mismo lugar, suele provocar el envío directo de sedimentos al arroyo. El relleno resultante también será muy inestable. La reconstrucción del camino, una vez que se eliminen la mayoría, o la totalidad, de las fallas del antiguo banco del camino, suelen requerir una solución de ingeniería, como un relleno reforzado o un muro de contención (Figura 212). Se debe consultar con un ingeniero geotécnico o un ingeniero geólogo calificado para diseñar soluciones para estos sitios difíciles de reconstruir.

En muchos casos, el 10 a 50% externo del prisma del camino podría perderse como resultado de las fallas de terraplenes o hendiduras en el camino antiguo, en el cual solamente los materiales de vertido lateral se han desplazado cuesta abajo. Si el ancho del camino aún es

FIGURA 211. *Excavación de rellenos de plataformas inestables. El relleno demasiado empinado se eliminó del borde de la plataforma y se transportó fuera del sitio para su disposición final en un lugar estable. (Adams y Storm, 2011)*

FIGURA 212.
Relleno de ingeniería construido donde se ha eliminado una falla de un terraplén en toda la calzada.

FIGURA 213. *La mayoría de las fallas de rellenos de caminos dejan al menos la mitad de la calzada intacta y transitable. Si se requiere que el camino se más ancho para el paso de vehículos, la solución más rentable consiste en ensanchar el corte marginal en lugar de construir y diseñar el relleno en el lugar en el cual el camino ha sufrido fallas.*

suficiente para el paso de vehículos, no se debe perturbar el área inestable. Cuando se requiere un ensanchamiento del camino, considere cortar el banco interno en lugar de intentar construir el relleno (Figura 213). Si el material de relleno no ha sido removido del sitio, pero muestra signos de fallas en proceso (por ej., escarpes que desplazan o compensan el prisma del camino) y los suelos con fallas se enviarán a un arroyo, se debe excavar el material inestable y almacenarlo en un sitio de almacenamiento estable para su disposición final (Figura 214).

Si bien es una práctica muy común en la actualidad, los rellenos de plataformas inestables o los rellenos alrededor del exterior de bancos de rocas presentan problemas similares a mayor escala, excepto por el hecho de que no suele afectar el paso de vehículos. Los rellenos de plataformas inestables en caminos utilizados hace varias décadas solían resultar en la mezcla de suelos y escombros leñosos en el vertido lateral sin compactar alrededor del perímetro de una plataforma. La cara del relleno solía ser demasiado empinada por el continuo barrido y vertido lateral de los escombros sobre la cara externa de la plataforma. En taludes empinados, estos rellenos y depósitos de escombros inestables pueden saturarse con agua y provocar deslizamientos de escombros o flujos de residuos líquidos que se desplacen grandes distancias

FIGURA 214. *Excavación de relleno de camino inestable, antes y después del tratamiento.*

cuesta abajo y a canales de arroyos de mayor tamaño, amenazando las casas que se encuentran corriente abajo y otros hábitats e infraestructuras importantes. En otro casos, es posible que el material de relleno de plataformas con fallas no llegue al canal de un arroyo y el área de desgaste se vea afectada simplemente por el daño a la regeneración y la menor productividad del sitio.

Se debe evaluar cada desvío, plataforma o banco de rocas inestable para determinar si pone en riesgo los canales de arroyos cuesta abajo, los desarrollos humanos u otros recursos importantes. Si esto es así, se debe excavar el relleno inestable y transportarlo a un sitio de almacenamiento estable para su disposición final. Frecuentemente, el interior de la plataforma o el banco de rocas se abre camino en el basamento rocoso y puede servir como un sitio de almacenamiento adecuado para los materiales de relleno excavados.

Las fallas en los taludes de corte que bloqueen la superficie del camino suelen representar una erosión y problemas de calidad del agua de menor gravedad que las fallas en terraplenes, ya que la calzada puede almacenar gran parte del material de la canaleta con fallas y evitar que se traslade cuesta abajo (Figura 215). Por lo general, los materiales de las fallas pueden ser excavados fuera de la calzada y transportados a un sitio de almacenamiento adecuado para su disposición final. A menos que los taludes sean leves y el camino no esté cerca del canal de un arroyo, no se deben verter lateralmente escombros de la superficie del camino y en los taludes debajo. En ocasiones, el material se puede distribuir o "desviar" sobre la calzada, aumentando la superficie del camino y evitando la necesidad de una disposición final costosa.

c. Drenaje de la superficie del camino

La conectividad de los caminos y cunetas con los arroyos se debe reducir al mínimo como una parte fundamental de un proyecto de mejoramiento y tratamiento a prueba de tormentas de un camino. Esto podría incluir conversiones de formas de caminos (por ej., convertir caminos entre laderas a caminos con peralte hacia afuera), el agregado y la relocalización de alcantarillas de alivio de cunetas, el agregado de vados ondulantes superficiales para dispersar la escorrentía de la superficie del camino en taludes estables debajo del camino y la desconexión hidrológica de los barrancos conectados, zanjas y cualquier otra estructura de drenaje en la medida de lo posible.

FIGURA 215.
Los taludes de corte inestables suelen representar una menor amenaza para la calidad del agua que los taludes inestables, pero pueden ser difíciles de estabilizar de todos modos. El suelo que es despejado de la superficie del camino y en el cual se realiza una zanja debe ser transportado para su disposición final o empujado a un sitio de almacenamiento estable y sin vertido lateral sobre el borde externo del camino. En algunos casos, es posible que se necesite diseñar e instalar un contrafuerte para evitar una mayor inestabilidad y cierres del camino.

Muchos caminos antiguos fueron construidos inicialmente con una superficie entre laderas y una cuneta interna. Si las condiciones son adecuadas, el camino reconstruido puede ser convertido a una superficie con peralte hacia afuera de bajo impacto con vados ondulantes superficiales para dispersar la escorrentía del camino. En segmentos del camino con cunetas, se deben realizar alcantarillas de alivio de cunetas y otros mejoramientos de drenaje de la superficie para desviar rápidamente el agua fuera de la superficie del camino a áreas amortiguadoras cuesta abajo donde pueda infiltrarse. Muchos caminos temporarios y permanentes antiguos tienen una berma externa fue creada y perpetuada por años de malas técnicas de nivelación (Figura 216). Los caminos mal drenados pueden mejorar drásticamente mediante peraltes hacia afuera, eliminación de la berma u otras mejoras del drenaje de la superficie.

d. Disposición de desperdicios madereros y escombros

La reconstrucción de caminos abandonados suele involucrar una remoción sustancial de vegetación de la superficie del camino. Los desperdicios madereros no deben mezclarse ni vertirse lateralmente con los materiales del suelo. En lugar de ello, se puede apilar y quemar en plataformas o colocar en camellón a lo largo del borde externo del relleno limpiado. Los escombros generados por la reconstrucción del camino (principalmente por fallas en las canaletas) deben ser colocados de manera segura en un lugar estable en el que no puedan erosionarse o ingresar al curso de agua. Las técnicas de disposición de escombros son las mismas que se aplican a la construcción de nuevos caminos (ver Capítulo 5 y las secciones sobre construcción y control de erosión y técnicas de reconstrucción debajo).

E. MEJORAMIENTO DE CRUCES DE ARROYOS

Cuando se mejora y somete a un tratamiento a prueba de tormentas a un camino forestal o rural, los cruces de arroyos son uno de los elementos más importantes a evaluar y mejorar. La inspección de campo y el análisis en oficina le indicarán qué se debe hacer para ajustar el cruce a las normas de

FIGURA 216. *Problemas de escorrentía de la superficie provocados por el uso en clima húmedo de un camino estacional, sobre una berma y sin pavimentar. La superficie de tránsito se surca y esto sirve para recolectar la escorrentía y provocar más erosión. La falta de camellones o vados ondulantes superficiales, junto con la berma a lo largo del borde externo del camino, actúan para mantener la escorrentía de la superficie en la calzada sin pavimentar.*

diseño vigentes y para reducir su potencial de fallas. Estas acciones pueden resumirse en una cantidad discreta de "acciones" que se toman para mejorar cada cruce de arroyo y hacerlo más resistente a tormentas e inundaciones, reducir el envío de sedimentos finos crónicos y tener un mínimo impacto sobre el pasaje de organismos acuáticos (Figura 204).

Para comenzar, un análisis de mapas e inspecciones de campo le indicarán si la alcantarilla es demasiado pequeña para el flujo de crecida de diseño (intervalo de recurrencia a 100 años) y las inspecciones le ayudarán a saber si los puentes u otras estructuras de cruces de arroyos no estándar deben ser reemplazados. La mayoría de los cruces de arroyos con alcantarillas antiguos (aquellos construidos hace más de 10 a 20 años en muchos estados del oeste) son demasiado pequeños para el flujo máximo de 100 años. A los 20 años, muchos de estos cruces mostrarán signos de oxidación y desgaste y probablemente necesiten ser reemplazadas. Si la alcantarilla es demasiado pequeña, tiene agujeros de óxido en el fondo, muestra signos de pérdida o separación interna o tiene una entrada abollada o quebrada, probablemente deba ser mejorada (Figuras 217a y 217b).

Al mejorar una alcantarilla de cruce de arroyo, asegúrese de determinar si se trata de un arroyo con peces y, si esto es así, asegúrese de permitir el paso de todas las especies de todo tamaño que usen el canal en cualquier momento del año. Algunos arroyos con alcantarillas de gran

FIGURA 217A. *Cruce de arroyo con alcantarilla en un camino forestal permanente antes de la mejora de la norma de diseño de 100 años (incluso escombros y sedimentos). Fotos del antes y el después de la salida de la alcantarilla tomadas en el mismo lugar.*

FIGURA 217B. *Cruce de arroyo con alcantarilla en un camino forestal permanente después de la mejora de la norma de diseño de 100 años (incluso escombros y sedimentos). Fotos del antes y el después de la salida de la alcantarilla tomadas en el mismo lugar.*

tamaño podrían requerir la instalación de un puente, un arco con placa o una alcantarilla de arco en lugar de una alcantarilla redonda empotrada (Figuras 218a y 218b). Consulte con las agencias regulatorias que se ocupan de la protección de especies acuáticas, incluyendo los peces, para conocer su opinión sobre su propuesta de diseño antes de comenzar a planificar la construcción.

Si el canal del arroyo muestra signos de taponamientos previos de las alcantarillas o transporte significativo de grandes escombros leñosos durante las crecidas, deberá proveer una mayor protección contra futuros taponamientos de su nueva instalación. Para ello, puede aumentar el tamaño de su alcantarilla a un tamaño aún mayor al requerido para transportar la descarga máxima de 100 años mediante el uso de una alcantarilla de arco en lugar de una alcantarilla redonda o mediante la instalación de un puente, vado o arco con placa (arco sin fondo) en lugar de una alcantarilla. Las sugerencias de métodos para determinar el tamaño de una alcantarilla y los cálculos para el pasaje de residuos orgánicos durante crecidas se describen en el Apéndice A.

Por último, la mejora de cruces de arroyos también implica la mejora del drenaje de la superficie de los caminos en los alrededores de cada cruce. La escorrentía de la superficie del camino y el flujo de las cunetas deben ser desviados del camino, lo más cerca posible del cruce del arroyo posible, evitando que

FIGURA 218A.
Cruce de arroyo con alcantarilla en un canal de un arroyo con peces (a) se actualizó a un puente de vagón plataforma (b). Tenga en cuenta los contrafuertes de concreto, los terraplenes de relleno blindado y el fondo del canal naturalmente ancho a lo largo del cruce antes de la instalación del puente.

FIGURA 218B.
Cruce de arroyo con alcantarilla en un canal de un arroyo con peces (a) se actualizó a un puente de vagón plataforma (b). Tenga en cuenta los contrafuertes de concreto, los terraplenes de relleno blindado y el fondo del canal naturalmente ancho a lo largo del cruce antes de la instalación del puente.

dicha escorrentía ingrese al arroyo cuesta abajo. El resto de la superficie del camino conectado debe tener una armadura rocosa o ser cubierta y sembrada si el camino es un camino pavimentado nativo estacional.

La superficie del camino sobre el cruce puede ser entre laderas o con un peralte hacia afuera, siempre y cuando la escorrentía de la superficie del camino local restante no se dirija a los nuevos rellenos y los rellenos descubiertos sean protegidos de la erosión mediante sembrado, cubrición o mantas de control de erosión. Las armaduras rocosas suelen instalarse alrededor de la entrada y salida de la alcantarilla para protegerla de la erosión y esa armadura también sirve para atrapar los sedimentos erosionados del nuevo relleno antes de que sean transportados al arroyo. Por último, la revegetación de los rellenos debe prever el control de la erosión a largo plazo y la estabilidad de los terraplenes.

F. TÉCNICAS DE REEMPLAZO DE ALCANTARILLAS SIN ZANJAS

La tecnología de excavación sin zanjas puede definirse como el uso de métodos de construcción para instalar o reparar infraestructura subterránea sin cavar una zanja ni abrir un corte de excavación. Durante las últimas décadas, se ha observado un rápido desarrollo y expansión de la tecnología de excavación sin zanjas debido a la búsqueda de una alternativa de instalación o rehabilitación rentable de cruces de arroyos con un impacto ambiental mínimo.

Los métodos de recubrimiento de alcantarillas se clasifican como un método de rehabilitación especializado de alcantarillas sin zanjas para reparar ciertos cruces de arroyos existentes sin tener que excavar y reemplazar el tubo de la alcantarilla existente. Si bien su utilización suele limitarse al reemplazo de alcantarillas en caminos públicos, en donde el tránsito no puede cerrarse, los métodos de excavación sin zanjas más simples también son adecuados para algunos rellenos con alcantarillas de gran tamaño en caminos forestales y rurales.

Las técnicas de excavación sin alcantarillas adecuadas para caminos rurales pueden dividirse en técnicas para la instalación de nuevas tuberías y técnicas para la rehabilitación de tuberías existentes. La instalación de nuevas tuberías se realiza mediante la utilización de métodos de elevación de tuberías o barrenado de tierra. Alternativamente, la rehabilitación de tuberías puede realizarse mediante métodos de revestimiento o mediante la aplicación de reparaciones de mantenimiento a las alcantarillas existentes. El elevado costo de reemplazo de alcantarillas largas debajo de rellenos altos garantiza una evaluación de todas las técnicas de reparación disponibles en la actualidad.

El mantenimiento de las alcantarillas puede incluir reparaciones de corrosión importantes y daños por abrasión de las pipas de las alcantarillas. Las técnicas utilizadas para las alcantarillas metálicas pueden incluir recubrimiento; revestimiento con concreto, lechada de cemento y plástico; taponamiento de pérdidas con bandas de expansión, inyección de lechada y soldadura; e inserción de una tubería de menor diámetro (encamisado). Las alcantarillas de concreto pueden ser reparadas mediante el recubrimiento con lechada; la remoción y el reemplazo del concreto deteriorado; la inserción de revestimiento de arcilla o plástico; y la aplicación de recubrimientos de polímeros.

Como su nombre lo indica, estos métodos permiten acondicionar o reemplazar completamente una tubería con un trabajo de excavación mínimo y, en consecuencia, un efecto mínimo sobre el tránsito del camino. Los sitios de proyectos que favorecen la tecnología de excavación sin zanjas para la rehabilitación de una tubería incluyen sitios con: cubiertas profundas, tuberías de gran tamaño y grandes rutas de desvío. El análisis hidráulico de una tubería rehabilitada debe ser el mismo que el requerido para una tubería o alcantarilla nueva. **Cualquier tipo de revestimiento para rehabilitar una tubería reducirá el diámetro de la tubería, reduciendo su capacidad. Sin embargo, debido a la uniformidad del nuevo revestimiento, la eficacia mejorada de la tubería podría compensar la capacidad perdida.**

Existen diversos métodos de rehabilitación disponibles que pueden restaurar la integridad estructural a la tubería, incluso: doblado y formación,

inserción a tracción, tunelización, perforación horizontal dirigida y fractura de la tubería, entre otros. La mayoría de los métodos están diseñados para su uso en carreteras y muy pocos de ellos serán rentables para caminos forestales y rurales.

Diversos tipos de revestimientos pueden readaptarse al interior de la tubería. Una de estas técnicas se denomina **"doblado y formación"** y consiste en empujar una tubería de HDPE doblada a través de una tubería (anfitriona) existente. Luego la tubería de revestimiento se infla con aire caliente o agua para que el revestimiento se amolde a la tubería anfitriona, sellando las grietas y creando una nueva tubería dentro de una tubería. Otro método consiste en un revestimiento doblado ajustado o en un revestimiento doblado y formado. Antes de la instalación, se caliente un revestimiento de polietileno y se dobla para reducir el área transversal para la inserción. Luego el revestimiento es insertado en la alcantarilla anfitriona y empujada hacia el lugar con un cabrestante. Una vez que se coloca, el revestimiento se modifica, con la aplicación de calor y presión (generalmente vapor) y forma un revestimiento de cierre con la alcantarilla anfitriona (Figura 219).

La **inserción a tracción** es una técnica que consiste en insertar una tubería completamente redonda de diámetro pequeño en la tubería anfitriona y luego llenar el espacio entre las dos tuberías con lechada (Figura 220). Es el método de revestimiento más común y más sencillo y su costo varía entre los $25 y los $200 por pie. La inserción a tracción consiste en insertar un revestimiento flexible, generalmente termoplástico, de diámetro pequeño directamente en una alcantarilla deteriorada. Los revestimientos se insertan en el anfitrión empujando o jalando del revestimiento. Luego de la inserción, el espacio entre la alcantarilla existente y el revestimiento suele ser rellenado con cemento para crear un sello hermético (Figura 220).

La **inserción a tracción continua** consiste en el revestimiento de una alcantarilla deteriorada con un revestimiento continuo. No se requieren acopladores, lo cual permite colocar un revestimiento de mayor

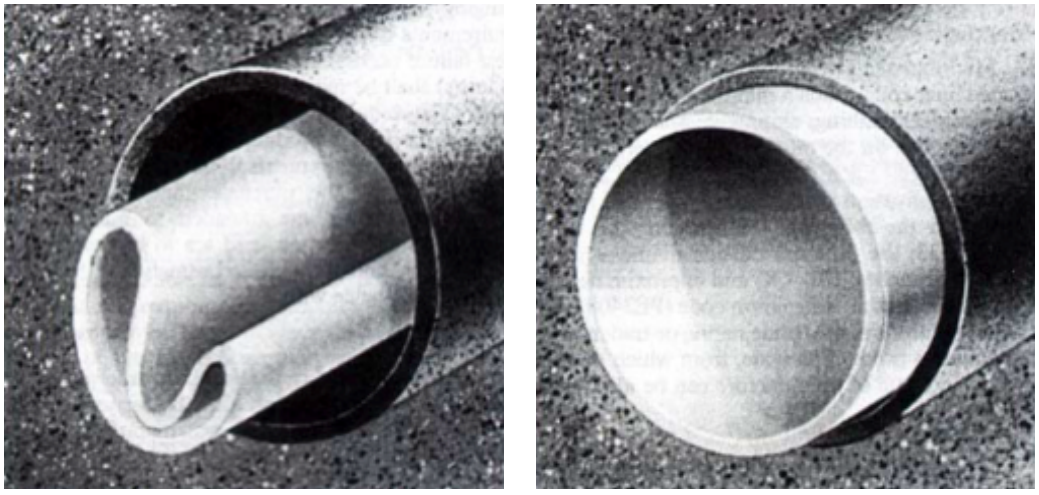


FIGURA 219.
Revestimiento de alcantarilla de "doblado y formación". (Thornton y otros, 2005)

FIGURA 220.
Técnica de deslizamiento para la instalación de tuberías sin zanjas.

diámetro. En general, los revestimientos están hechos de segmentos de tuberías de polietileno o polietileno de alta densidad que se fusionan o funden. El revestimiento continuo es empujado, jalado o empujado y jalado simultáneamente en la alcantarilla anfitriona. La inserción a tracción funciona mejor si la tubería original ya es más larga que el diámetro de alcantarilla requerido para el flujo máximo de 100 años, de modo tal que la inserción de la tubería de menor tamaño siga pasando por las descargas de diseño. Si bien el revestimiento de menor diámetro podría reducir la capacidad de flujo de la alcantarilla, las superficies lisas del interior podrían compensar parte de la pérdida de flujo provocada por la inserción de la tubería.

El pasaje de peces a través de tuberías con revestimientos nuevos podría convertirse en un problema si las velocidades aumentan lo suficiente en la tubería de paredes lisas como para que los peces no puedan nadar aguas arriba.

El método de **tunelización** suele ser más costoso que los demás métodos de colocación de alcantarillas en el sitio, pero permite instalar una alcantarilla de mayor tamaño que la alcantarilla actual. Consiste en barrenar a través del relleno y, simultáneamente, insertar una nueva alcantarilla de mayor tamaño a medida que el barrenado avanza (Figura 221). Debe haber un buen acceso para equipos pesados cuesta arriba (en la entrada) del relleno del cruce del arroyo (Figura 222).

FIGURA 221.
A veces se utiliza la tunelización para instalar una alcantarilla en un relleno de camino profundo sin abrir una excavación o alterar el tráfico. La barrena de suelo grande a motor perfora y remueve los materiales del suelo y el relleno del agujero y la nueva tubería de acero es elevada hidráulicamente en el agujero.

FIGURA 222.
La nueva sección de tuberías se suelda a la sección "elevada" anterior y el proceso se repite hasta que la salida queda expuesta a la base del terraplén externo. Las guías en el suelo se utilizan para mantener la tubería y la barrena alineadas y rectas. El suelo removido por la barrena es transportado a un sitio de disposición final.

El método de **elevación de tuberías o apisonamiento** es, probablemente, el método más conocido y más utilizado. La elevación de tuberías se realiza mediante la instalación de tuberías y alcantarillas bajo calzadas, vías férreas, pistas, canales u otras estructuras fijas. En los proyectos de calzadas, se suele utilizar la operación de elevación de la tubería para instalar tuberías con una mínima interrupción, o sin interrumpir, el tránsito vehicular o cualquier tipo de servicio público. La elevación de tuberías requiere un área de superficie suficiente como para brindar una vía de acceso. Esta vía se utiliza para elevar equipos y retirar la tierra excavada de la tubería elevada. Se deben localizar todos los servicios públicos antes de comenzar con la operación de elevación. Este método permite avanzar la tubería por el suelo con la fuerza de un gato hidráulico (Figura 223).

Las tuberías con un diámetro inferior a 48 pulgadas pueden ser elevadas de manera económica y sencilla. El material excavado suele ser retirado a través de la instalación de una tubería hidráulica en carritos o mediante un sistema de cinta transportadora. Una vez que finaliza la instalación, se bombea lechada o arena en el hueco, entre el orificio excavado y el exterior de la tubería. Se requieren pautas de diseño y construcción, y la supervisión de un ingeniero, para completar la elevación de tuberías de manera rentable.

G. MEJORAS DE DRENAJES DE CAMINOS—CONVERSIONES DE FORMA DE CAMINOS

En las décadas anteriores, la ingeniería clásica de los caminos forestales y rurales en muchas partes del país consistía en construir caminos entre laderas con cunetas. La teoría era que se debía tener un control completo de la escorrentía de la superficie del camino, dónde recogerla, cuánto se debía acumular, adónde se debería dirigir y dónde se debería descargar. La escorrentía también era recolectada de bajíos y pequeños arroyos efímeros en el borde interno del camino y desviada a la cuneta interna. En casi todos los casos, la escorrentía se dirigía a la entrada de la alcantarilla de cruce de arroyo más cercana como vía preferida para sacarla del lugar de manera rápida y eficaz. Los arroyos eran considerados el mejor lugar para eliminar la escorrentía del camino sin dañar el prisma del camino. El derecho de vía del camino era considerada la parte más importante de un camino y la protección de la infraestructura del derecho de vía era primordial. No se tenía muy en cuenta el impacto

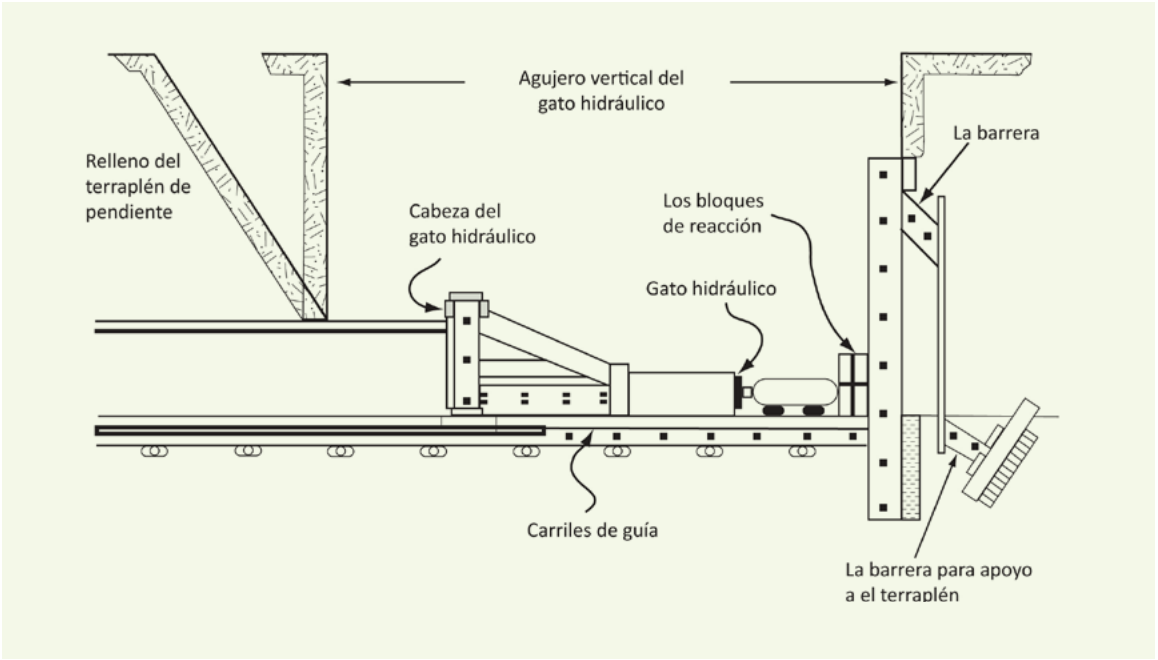


FIGURA 223. *Técnica de elevación de tuberías para la instalación de alcantarillas sin zanjas.*

que esto podría provocar cuesta abajo y corriente abajo o el impacto ambiental que podría generar.

Más recientemente, a medida que se comenzaron a identificar y cuantificar los impactos ambientales fuera del lugar de las prácticas de drenaje de las superficies de caminos, y que se revelaron sus causas, las prácticas comenzaron a modificarse significativamente. En la actualidad, la dispersión de la escorrentía de la superficie del camino se considera la mejor práctica de ingeniería, y la más ecológica, para manejar la escorrentía de la superficie del camino. **El objetivo es que el camino sea lo más invisible posible en términos hidrológicos, de modo tal que la escorrentía cuesta arriba sea transportada directamente a través del trazado del camino y cualquier escorrentía generada por el camino (incluso la canaleta, el lecho y los terraplenes) se disperse y descargue en el talud nativo debajo del camino lo más rápido posible.** La única advertencia es que cuando la escorrentía se dirige a esas áreas cuesta abajo, podría provocar inestabilidad u otros problemas graves.

Hay lugar para caminos entre laderas con cunetas, pero la prevalencia histórica en el paisaje suele indicar que estos caminos son muchos más de los necesarios o deseados. Las cunetas son necesarias para aguas emergentes y la escorrentía de las canaletas debe ser recolectada para que no dañe el subrasante o la superficie del camino. En el caso de que las canaletas estén secas y no tengan agua emergente, la mayoría de los caminos pueden tener un peralte hacia afuera para lograr un drenaje de superficie más eficaz. **Los caminos entre laderas que requieren mucho mantenimiento pueden ser convertidos en caminos con peralte hacia afuera de bajo mantenimiento como una forma de mejorar el drenaje del camino y reducir la conectividad hidrológica** (Figuras 224a y 224b).

Las conversiones de forma de caminos pueden formar parte de un proyecto de estabilización de terraplenes, donde el material de relleno potencialmente inestable se excava en el borde externo de un camino y luego se utiliza para rellenar la cuneta en ese lugar y en otros (suponiendo que el material es adecuado) (Figuras 225a y 225b). **En general, la conversión más común consiste en cambiar un camino entre laderas por un camino con peralte hacia afuera con vados ondulantes superficiales.** Este tipo de conversión suele utilizarse en los alrededores del camino que llevan a cruces de arroyos, como método para eliminar la cuneta interna y eliminar su conectividad con el arroyo (Figuras 226a y 226b).

El material de relleno excavado necesario para rellenar la cuneta puede ser derivado mediante la excavación de la mitad externa del banco del camino (usando una excavadora o un bulldozer con una cuchilla de 6 posiciones) o puede ser transportada al sitio de un sitio de préstamo cercano. El lecho del camino luego se quiebra (decompacta) y el relleno es colocado, compactado y se le da forma en la cuneta y en el borde interno del banco del camino. Se utiliza una topadora y luego un nivelador para darle una forma final con peralte hacia afuera al nuevo banco con peralte hacia afuera del camino. La nueva forma debe ser regada (si está demasiado seca) y se puede utilizar una compactadora apisonadora vibratoria para endurecer los materiales y la superficie. Al igual que en cualquier otro camino con peralte hacia afuera, deberá construir vados ondulantes superficiales regulares a lo largo del trazado para garantizar un drenaje regular de la superficie del camino dispersada.

Según las condiciones del sitio, se pueden utilizar otros métodos de conversión de forma de caminos. Si se requiere una cuneta, el banco del camino entre laderas puede ser convertido en un camino con peralte hacia afuera mientras que la cuneta se retiene para recolectar y drenar la escorrentía de la superficie y limpiar el agua emergente de la canaleta. Este es un excelente método de "limpiar" el flujo de la cuneta para que pueda descargarse de manera segura a la entrada de una alcantarilla de cruce de arroyo cercana sin agregar los sedimentos finos o la turbidez que provendría de la escorrentía del camino.

FIGURA 224A.
El camino estacional con cunetas, erosionado, muy surcado y con bermas (a) se convirtió en un camino con peralte hacia afuera y vados ondulantes superficiales (b) para mejorar el drenaje del camino y reducir los requisitos y los costos de mantenimiento. El camino también se cubrió con grava para que se pudiera utilizar durante la estación húmeda.

FIGURA 224B.
El camino estacional con cunetas, erosionado, muy surcado y con bermas (a) se convirtió en un camino con peralte hacia afuera y vados ondulantes superficiales (b) para mejorar el drenaje del camino y reducir los requisitos y los costos de mantenimiento. El camino también se cubrió con grava para que se pudiera utilizar durante la estación húmeda.

De manera similar, un camino entre laderas puede convertirse con facilidad en un camino en corona y la corona puede eliminarse de la posición centrada tradicional de la calzada a un lugar más cercano al interior del camino. La corona brinda el factor de seguridad que suele ser necesario en caminos rurales que se cubren de nieve ocasionalmente durante el invierno, pero reduce en gran medida la cantidad de sedimentos finos y escorrentía túrbida que ingresaría de otro modo en la cuneta desde una superficie de camino totalmente entre laderas.

H. CONTROL DE EROSIÓN

La prevención de la erosión y el control de la erosión pueden mejorarse mediante la reconstrucción de un camino. El mejoramiento o la eliminación de cruces de arroyos y rellenos inestables puede reducir la posibilidad de que se produzcan fallas en el camino y que se

FIGURA 225A.
Camino permanente de la superficie nativa en una subdivisión rural que tenía un peralte hacia adentro, con bermas y surcos profundos antes del mejoramiento.

FIGURA 225B.
El camino se convirtió en un camino con peralte hacia afuera con superficie de grava, sin zanjas ni bermas internas. El acotamiento tenía una pendiente muy empinada para brindar un drenaje libre y continuo de la escorrentía de la superficie del camino.

envíen sedimentos a los canales del arroyo. Incluso la reutilización temporaria y única de un camino abandonado puede ser una oportunidad para llevar a cabo tareas de control de erosión y prevención de erosión cuando el camino se cierra de manera permanente.

El control de la erosión durante la reconstrucción de caminos permanentes y temporales es prácticamente igual al que se realiza en una construcción nueva. La erosión de la superficie puede minimizarse si se reduce al mínimo la excavación y la exposición del suelo y si se conserva la vegetación del costado del camino en la medida de lo posible. El mayor beneficio potencial de la prevención de la erosión estará en los cruces de arroyos reconstruidos. El uso de puentes temporarios y las medidas de protección en entradas de alcantarillas, salidas de alcantarillas, superficies de caminos y terraplenes ayudará a reducir el potencial de erosión acelerada en caminos reconstruidos (ver Capitulo 5(I) y Capitulo 6(E)).

FIGURA 226A.
El camino de subdivisión rural tenía un peralte hacia adentro y surcos antes del tratamiento. La escorrentía de la calzada erosionada se transportó directamente a un canal del arroyo.

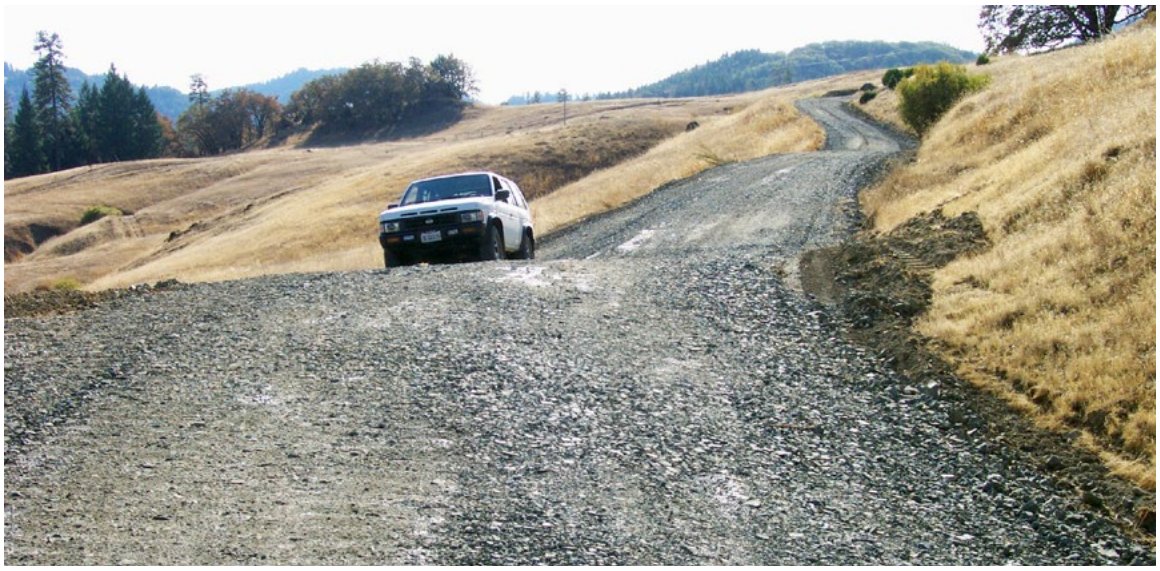


FIGURA 226B.
El camino se modificó a una forma con peralte hacia afuera, con vados ondulantes superficiales amplios construidos a intervalos regulares, para dispersar la escorrentía del camino en la pendiente cubierta de pasto adyacente y para desconectar la escorrentía del camino del arroyo cercano. Tenga en cuenta que la cuneta se rellenó y se le agregó grava a la superficie del camino de bajo mantenimiento.

El tiempo de la reconstrucción y el mejoramiento, especialmente en cruces de arroyos, también puede ayudar a prevenir y controlar la erosión innecesaria. **La reconstrucción y el mejoramiento de cruces de arroyos deben realizarse en momentos de bajo caudal. El trabajo en caminos para la temporada húmeda debe realizarse únicamente durante períodos secos y cuando se pueden instalar medidas de control de la erosión (cubrición, barreras contra el agua, etc.) en simultáneo con la reconstrucción del camino.** No se deben "abrir" grandes secciones de caminos durante la estación húmeda sin realizar un trabajo de control de la erosión en simultáneo.

7 INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

A. INTRODUCCIÓN A LA INSPECCIÓN Y EL MANTENIMIENTO DE CAMINOS

El mantenimiento regular de los caminos es esencial para proteger al camino y para evitar el daño ambiental. Todos los caminos deben ser inspeccionados y mantenidos en forma regular, ya sea que se trate de caminos principales o caminos secundarios sin salida locales con un tránsito mínimo (Figura 227). Los presupuestos limitados pueden provocar que los terratenientes aplacen el mantenimiento hasta que tengan fondos suficientes. Cuanto más tiempo se pase sin abordar las necesidades de mantenimiento, mayor será el riesgo de que se produzcan daños en el camino e impactos corriente abajo y mayor será el costo de los trabajos. **Si no se cuenta con personal adecuado y recursos financieros para realizar tareas de inspección y mantenimiento regular a largo plazo, los caminos deben construirse (o reconstruirse) como caminos temporarios y luego ser cerrados o abandonados adecuadamente al finalizar las operaciones planificadas.** Los caminos temporarios que sean adecuadamente abandonados y los caminos que ya hayan sido clausurados no requieren un mantenimiento continuo y no son una amenaza para los recursos corriente abajo.

B. EVALUACIÓN Y VIGILANCIA DE CAMINOS PARA DETECTAR AMENAZAS

Las tareas de evaluación y vigilancia de caminos para detectar amenazas difieren de las tareas de identificación de las necesidades de mantenimiento. La identificación de amenazas se determina mediante la realización de un inventario del camino para detectar posibles puntos débiles que podrían provocar fallas durante una gran tormenta o inundación. Esto suele incluir sitios y estructuras de caminos que podrían sufrir fallas catastróficas, como cruces de arroyos y rellenos de caminos y terraplenes inestables. **El objetivo de la identificación y el tratamiento de amenazas es que el camino sea más resistente a fallas y tenga menos impacto sobre**

FIGURA 227.
Camino secundario no mantenido de baja calidad que no muestra evidencias de inspecciones o tareas de mantenimiento recientes. A pesar de la falta de uso regular, muchos caminos secundarios de baja calidad tienen cunetas, alcantarillas, terraplenes y cruces de arroyos que podrían fallar y afectar el camino, así como las áreas cuesta abajo y corriente abajo durante tormentas. Si no hay fondos disponibles para el trabajo de inspección y mantenimiento, los caminos deben ser cerrados y clausurados para que no generen una amenaza continua a la cuenca fluvial.

la ecología en la cuenca fluvial. Por el contrario, las inspecciones de mantenimiento se realizan para determinar qué estructuras o características de un camino existente deben ser reparadas para que funcionen del modo diseñado y previsto. **En general, el mantenimiento no se realiza para mejorar el diseño o la resistencia, se realiza para garantizar que el camino y sus componentes funcionen del modo diseñado y construido.**

1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE AMENAZAS

Los sitios con amenazas son características del camino que son vulnerables a las fallas durante un evento de tensado o que degradan de manera crónica el sistema acuático. Son amenazas ecológicas y estructurales. La identificación y el tratamiento de estos sitios es una estrategia para la reducción de riesgos que deben priorizarse en toda la cuenca fluvial o la red de caminos, o en un camino simple. Involucra la identificación de lo que podría fallar, o tiene riesgos de generar fallas, antes de que se produzca. También aborda las mejoras de un camino para reducir los impactos crónicos del camino o el sistema de caminos en la ecología acuática y la calidad del agua corriente abajo.

La mayoría de las características que afectan o podrían afectar la hidrología de la cuenca fluvial, los canales de arroyos, el hábitat acuático o la calidad del agua pueden identificarse y tratarse antes de que se produzca la falla. **La mayoría de las amenazas crónicas son fáciles de identificar y tratar. Las amenazas catastróficas pueden identificarse mediante un análisis exhaustivo de los puntos débiles del camino o del sistema vial y la priorización del tratamiento.** Requiere una evaluación a futuro de cada sitio para determinar cómo reaccionaría una característica del camino ante tormentas e inundaciones de gran magnitud. El riesgo de fallas depende de las condiciones locales y de los diseños en cada lugar. No todos los sitios tienen el mismo riesgo de fallas y no todos los sitios tienen riesgos de sufrir fallas.

El análisis de riesgos se basa en 1) mediciones de campo y observaciones de cada sitio, 2) opiniones de profesionales sobre los eventos, resultados o escenarios que podrían provocar fallas en el sitio y 3) la magnitud y las consecuencias de esa falla fuera del lugar. No existe ninguna certeza de que los eventos pronosticados ocurran realmente, pero las evidencias locales le permitirán evaluar las posibilidades y asignar un nivel de riesgo a las distintas posibilidades. El tratamiento de estos sitios en riesgo puede reducir la posibilidad de que se produzcan y las consecuencias generales de grandes tormentas e impactos crónicos a largo plazo provocados por el camino o el sistema de caminos.

Una vez que se identifican las amenazas, se pueden diseñar tratamientos para:

- Reducir o eliminar el riesgo de fallas de taludes catastróficas relacionadas con el camino, especialmente deslizamientos de escombros y flujos de escombros de rellenos de caminos y terraplenes inestables.
- Reducir el riesgo de falla de cruces de arroyo provocadas por excedencia de flujo, taponamiento de alcantarillas, rebalses, lavados y desvíos de arroyos y sus impactos fuera del lugar.
- Reducir la magnitud (el volumen) de envío de sedimentos a arroyos de caminos y cruces de arroyos que sufran fallas.
- Reducir el envío crónico de sedimentos finos y escorrentía de caminos a arroyos provocado por conectividad hidrológica entre caminos y cunetas y arroyos.
- Reducir el costo de las reparaciones de los caminos y el tiempo en el cual los caminos estén fuera de servicio como consecuencia de fallas durante tormentas e inundaciones de gran magnitude.
- Reducir los esfuerzos de mantenimiento y los costos de mantenimiento a futuro para mantener los caminos abiertos y en buen estado.

2. IDENTIFICACIÓN Y TRATAMIENTO DE AMENAZAS

Existen dos tipos de amenazas relacionadas con el camino en una cuenca fluvial. Incluyen los elementos de un camino y la integridad y utilización que se ven amenazados por una tormenta y los elementos de una cuenca fluvial (incluyendo la calidad del agua y la ecología acuática) que podrían verse afectados por el mismo evento hidrológico. Las amenazas del sistema de caminos y las amenazas de la cuenca fluvial relacionadas con los sistemas de caminos forestales y rurales suelen provenir de tres fuentes:

- cruces de arroyos,
- canaletas y terraplenes inestables y
- drenaje de la superficie del camino.

Las amenazas se identifican mediante la realización de un inventario sistemático y un análisis de las debilidades de diseño de estas tres características relacionadas con el camino, su comparación con las normas de diseño vigentes y el desarrollo de las soluciones recomendadas y clasificadas por prioridad para reducir o eliminar el riesgo asociado con cada característica.

a. Inestabilidades relacionadas con el camino

Identificación (canaletas): se inspeccionan las canaletas y los terraplenes para identificar cualquier inestabilidad existente o potencial que pueda dañar significativamente el camino o impactar las áreas cuesta abajo. En general se necesitan geólogos calificados para interpretar el tamaño, el nivel de actividad y la posibilidad de fallas de los elementos inestables que se identifican. En el caso de las canaletas, las inestabilidades existentes se clasifican en categorías según su tamaño y su extensión aérea, así como el nivel de actividad actual, para determinar si hay evidencias físicas de que pueden expandirse y ampliar su tamaño actual. En algunos casos, se pueden usar fotografías aéreas para ver si las áreas cuesta arriba se han desestabilizado y observaciones de campo para hacer un mapa de los límites actuales de los elementos inestables que surgen como escarpes, grietas, árboles inclinados y otras evidencias de inestabilidad.

Tratamientos (canaletas): los deslizamientos de tierra relacionados con taludes de corte son difíciles de tratar y requieren métodos de ingeniería costosos. Estos métodos no suelen ser implementados en sistemas de caminos forestales y rurales en áreas forestales y rurales. Algunos tratamientos más sencillos pueden utilizar la revegetación y métodos simples de drenado y contrafuertes. Se debe consultar con un ingeniero geólogo o ingeniero calificado para definir estrategias o propuestas de estrategias de tratamiento específicas para el sitio ya que cada inestabilidad es única. Cuando se produce una falla, la mayoría de los deslizamientos de canaletas terminarán depositando el material con fallas en el banco del camino cuesta abajo y solamente unos pocos serán suficientemente largos o fluidos como para desplazarse por el banco del camino y continuar colina abajo. En este sentido, el banco del camino es

FIGURA 228. *Falla del talud de corte en un camino forestal permanente adyacente a un cruce de arroyo recientemente mejorado. Casi todos los deslizamientos de escombros de esta falla terminaron en el banco del camino y solamente una pequeña cantidad continuó pendiente abajo al relleno del cruce del arroyo de armadura rocosa. Las fallas de los taludes de corte pueden bloquear el tráfico pero, a diferencia de las fallas de los terraplenes, la mayoría no transportan sedimentos a un canal del arroyo. Los deslizamientos de escombros deberán ser excavados y transportados para su disposición final a un sitio de disposición estable.*

una estructura de control de sedimentos eficaz (Figura 228). El tránsito puede interrumpirse hasta que se retiren los escombros, pero el banco del camino casi nunca se pierde. **La mayoría de fallas de canaletas no tienen un impacto significativo o duradero sobre la calidad del agua o los sistemas acuáticos corriente abajo. Lo importante es qué hacer con el material del deslizamiento; debe verterlo lateralmente en un lugar en el que pueda ingresar a un arroyo o transportarlos a un lugar de disposición final.**

Identificación (terraplenes): se deben inspeccionar los terraplenes de caminos y se deben inventariar y categorizar aquellos que hayan sufrido fallas previamente, tengan escarpes o grietas o muestren otros signos evidentes de inestabilidad o posible inestabilidad. Para los caminos construidos con corte y relleno y vertido lateral, los signos de posibles fallas suelen ser visibles en la mitad externa del camino, en la parte del relleno de la calzada. Los signos que se deben buscar son escarpes paralelos al camino que muestren un leve desplazamiento vertical, grietas o árboles inclinados o doblados en los terraplenes. Los escarpes y grietas pueden ser continuos o intermitentes y pueden tener forma de arco en una vista plana, siguiendo fuera del borde externo del terraplén en ambos extremos (Figura 229). A veces son visibles y pueden mantener su apariencia en los caminos abandonados pero pueden ocultarse fácilmente mediante una nivelación de mantenimiento y la erosión de la superficie del camino. Las grietas arqueadas y los pequeños escarpes se distinguen bien y están siempre visibles en superficies de caminos pavimentadas y sellado plástico.

Algunos terraplenes de caminos no muestran signos evidentes de inestabilidad y fallas potenciales o en proceso, pero el carácter y la ubicación de los terraplenes los convierte en principales candidatos para tratamiento. Por ejemplo, los terraplenes de caminos que se posan sobre taludes húmedos y empinados y cerca del canal de un arroyo, especialmente en arroyos con peces, suelen ser inventariados y propuestos para tratamiento. Esto ocurre especialmente en terraplenes "riesgosos" en caminos que deben ser cerrados o clausurados en forma permanente y no estarán accesibles para tratamiento en el futuro si se desarrollan escarpes o grietas. Dichos rellenos suelen encontrarse en los alrededores de cruces de canales de arroyos cavados, en donde las fallas de terraplenes suelen enviar sedimentos al canal cuando se producen fallas.

Tratamientos (terraplenes): no todos los terraplenes identificados sufrirán fallas y no todos son inestables (algunos podrín reflejar un simple asentamiento) pero este inventario indicará un grupo de posibles fallas de rellenos que requieren mayor análisis. Una vez que se identifican, se evalúa el potencial de fallas estimado, el volumen de fallas y el recorrido y se deberán priorizar para el tratamiento los terraplenes con alto potencial de fallas, volumen suficiente para enviar sedimentos al arroyo y un calor recorrido al cuerpo de agua. **En la mayoría de los caminos de corte y relleno, las posibles fallas de terraplenes se tratan mediante excavación directa del relleno de un camino inestable o potencialmente inestable** (Figura 230). Este tratamiento es el método más sencillo y menos costoso y suele ser adecuado ya que gran parte de la calzada seguirá estando accesible para el tránsito. Si el camino es demasiado angosto, se puede excavar la canaleta para ensanchar el camino o se puede reconstruir un relleno de ingeniería a lo largo del borde externo del camino donde se retira el relleno inestable.

FIGURA 229. *El relleno inestable y las posibles fallas de los terraplenes amenazan el transporte de sedimentos al arroyo en la base de la pendiente. Parte del relleno en el borde externo de este camino forestal desarrolló grietas y pequeños escarpes, que indican inestabilidad. Los rellenos pueden volverse inestables con los años, luego de la construcción del camino, a medida que los residuos orgánicos enterrados se pudren o la presión de los poros de agua cambia dentro de la ladera. Los rellenos inestables o potencialmente inestables que pueden provocar fallas y transportar sedimentos a un arroyo deben ser excavados (retirados) o estabilizado lo antes posible.*

FIGURA 230. *El tratamiento más rentable para los rellenos inestables en el exterior de un camino forestal o rural consiste en la excavación directa del material inestable. Si el ancho de un camino es demasiado estrecho, se puede ensanchar mediante la realización de cortes en el banco. La excavación debe abarcar los materiales de relleno inestables, comenzando en la grieta o escarpe interior hasta la parte externa y baja del terraplén, dentro de lo posible. Para un drenaje adecuado de la superficie, y para recuperar la mayor parte del relleno inestable, la excavación debe tener un perfil cóncavo cuando finalice. Generalmente, el grueso del relleno está dentro de los 20 a 25 pies del borde externo del camino y puede alcanzarse con facilidad mediante una excavadora de tamaño mediano. En general, el relleno restante es lo suficientemente pequeño como para no generar fallas ni trasladarse muy lejos como para llegar al arroyo.*

La extensión de la inestabilidad y el relleno a ser "tratados" suele determinarse por las grietas o escarpes más próximos (internas) en la calzada, lateralmente por los extremos de las grietas arqueadas y escarpes que finalizan en el borde externo del relleno del camino externo y cuesta abajo por el largo del relleno. La extensión cuesta abajo es una función del talud del relleno de vertido lateral, pero hasta en los terraplenes más empinados la mayor parte del volumen de relleno inestable está contenido en los primeros 35 pies del talud, a la distancia del lecho del camino que puede llegar una excavadora grande.

b. Amenazas en el cruce del arroyo

***Identificación*—La mayoría de los cruces de arroyo en los caminos existentes, necesitan por lo menos algunos tratamientos a prueba de tormentas para mejorar su resistencia contra fallas.** Los cruces de arroyo son conocidos como los eslabones débiles en el bosque, ranchos y sistemas de camino rural. Son los puntos a lo largo del trazado de camino que están sujetos a las mayores tensiones durante las inundaciones y las tormentas prolongadas, y **tienen debilidades que los hacen susceptibles a fallas y daños físicos y ambientales potencialmente catastróficos** (Figura 231).

Los puntos débiles en los cruces de arroyos son catalogados mediante inventarios y análisis. Algunos de estos puntos débiles son:

- Los puentes o estribos tipo arco con placa estructural se encuentran desprotegidos o están sujetos a socavación y erosión durante momentos de flujo pico.
- Los puentes o arcos con placa no están lo suficientemente bien diseñados para el flujo de crecida de 100 años. Los residuos orgánicos flotantes podrían cubrirlos o inundarlos.
- Los arcos con placa (arcos sin fondo) con fundaciones laterales y vaguadas naturales están sujetos a socavación y fallas cuando acontece la excavación del canal durante las crecidas.
- Los cruces de arroyo con acueducto están sub-dimensionados para el flujo de la crecida; es decir la descarga pico de 100 años, que incluye sedimentos y restos orgánicos flotantes. Buscar líneas de alta oxidación (aproximadamente ≥30% del diámetro de la alcantarilla) en alcantarillas de acero como un indicador aproximado de que la tubería que está sub-dimensionada.
- Las alcantarillas están alineadas verticalmente u horizontalmente en forma deficiente, con el cauce natural ya sea en su salida o, aún más importante, en su entrada.
- Las alcantarillas están propensas al taponamiento por restos leñosos flotantes o sedimentos o ambos. Ya pueden estar parcialmente obstruidas o mostrar evidencia física de un histórico de obstrucciones y de rebalses, como terrazas deposicionales o un delta de

FIGURA 231. *Este cruce de arroyo entubado de 48 pulgadas de diámetro en un canal de basamento rocoso, empinado y adoquinado tiene un tamaño muy reducido para el flujo de 100 años. El material de la carga de sedimentos rugoso y los escombros leñosos flotantes aumentan el potencial de taponamiento de las alcantarillas y el rebalse de este relleno de gran tamaño. Los cruces de arroyos entubados son considerados puntos débiles de un sistema de caminos. No sólo las cosas pueden salir mal, sino que el impacto de las fallas en los cruces de arroyos suele sentirse corriente abajo.*

sedimentos aguas arriba en la tubería de entrada que se formó durante períodos en los que el caudal se estancó en la entrada de la alcantarilla. Examinar el diámetro de la tubería en relación al ancho del canal activo (Ver Apéndice A).

- Las alcantarillas están desgastadas, erosionadas, tienen fugas, están separadas y necesitan reemplazo.
- Las entradas de las alcantarillas están dañadas; incluyendo entradas aplastadas o rasgadas que reducen la capacidad de flujo y aumentan potencialmente el taponamiento.
- Las entradas de las alcantarillas están amenazadas por las fallas en los taludes de uno o ambos lados del canal.
- Los cruces de arroyo entubados tienen una desviación potencial; es decir, si se conecta la alcantarilla y el flujo de inundación alcanza la superficie del camino, el flujo se desviará por el camino y luego por otra corriente o ladera.
- Los cruces de arroyo están históricamente sujetos a flujos de escombros y torrentes de sedimentos y escombros, y los diseños de cruce no son resistentes a ese proceso.
- Los rellenos entubados son profundos y volumétricamente grandes; lo que representa una amenaza significativa para las áreas río abajo siempre y cuando fallen y se desgasten.
- Los vados y rellenos blindados no tienen suficiente capacidad o protección contra flujos de crecidas y son propensos a fallar. Asimismo, requieren una reconstrucción luego de un evento de crecida nominal. Por su naturaleza, las consecuencias medioambientales de estas fallas son generalmente mucho menores que en los cruces de arroyo entubado en otra parte de la ladera.
- El cruce de arroyo, más allá de su tipo, no prevé el paso de los peces migratorios durante todas sus etapas de vida.

Las fallas en los puentes son mucho menos frecuentes que en las alcantarillas y no son susceptibles de causar tales consecuencias ambientales significativas. La mayor consecuencia se ve a menudo en el sistema de transporte debido a las molestias y a la incapacidad de acceder a las áreas a las que las rutas del puente brindaban acceso. A veces, los puentes proporcionan el único acceso a partes del sistema del camino que también tendrán que ser inspeccionadas y mantenidas, la pérdida del puente vuelve el mantenimiento mucho más difícil o a veces imposible.

***Tratamientos*—Los cruces de arroyo, al ser susceptibles a una variedad de fallas en los mecanismos, en general pueden volverse mucho más resistentes a las fallas y capaces de soportar aguaceros nominales** (Figuras 232a y 232b). Siempre y cuando fallen, se puede hacer que la magnitud de la falla y sus consecuencias ambientales sean mucho menos severas. Las debilidades arriba descriptas pueden ser tratadas y aminoradas de alguna manera. Algunos tratamientos son bastante eficaces y relativamente baratos, mientras que otros probablemente requieran una mayor inversión financiera.

Sin instalar un nuevo puente, los tratamientos para puentes están típicamente limitados a la adición de armaduras de protección en pilares erosionados o amenazados, o quizás al ensanchamiento del canal debajo del puente, quitando y reemplazando el ripio del canal de construcción por un pilar vertido de concreto o de ingeniería que sea vertical y, de tal modo, se agregue al ancho del canal para los flujos de crecidas. Si el puente no proporciona suficiente espacio para los flujos de crecida, habrá que levantarlo, rediseñarlo o desplazarlo para aumentar su capacidad.

Los cruces de arroyo arqueados con placa estructural tienen bases laterales y un fondo natural en el arroyo. Si el arco contrae significativamente el canal a través del cruce, esto causará mayores velocidades y profundidades de flujo, provocando, de tal modo, el desgaste del canal. Los cimientos que están o pueden estar siendo comprometidos por la socavación del flujo de crecida y la degradación del basamento del canal, tendrán que extenderse verticalmente en el cauce, por debajo del límite potencial de socavación. Esta es una temporada

FIGURA 232A.
Esta alcantarilla de 48 pulgadas de diámetro tiene un tamaño significativamente menor al evento de flujo de diseño. La entrada de la alcantarilla se ha taponado durante eventos de tormenta previos y los flujos de crecida se desviaron hacia el camino, creando una gran quebrada en la ladera.

FIGURA 232B.
El cruce del arroyo se mejoró con una alcantarilla de 84 pulgadas de diámetro, el área de entrada se acorazó y se instaló un vado crítico en la bisagra izquierda del relleno para evitar la futura desviación del arroyo si se taponara la alcantarilla.

seca en el proyecto de trabajo y el mantenimiento o las reparaciones de emergencia de pleno invierno, están probablemente limitadas a agregar una protección mediante una armadura de roca. Una reparación alternativa sería rediseñar el cruce con un puente o instalar un nuevo arco que sea suficientemente amplio como para permitir flujos de crecidas sin constricción (Figura 233).

Los vados, especialmente los badenes endurecidos que tienen una capacidad de flujo insuficiente para las crecidas y/o flujos de crecidas restringidos o una disipación de la energía descendente insuficiente, deben readaptarse o reconstruirse (Figura 234). Muchas veces, la protección de ripio o una extensión de la plataforma de hormigón pueden utilizarse para proporcionar protección contra la socavación aguas abajo. La consecuencia de la falla de un badén no constituye una preocupación ambiental si no que representa más bien una pérdida de acceso.

Los cruces de arroyo entubados poseen grandes mejoras que a menudo se pueden aplicar para disminuir su riesgo de fallas durante las tormentas y los eventos de crecidas. Estas mejoras están

FIGURA 233. *Vista corriente arriba a través de la entrada de un arco sin fondo recientemente instalado. El lecho rocoso estable de este arroyo garantiza que los cimientos no serán socavados por la erosión del canal. Para la capacidad de flujo y para evitar el taponamiento con escombros, el nivel basal del arco es más ancho que el arco natural.*

FIGURA 234. *Este vado endurecido (de concreto) tuvo una falla por socavación debido a la falta de disipación de energía corriente abajo de la estructura. Lamentablemente, cuando el vado fue "reparado", simplemente se reemplazó la sección de concreto fallada y se arrojó grava para rellenar el agujero de socavación que se formó, garantizando que volvería a fallar. Las fallas en la estructura de drenaje siempre deben ser analizadas y la causa de la falla debe ser abordada en el rediseño. En este caso, solamente se trataron los síntomas del problema.*

destinadas a tratar los puntos débiles mencionados anteriormente y que se describieron en detalle en el Capítulo 4 (Diseño) y en la Figura 204. Estos incluyen brevemente los siguientes puntos:

- Mejora del tamaño de la alcantarilla agrandándolo para el flujo de crecida de 100 años y los desechos y sedimentos.
- Mejora de la alineación de la alcantarilla para reducir obstrucciones potenciales.
- Reducción del potencial de obstrucción incrementando la capacidad de la alcantarilla y atrapando desechos flotantes.
- Adición de una alcantarilla de inundación de emergencia como respaldo de la alcantarilla principal.
- Inmersión del relleno del cruce de arroyo para reducir el volumen de suelos erosionables y prevenir desviaciones.
- Adición de una depresión crítica para prevenir la desviación del arroyo.
- Adición de una alcantarilla de desbordamiento en caminos escarpados para impedir el desvío de corriente donde no pueda construirse una depresión
- Endurecimiento de cruces de arroyo sujetos a flujos de residuos.

Finalmente, **para los cruces de arroyo de canales por los cuales pasan o podrían pasar poblaciones de peces migratorios, se deberá incorporar el paso de peces en el diseño o rediseño de cualquier estructura de cruce de arroyo recién instalada o reconstruida.** A menudo se recurre a estos requisitos para un diseño de ingeniería que reconoce y acomoda las capacidades de cada especie en cada etapa de su vida para moverse a través del canal en varios caudales críticos y probablemente usted tendrá que consultar con un ingeniero hidráulico calificado y experimentado, especializado en el pasaje de peces para que le ayude a concebir un diseño apropiado.

c. Riesgos del drenaje de caminos

Identificación—El drenaje en la superficie de los caminos afecta a los caminos y laderas adyacentes así como a los arroyos en diferentes maneras. Las amenazas para el arroyo y el ecosistema acuático son mayormente crónicas y persistentes, pero algunos procesos de erosión episódicos también pueden desencadenarse por vertidos de escorrentía, errantes o importantes, provenientes de la superficie del camino.

La descarga del drenaje del camino sobre las laderas puede provocar erosión y fallas en la pendiente que tendrán un impacto negativo en zonas descendentes y corriente abajo. Esto es más común en los sitios donde se drenan largos tramos de superficies de caminos y cunetas hacia puntos de descarga muy espaciados (generalmente alcantarillas de alivio de cunetas) (Figuras 178 y 202). Los flujos pico durante crecidas o incluso las lluvias locales pesadas, pueden ser significativos y crear grandes barrancos o desencadenar deslizamientos de escombros en las laderas escarpadas.

En sí mismo, el drenaje de la superficie del camino, puede causar erosión en la misma. **Los surcos, grietas con agua y erosiones que forman cunetas en la superficie del camino, son síntomas de escorrentía excesivo del camino que no están siendo dispersados y dirigidos al ancho del terraplén.** La erosión en taludes de relleno es a menudo causada por la descarga en demasía de escorrentías del camino hacia suelos erosionables, sin protección, incluso si la escorrentía no alcanza nunca un arroyo. Estas superficies de camino y cunetas, en general están bien conectadas al sistema de flujo y descargan escorrentía y sedimentos erosionados finos a los arroyos durante las escorrentías.

Los inventarios pueden ayudar a determinar la ubicación y la magnitud potencial de la amenaza. La cantidad de sedimentos finos y la turbidez descargada a arroyos, depende del volumen de precipitaciones, la intensidad, la erosionabilidad del camino y de la cuneta y el nivel de tráfico que utiliza el camino. Los niveles de alto tráfico, especialmente el tráfico de camiones comerciales, desgasta rápidamente la superficie del

camino y produce sedimentos finos que avanza hacia los arroyos durante las escorrentías (Figura 235).

Al realizar un inventario y una evaluación de drenaje del camino y sus impactos, se debe observar la superficie actual del camino, los taludes de rellenos de los caminos y las áreas de puntos de drenaje descendentes del camino (por ejemplo, las pendientes de los caminos, pendientes de balanceo, alcantarillas de alivio de cunetas, etc.). La erosión excesiva se debe identificar para su futuro tratamiento y dispersion (Figura 236). El inventario debe incluir también una medición de la longitud del interior de las cunetas y del área de las superficies de los caminos que actualmente drenan directamente hacia al arroyo, cruzando las entradas de alcantarilla o hacia estructuras de drenaje de camino (alcantarillas de alivio de cunetas y pendientes ondulantes) que drenan a su vez hacia arroyos.

Tratamientos—idealmente, se supone que la escorrentía superficial debe dejar el camino lo más rápido posible para que no haya infiltraciones y degradación de la fuerza del camino, o materiales erosivos en la superficie. La escorrentía debe descargarse totalmente hacia la cuneta o el borde exterior del camino, tan rápidamente como sea posible y sólo en los puntos donde la descarga no desencadene o incremente la inestabilidad o erosión de los taludes, o desemboque en un arroyo.

Tal como se describe en el Capítulo IV, la escorrentía de la superficie del camino se dispersa dándole forma a dicha superficie (mayormente mediante un peralte hacia afuera), a la misma se agregan pendientes de balanceo, barrotes de agua y alcantarillas de alivio de cunetas. Éstas medidas son las herramientas primarias utilizadas para dispersar la escorrentía de superficie de caminos, de modo que el ancho del terraplén no se dañe, el talud de relleno muestra sólo una erosión menor, y no hay fallas en cuestas ni barrancos debajo de los puntos de descarga que desembocan en los arroyos. Se pueden emplear limitaciones de uso en los caminos estacionales para restringir el uso de vehículos y evitar daños en el camino durante temporadas húmedas o en casos de lluvia (Figura 237). Se puede endurecer la superficie del camino con piedra para caminos adicional, pero esto no soluciona la causa del problema: demasiada concentración de escorrentía. **Si aun así existe un nivel significativo de erosión en cualquiera de estos sitios en los caminos (superficie de caminos, zanjas, taludes de relleno, o laderas de pendiente descendente), entonces probablemente sea necesario un tratamiento de reducción y dispersión adicional del flujo.** Es así de simple.

Se puede reducir significativamente la conectividad hidrológica, pero difícilmente podrá eliminarse por completo en caminos que incluyen cruces de arroyos. Casi siempre habrá poca elasticidad en una o ambas proximidades a la zona de cruce del camino que descarga escorrentía hacia el arroyo. Para desconectar o desacoplar la escorrentía del camino desde el sistema del arroyo, es necesario ubicar estratégicamente la superficie del camino y asegurarse de que la zanja drene cerca de cada cruce. Será necesario usar una separación lo suficientemente corta de cada punto de descarga, de modo tal que ninguna estructura de drenaje lleve suficiente flujo, durante un evento de escorrentía de diseño, como para que los sedimentos lleguen al arroyo. **Por lo tanto, cuanto más cerca se encuentre el camino del canal del arroyo, las estructuras de drenaje deberán ser más frecuentes y estar más cerca unas de las otras.**

No existe una fórmula para calcular la separación necesaria durante la desconexión hidrológica de los caminos y los arroyos, ya que las cuestas varían, y varían también los niveles de infiltración en las áreas de recepción, así como las distancias hasta cada parte del canal activo. A medida que el camino se aproxima a un arroyo, se debe seleccionar un punto de descarga que busque tener la capacidad para recibir e infiltrar la escorrentía desde el camino sin descargar en el arroyo vivo. Estos puntos pueden incluir cuestas poco pronunciadas, bancos, terrazas y hasta zonas de llanura aluvial que se ocupen solamente durante las grandes crecidas.

En algunos casos, usted podría elegir instalar balsas de decantación a lo largo del camino o en la zanja para retener y asentar las escorrentías y sedimentos finos producidos por tormentas, antes de que se descarguen en el arroyo (Figura 238). En otros casos, usted podría emplear tuberías perforables flexibles, anexadas a una salida de

FIGURA 235. *Esta superficie del camino se ha desgastado con el paso de los años por el uso, la nivelación y la erosión a punto tal que una alcantarilla de alivio de cuentas enterrada ha quedado expuesta en la calzada. Cuando se instaló, la alcantarilla probablemente estaba 2 o 3 pies por debajo de la superficie del camino. Los caminos de grava pavimentados y sin pavimentar (nativos) se desgastan con el tiempo, debido al tránsito y a la erosión. Esto no suele notarse hasta que desaparece la grava, el camino se llena de cuentas (corte transversal) o la parte superior de las alcantarillas de drenaje transversal quedan expuestas.*

FIGURA 236. *Para grandes terratenientes, las tareas de mantenimiento pueden ser identificadas en un formulario de datos y fijadas en el suelo por personal de inventario. Este pequeño cruce de arroyo necesita un vado crítico para evitar la futura desviación de arroyos y la entrada debe ser limpiada; estas tareas deben ser realizadas por el personal de mantenimiento o los contratistas.*

FIGURA 237. *Deterioro estructural de la calzada provocado por el tránsito vehicular (especialmente el tránsito comercial) sobre los suelos subrasantes húmedos sin pavimentar o poco pavimentados. Las limitaciones de uso en caso de clima húmedo (vallas) o la pavimentación del camino (con materiales de base y de recubrimiento) son soluciones preventivas a este problema de mantenimiento potencialmente costoso.*

FIGURA 238. *Fosa de sedimentación para escorrentía de la superficie del camino cerca de un cruce de alcantarilla de arco recientemente construido en un arroyo con peces. El tránsito y la escorrentía de la superficie de los caminos con grava suelen producir erosión de la superficie, escorrentía túrbida y transporte de sedimentos finos que pueden llegar a los arroyos. Para evitar o minimizar el transporte de sedimentos, pueden instalarse trampas de sedimentos y fosas de sedimentación junto al camino para capturar y eliminar la mayoría de los sedimentos antes de que la escorrentía llegue al arroyo. Estas estructuras requieren mantenimiento ocasional para ser eficaces.*

alcantarillas de alivio de cunetas para disipar y dispersar las salidas de las alcantarillas a lo largo de una zona angosta entre el camino y el arroyo. Ambos métodos, y algunos otros, pueden resultar altamente eficaces pero agregan requisitos y costos al mantenimiento del camino.

C. INSPECCIONES Y CRONOGRAMAS DE MANTENIMIENTO

Deberían inspeccionarse en forma anual, como mínimo, las superficies del camino y las estructuras de drenaje en todos los caminos, antes del comienzo de la temporada de lluvias. Los grandes terratenientes a veces fraccionan sus propiedades en partes más pequeñas y realizan, en primer lugar, inspecciones en los caminos y estructuras con mayor riesgo y, en segundo lugar, en los caminos y sitios de menor prioridad.

Las inspecciones están destinadas a enfocarse en sitios y segmentos de caminos con alto riesgo; no solo concentrándose en aquellos que han demostrado ser problemáticos en el pasado, sino también identificando síntomas de sitios o caminos problemáticos. Los cruces de arroyo son usualmente los eslabones más débiles en el bosque, los ranchos y sistemas de camino rural y por lo tanto necesitan una inspección profunda. Las inspecciones deberían abarcar las entradas de alcantarillas y sus salidas al cruce del arroyo, los taludes de relleno en laderas empinadas y cercanas a cruces de arroyo, las alcantarillas de alivio de cunetas cercanas a los arroyos, y las características de la superficie de drenaje del camino, tales como los barrotes de agua, los huecos y zanjas. La mayoría de los principales problemas que plantean riesgos se encuentran probablemente en los cruces de caminos y en caminos construidos a lo largo de laderas empinadas cercanas a arroyos y ríos.

Con el tiempo, se debe inventariar cada estructura de drenaje existente o cada sitio de mantenimiento problemático cercanos a una propiedad, y deben registrarse en una lista consolidada para su pronta ubicación. Esto puede lograrse usando coordenadas GPS y bases de datos portátiles para identificar las ubicaciones, condiciones del sitio, y necesidades de mantenimiento, para inspecciones anuales. Durante la inspección anual, esta información puede llevarse al campo y tomar nota de las condiciones actuales, así como de cualquier necesidad de mantenimiento que debiera ser efectuado antes de la próxima estación húmeda.

Además de resultar necesario para las inspecciones anuales, pre-invernales y de la estructura drenaje, también se necesita un equipo de inspección para efectuar inspecciones de emergencia y mantenimiento durante y después de períodos de tormentas y crecidas de nivel moderado o importante. El trabajo de paleado en la entrada de una alcantarilla que está comenzando a taponarse, puede prevenir el gasto de miles de dólares que se necesitarían para reconstruir todo un cruce de arroyo luego de su desgaste. Aunque se realice en forma diferida, una vez finalizada la tormenta, se puede excavar los taludes de relleno que muestren señales de movimiento activo o de desplazamiento antes de que fallen y envíen sedimentos al canal del arroyo.

Algunas estructuras de drenaje son más propensas a tener problemas que otras. Por ejemplo, las alcantarillas en arroyos que tienen cargas de sedimentos pesados o desechos flotantes de madera, son más propensas a taponarse. En general, los terratenientes o administradores de tierras, conocen cuáles son las alcantarillas en sus sistemas de caminos que tienen más problemas, y cuáles son las más propensas a taponarse durante las tormentas de invierno. En contraste, casi ninguna alcantarilla, zanja o superficie de camino, tiene problemas de erosión, sin importar cuan severa sea la tormenta de invierno. Estas deben tener prioridad baja en la lista de inspección durante tormentas.

Esta información de respaldo puede ser usada para desarrollar un sistema de clasificación y un plan de inspección de tormentas para estructuras de drenaje en cuenca fluvial. Las alcantarillas pueden ser codificadas con signos a lo largo del camino. Estos signos indican: 1) la ubicación de la alcantarilla (nombre de la alcantarilla y punto kilométrico), 2) el diámetro de la alcantarilla, y 3) un código numérico o de color (por ejemplo: rojo, amarillo y verde) que significa cuan propensa a taponeo es la alcantarilla, y, por

FIGURA 239. *La señalización de las alcantarillas es parte integral del desarrollo de la estructura de inspección y del plan de mantenimiento de alcantarillas y drenajes. Este cruce comprende el nombre del arroyo (Puter Creek), el nombre del camino (5000 Road), el diámetro de la alcantarilla (84") y su ubicación (0,6 millas desde el comienzo del camino). La señalización también puede ser codificada con colores (por ejemplo: verde, amarillo, rojo) para indicar si es propensa a taponarse u otras necesidades de mantenimiento.*

lo tanto, la necesidad de inspección de la misma durante las tormentas de invierno (Figura 239).

El sistema de clasificación por número o color se basa en experiencias pasadas de mantenimiento de la alcantarilla, y se usa en el campo para alertar a los equipos de inspección sobre qué alcantarillas deberían ser inspeccionadas en primer lugar durante las próximas tormentas de invierno y crecidas. **Los cronogramas de codificación de las alcantarillas son especialmente útiles para grandes terratenientes o empresas con muchas millas de camino, quienes pueden confiarle la realización de inspecciones y el mantenimiento del terreno a empleados no familiarizados con el sistema de caminos.**

En períodos de inspección de tormentas, los letreros en el terreno son de ayuda como así también lo es un mapa que muestre donde se sitúan más probablemente los puntos de alta prioridad. La realización de alcantarillas también resulta útil para operadores alisadores, de modo que puedan prevenir el daño las entradas de alcantarillas al clasificar el camino o la zanja.

D. MANTENIMIENTO DE CAMINOS PERMANENTES

El mantenimiento de los caminos debería estar dirigido a la superficie del camino, las canaletas, y los taludes de relleno, así como las estructuras de drenaje y las medidas de control de erosión. Un camino deficientemente mantenido, canaliza el agua, reduce la vida del camino, e incrementa la erosión y contaminación con sedimentos en los arroyos. Asimismo, el hecho de manejar sobre la misma podría ser peligroso y podrían dañarse los vehículos y equipos. Todo camino permanente o todo camino en funcionamiento durante todas las estaciones, debería contar con una superficie de rocas (o pavimento) para resistir los tipos de tráfico e intensidades esperados, sin dañar el camino.

La administración y la protección adecuada de los caminos son las claves para minimizar el daño de

la misma, así como para minimizar el impacto del camino en la calidad del agua. Por ello, la primera regla para el mantenimiento de la superficie de un camino estable es minimizar el tráfico comercial y de arrastre, y alzarlo durante condiciones de clima húmedo que de otra manera la desgastarían, especialmente si el camino no cuenta con una superficie. Pero aún las mejores superficies pueden resultar severamente dañadas por sobre-uso en condiciones de suelo húmedo o con deshielo. Esté atento a los signos tempranos de daños en el camino. El daño serio en las estructuras y superficies del camino comienza con la pérdida del drenaje del camino y el exceso de agua estancada en la superficie (Figura 240). Los surcos y barro indican que la fuerza del camino se está deteriorando (Figura 237). Para el caso de los bosques comerciales y las tierras rurales, el cierre por varios días puede ahorrar miles de dólares en reparaciones del camino y prevenir la erosión y sedimentación innecesarias. En los caminos rurales con accesos a las casas, el mantenimiento tendrá que ser llevado a cabo ya sea durante el clima húmedo, cuando surjan los problemas, o tan pronto como las condiciones climáticas sean lo suficientemente secas como para poder trabajar en el terreno.

De forma similar, el paleado en la calzada seca durante el verano, puede revolver y pulverizar el material de la superficie del camino y crear finas capas volátiles de polvo del suelo y de roca (polvillo). Este material volátil constituido por granos finos puede erosionar y llegar volando a los arroyos con la primera caída de la escorrentía de otoño. El paleado durante el verano debe estar acompañado por un control de polvillo y por un regado para mantener las condiciones de la superficie del camino estables y resistentes (Figura 241). Algunos productos para abatir el polvo pueden ser contaminantes, por lo que se deben aplicar con cautela en la cercanía de los arroyos y drenajes o donde el flujo de la zanja desemboca en un curso de agua. Chequear con el personal del organismo regulador local para ver qué productos son los recomendados.

Las superficies de los caminos deberían ser alisadas solo cuando sea necesario mantener una superficie estable y lisa, además de retener la superficie de drenaje original (Figura 242). El exceso en el alisado termina causando una erosión innecesaria e incrementa el desgaste de la roca de la superficie del camino. Los sectores empinados del camino pierden la calidad de superficie rápidamente debido al alisado frecuente, **elevante la hoja niveladora cuando el alisado no sea necesario.** Además, el alisado solo debe tener lugar cuando los materiales están ligeramente húmedos. Las superficies del camino que son

FIGURA 240. *Camino plano con corte levemente transversal con un mal drenaje del camino. Los caminos planos, sin gradiente a lo largo del camino o cruzando el camino, no tienen un drenaje eficaz y desarrollarán baches y charcos de barro con el tránsito continuo. Los vehículos que pasan por el agua estancada salpican el agua y los sedimentos finos de cada agujero o depresión y van ampliando gradualmente su tamaño y profundidad. El corte transversal en este camino es desarrollado por la nivelación de mantenimiento anual y la consecuente reducción gradual de la superficie del camino. El mal drenaje de la superficie no mejorará hasta que el camino sea elevado y construido en corona o pavimentado.*

FIGURA 241. *Se pueden utilizar camiones cisterna para aplicar el agua necesaria para la compactación o el control del polvo en los sitios del proyecto o a lo largo de rutas de alto tránsito o para aplicar un paliativo de polvo (por ej., MgCl) para el control del polvo a largo plazo.*

FIGURA 242. *La nivelación de un camino para crear una superficie de tránsito lisa es beneficiosa para el tránsito, pero también implicar tratar los síntomas del problema en lugar de la causa de la aspereza del camino. La nivelación debe tener un doble propósito: 1) generar una superficie de tránsito lisa y 2) mantener o mejorar el drenaje de la superficie del camino. La nivelación para el drenaje reducirá los costos de mantenimiento, ya que no se necesitará realizar una nivelación con tanta frecuencia. La nivelación con el único objetivo de producir una superficie del camino lisa sólo provocará los mismos problemas en el camino que le llevaron a usar un nivelador.*

FIGURA 243. *Sectores empinados del camino, donde la pavimentación del camino se deterioró y se salió del camino (quizás a un arroyo cercano), dejando que el material de base rugoso se adhiera a la superficie, generando un tránsito lento y dificultando el tráfico. Este camino requiere escarificación y se debe aplicar una nueva capa de materiales de recubrimiento del camino.*

FIGURA 244. *Se utiliza roca natural bien nivelada de una cantera cercana para volver a pavimentar un camino que se ha deteriorado tras años de tránsito forestal. La calzada fue escarificada, se construyeron vados ondulantes superficiales y luego se compactaron capas de roca para caminos sobre la superficie Se mantuvo una cuneta interior, pero la calzada se realizó con peralte hacia afuera y derramó agua al exterior mientras mantenía limpio el flujo de la cuneta.*

alisadas cuando están muy secas, no se compactarán y generarán polvo y por ende erosión. Los terraplenes no planificados creados por el alisado pueden concentrar escorrentía durante las lluvias de invierno y no deberían dejarse sobre la margen externa del camino.

El alisado de mantenimiento debe recortar profundamente la superficie del camino si existieren baches, tallados, o materiales de base expuestos, así el material suelto en la superficie se mezclará, compactará y espesará con los materiales subyacentes. Si no se puede alisar los baches o surcos profundos, se deberá picar la superficie para luego alisarla y compactarla a los fines de lograr que se líe correctamente. De lo contrario, los baches y surcos individuales que se emparchan, reaparecerán rápidamente en las mismas áreas.

Luego de años de uso residencial y/o comercial, y de alisado de mantenimiento, los materiales de la superficie del camino se quiebran gradualmente o se van desplazando inadvertidamente hacia los costados del camino. Los sectores empinados del camino y las curvas son los que mayor desgaste sufren (Figura 243). A menudo, una vez que se desgastó la superficie del camino, se van dejando fragmentos de piedra más grandes que sobresalen del ancho del terraplén, y los materiales finos se lavan o vuelan. Esto causa un tráfico difícil, y puede disminuir significativamente las velocidades de tránsito e incrementar los tiempos de transporte comercial de camiones. Cuando esto ocurre, es tiempo de que se renueve o restaure la superficie del camino. Se debe picar el ancho del terraplén y recargarlo con roca adicional, debidamente alisada, mezclada y compactada con los materiales existentes (Figura 244). Si el alisado anterior ha hecho acopio de buenos materiales de superficie en toda la margen externa del camino, el mismo se puede recuperar y reutilizarse en el ancho del terraplén.

Cuando se utilizan zanjas internas, el mantenimiento de las mismas es importante para despejar bloqueos y mantener la capacidad de flujo necesaria para remover rápidamente la escorrentía de la superficie (Figura 245). Mediante la inspección de zanjas durante períodos de alta escorrentía, podrá identificar qué zanjas necesitan ser alisadas para mejorar su capacidad, y qué zanjas

FIGURA 245. *Con el tiempo, la cuneta en este camino entre laderas se ha rellenado con sedimentos. La escorrentía de la superficie del camino ha salido de la cuneta y llegó a la superficie del camino, causando la saturación y el debilitamiento de la sección estructural del camino. Se requieren tareas de nivelación o excavación de mantenimiento para reestablecer y profundizar la cuneta, eliminando el agua de la superficie del camino, drenando la humedad de la base del camino y los materiales de la superficie y reforzando el lecho del camino.*

están llevando mucha agua. Al despejar una zanja (alisado mecánico y remoción de sedimentos finos), evite las rajaduras finas y las ondulaciones en la superficie de roca del camino. Esta práctica desafortunadamente común, crea condiciones lodosas en la superficie y un potencial de contaminación por sedimentos en los arroyos durante las próximas lluvias pesadas. Los desperdicios de la zanja pueden ser acopiados en un sitio de depósito mediante un cargador, una retroexcavadora y/o un camión. A menudo no se requiere más que un trabajo de cavado en la zona en cuestión para solucionar los problemas de drenaje de la zanja.

En general, las zanjas no deberían llevar grandes volúmenes de escorrentía. Si los hay, esto probablemente signifique que es necesario utilizar estructuras con alcantarillas de alivio o con drenajes de cunetas para aminorar los volúmenes de flujo y el resto de la escorrentía dispersa en la superficie. Se puede instalar alcantarillas de alivio de cunetas para drenar las zanjas que muestran signos de erosión o excavación o donde la alcantarilla descarga en la vertiente nativa debajo del camino (Figuras 246a y 246b). Se puede instalar una armadura rocosa en las secciones donde no se puede drenar la zanja, como en los cortes excavados en los costados del camino.

Es importante mantener al mínimo la perturbación del suelo donde las zanjas aún se encuentran conectadas hidrológicamente a los arroyos así como alentar realmente la deposición en las zanjas. Los caminos con zanjas conectadas deben ser vistos como un alargamiento para la filtración de sedimentos y como dispositivos de atrape (como un dispositivo o estructura de retención de sedimentos), de modo que la mayor parte del agua clara alcance los canales receptores del arroyo (Figura 247). Las zanjas que están hidrológicamente conectadas deben ser alisadas o despejadas para mantener su capacidad y deben ser inmediatamente sembradas para restablecer la cobertura de vegetación.

Con frecuencia, los alisados mecánicos rutinarios de zanjas, son innecesarios y pueden causar la erosión de la zanja, minar canaletas, y exponer a erosión

FIGURA 246A. *La cuneta socavada junto al camino transportaba la escorrentía de la ladera adyacente y de los largos tramos del camino entre laderas. La cuneta se erosionó en el basamento rocoso duro y descargó su escorrentía y sus sedimentos erosionados a un arroyo justo debajo del camino.*

FIGURA 246B. *El camino fue mejorado mediante la construcción de una corona y se instalaron más alcantarillas de alivio de cunetas para dispersar el flujo. También se cercaron las pasturas para mantener al ganado bovino lejos de los taludes erosionables.*

FIGURA 247. *La cuneta vegetada se utilizada para atrapar sedimentos de la superficie del camino rural. Si bien el camino necesita ser repavimentado y los índices de erosión de la superficie del subrasante expuesto son relativamente altos, la cuneta vegetada actúa como filtro de los sedimentos finos antes de que se descarguen a un arroyo. En general, la buena pavimentación del camino y las cuentas vegetadas actúan conjuntamente para proteger la calidad del agua en tramos del camino entre laderas.*

el pie del talud de corte. Se deben alizar las zanjas siempre y cuando resulte necesario, ya que ha sido demostrado que genera el incremento de producción de sedimentos. Si la zanja fue bloqueada por una canaleta desplomada, despeje el material y llévelo a un área estable. Quite de la zanja los otros sedimentos o la maleza que corta el paso, sólo si crean un problema de drenaje claramente identificable que afecte la superficie del camino. No quite más pasto y maleza de lo necesario para mantener el movimiento de agua. La vegetación impide el fregado y filtra el sedimento. **Si la zanja no es un problema, entonces no lo «solucione». Debe evitarse el alisado mecánico rutinario de las zanjas.**

E. MANTENIMIENTO DE CAMINOS ESTACIONALES

Los caminos estacionales sin asfaltar requieren casi el mismo esfuerzo de mantenimiento que los caminos permanentes pero son mucho más sensibles al uso en climas húmedos. Estos caminos no deberían ser usados cuando el clima es húmedo y el tráfico de camiones y otras actividad intensas de los vehículos se deben limitar a períodos secos, cuando los suelos tienen el máximo de su fuerza natural Luego de cada período de uso comercial intenso, y previo a cada estación lluviosa, será necesario el alisado de la superficie para mantener su transitabilidad y drenaje adecuado. Casi siempre resulta necesario el control del polvo y el regado durante condiciones de verano seco, y durante la estación seca intensa, para prevenir la pérdida en exceso de materiales de superficie (Figura 248a).

Los caminos estacionales, sin pavimentar, pueden ser severamente dañados simplemente por el uso ocasional durante períodos donde el ancho del terraplén es blando (Figura 248b). Las superficies del camino se pueden dañar muy fácilmente, incluso por una camioneta o por un camión de carga. El control del tráfico (cierres temporales o estacionales de caminos)

FIGURA 248 A & B. *El polvo excesivo durante el verano (248a) y el exceso de lodo durante el invierno (248b) son condiciones que amenazan directamente la calidad del agua y generan altos costos de mantenimiento del camino. Ambas condiciones producen y envían grandes cantidades de sedimentos finos a arroyos cercanos durante períodos de escorrentía de la superficie. Este material fino puede ser especialmente nocivo para los peces y su hábitat.*

puede resultar un método efectivo para proteger la superficie del camino, minimizar los problemas de erosión, y reducir los costos de mantenimiento del camino (Figuras 249a y 249b). Sin embargo, **el uso de vallas u otras barreras no elimina la necesidad de inspecciones y reparaciones de mantenimiento de emergencia en invierno.**

En muchos caos, el control del tráfico puede requerir el bloqueo físico del camino. Se utilizan más comúnmente las vallas porque ellas proveen un cierre temporal, a la vez que permiten el acceso para inspecciones y el mantenimiento de emergencia de las estructuras de drenaje, por personal autorizado. Las vallas deben ser fuertes y bien amuradas para evitar su remoción por vándalos. Otras alternativas más permanentes que las vallas contemplan las banquinas grandes, zanjas (trampas de tanque), troncos, tocones o cantos rodados y taludes externos físicos. Estas barreras dificultan el acceso a inspeccionar el resto del camino para sus necesidades de mantenimiento, y su uso debe limitarse a caminos con salida de mercancía sin cruce de arroyos, caminos que no cruzan o pasan cerca de canales de arroyos, y caminos que han sido "permanentemente" cerrados.

FIGURA 249A. *Existe una variedad de formas de cerrar un camino para el tráfico fuera de temporada, pero debe recordarse siempre que las barricadas en el camino no previenen por sí mismas la erosión en toda la alineación. Las vallas cierran el camino al tráfico no autorizado pero sí permite la entrada para mantenimiento e inspecciones de invierno.*

FIGURA 249B. *Si se utilizan barricadas o barreras físicas, las mismas deben ser quitadas con equipos pesados antes de que puedan empezar a realizarse las actividades de mantenimiento. No deberían usarse en caminos que tengan cruces de arroyos ya que éstas deben ser inspeccionadas y mantenidas durante y después de las tormentas.*

F. MANTENIMIENTO DEL CRUCE DEL ARROYO

Las inspecciones y el mantenimiento en verano de las alcantarillas, se realizan al mismo tiempo que el mantenimiento de las zanjas. Las alcantarillas de cruce de arroyos también deben inspeccionarse y despejarse durante y inmediatamente después eventos de tormentas o crecidas significativas, para evitar el taponeo y la consecuente falla en el cruce de arroyo. Deben corregirse inmediatamente los problemas encontrados durante las inspecciones en eventos de tormentas ya que la demora puede resultar en un daño al camino, implicando costos de reparación del mismo. El componente crítico de un mantenimiento exitoso de la alcantarilla es solucionar los problemas antes que ocurra la falla completa.

Durante la estación seca, la mano de obra, el cavado y el trabajo de motosierra puedo ocuparse de las necesidades de mantenimiento de la alcantarilla. Los escombros flotantes deben ser quitados de la entrada de la alcantarilla y del canal, inmediatamente aguas arriba desde la alcantarilla. Los escombros que han sido proyectados o colgados en barreras de escombros, deben quitarse y ubicarse donde no interrumpan el curso de agua (Figuras 250 y 251).

FIGURA 250. *La mayor parte del mantenimiento implica la limpieza de la entrada de sedimentos o escombros leñosos. Esta rejilla contra escombros mal diseñada, construida sobre la entrada de la alcantarilla, estuvo casi taponada durante una tormenta de invierno normal. Sin inspecciones de mantenimiento de tormentas, tal taponamiento menor de la alcantarilla termina causando erosión por barrancos cuando el flujo del arroyo se desvía de su canal o fluye sobre el camino y erosiona el relleno de cruce del arroyo.*

FIGURA 251. *Esta rejilla de escombros de poste único acumuló escombros leñosos y sedimentos durante una gran crecida, pero la entrada de la alcantarilla permaneció abierta y mantuvo su capacidad plena. La inspección de las alcantarillas y la limpieza de las barreras de escombros y entradas de alcantarillas son tareas de mantenimiento importantes en períodos de tormentas que suelen realizarse durante o inmediatamente después de un evento de escorrentía significativo. Las rejillas contra escombros requieren mantenimiento regular y en períodos de tormentas para continuar siendo eficaces.*

Debe quitarse el depósito de sedimentos o grandes rocas en la entrada de la alcantarilla que bloquean el flujo o amenazan con taponar la misma.

Se deben enderezar y reabrir los extremos de la alcantarilla (entradas o salidas) que han sido torcidos, picados, o dañados durante el alisado, por la limpieza de la retroexcavadora o árboles o ramas caídos (esto puede usualmente lograrse con un gato de auto o camión para tubos pequeños). Las salidas que están sufriendo erosión deben ser blindadas o equipadas con una bajada, en caso que la erosión amenace con recortar o en caso que comprometiese el relleno. Las alcantarillas que presenten signos de desbordamiento podrán necesitar tuberías más grandes, o una segunda tubería de desbordamiento instalada en lo alto del relleno.

Los puentes, arcos y badenes pueden requerir también mantenimiento. En los badenes que permanentemente muestran una amplitud del canal o un recorte de la estructura del badén podrá ser necesario agregar un blindaje de rocas o una ampliación del área blindada. Excepto por las reparaciones de emergencia, el equipamiento debería evitar operar en el agua corriente de un badén, y el re-blindaje podría tener que esperar hasta que haya condiciones de bajo flujo, o al menos hasta que el pico de flujo decaiga.

En contraste, el ripio y otras protecciones del puente deben ser reparados tan pronto como se identifique el daño, para evitar la pérdida de cimentación y pilares. Los árboles flotantes, troncos, y otros escombros que terminan alojados en la estructura del puente, o contra la entrada del arco, deben ser cortados y quitados o bien dirigidos aguas abajo. Cuando se limpia la cubierta del puente, se deben descartar los desechos del suelo al camino adyacente, o arrastrarlos. El material no debe ser tirado, descartado, o lavado en el arroyo. Esto es especialmente importante durante condiciones de bajo flujo en el verano o al aproximarse el período seco.

Todo alisado de la superficie del camino o de zanjas debe quitar el material del puente, y los desperdicios volátiles deben mantenerse lejos del arroyo. Si los alrededores son persistentemente lodosos durante las condiciones húmedas y causan que los camiones lleven suciedad a la cubierta de los puentes, entonces la superficie de los alrededores deberán mejorarse con rocas o ser pavimentadas.

G. CORTES DE RELLENO Y MANTENIMIENTO

La clave para el mantenimiento de los taludes de corte y relleno, incluyendo el material de vertido lateral, es observar y darse cuenta cuándo y cómo ocurren los cambios en tales características. Las medidas correctivas se pueden implementar en función del problema (ver Capitulo 7, Sección B(2)(a) (Inestabilidad relacionada con el camino)).

El problema típico del talud de corte comprende el desmoronamiento, la perforación y la caída excesivos que pueden bloquear la zanja o requerir un mantenimiento y una limpieza constante de la misma (Figura 252). A largo plazo, podría ser necesario el aplanamiento del talud de corte, revegetar áreas de suelo desnudo, ampliar la zanja (de modo que no se taponeé tan fácilmente), instalar barreras entrelazadas en el talud y en la base, y/o construir una estructura de retención para contener o evitar el movimiento del talud (Figura 253). A menudo, se puede obtener la masa suficiente para estabilizar el territorio tan sólo rellenando el pie de un pequeño talud con ripio pesado. La estabilización o el control del movimiento de funciones más grandes e inestables, puede requerir el análisis por parte de un geólogo calificado, un ingeniero geólogo o bien un ingeniero geotécnico.

La inestabilidad en los taludes de relleno y materiales de vertido lateral, por lo general se deja ver en la superficie o a lo largo de la margen externa del camino, y se manifiesta en grietas de tensión y pequeños escarpes a lo largo de la frontera entre el corte del ancho del terraplén estable en la mitad interior del camino y los materiales de relleno inestables, en la mitad externa. El perímetro exterior de los amarres construidos utilizando métodos de construcción de vertido lateral muestran comúnmente tales inestabilidades de desarrollo Puede esperarse algún ajuste de los vertidos laterales recién colocados, pero si el movimiento persiste y los

escarpes continúan desarrollándose, se debe excavar y remover los materiales inestables, incluyendo los desechos orgánicos, antes de que fallen. Si la inestabilidad potencial se posa sobre el canal del arroyo, en general se requiere un tratamiento inmediato.

La inspección y prevención regular (incluyendo la excavación), es la clave para mantener estables los taludes de relleno y las áreas de vertido lateral. Los deslizamientos y la hendidura del ancho del terraplén, por lo general ocurren donde se colocó el material donde se lo empujó sobre fuentes o filtraciones de aguas subterráneas, donde el camino cruza bocas empinadas, donde las raíces podridas, tocones o los residuos orgánicos fueron enterrados, a veces muchos años atrás. Estas áreas deben ser monitoreadas de cerca y requieren la acción rápida si las grietas o escarpas se desarrollan o agrandan. La mejora en el drenaje (por ejemplo: zanjas adicionales), la excavación de suelos inapropiados o de materiales quemados, o paredes de retención pueden ser todas medidas necesarias. Si se dejan sin tratamiento, estas zonas inestables pueden producir fallas repentinas y devenir en el flujo de escombros y deslizamientos de la tierra que llevan grandes cantidades de sedimentos directamente a los canales del arroyo

FIGURA 252. *Este camino con buen peralte hacia afuera fue originalmente (e innecesariamente) construido con una cuneta interna. Los altos índices de desmoronamiento del corte marginal rocoso rellenaron rápidamente la cuneta y taponaron la entrada de la alcantarilla de alivio de cuentas de gradiente bajo. La alcantarilla transportaba muy poca escorrentía de la pendiente seca y sólo provocó un barranco mínimo del terraplén, pero los numerosos intentos de abrir la entrada, o de nivelar la cuneta, rasgaron la entrada metálica (ver flecha). El camino debió haberse construido como un camino con peralte hacia afuera, sin cunetas internas. (Mary Scurlock)*

FIGURA 253. *Se ha construido una barrera acorazada o un contrafuerte de rocas para mantener la cuneta interna abierta en la base de una depresión de corte marginal húmeda. El camino de gradiente empinada también ha sido construido con peralte hacia adentro para drenar la escorrentía del camino a la cuneta, donde se entuba a una pendiente estable justo debajo del camino.*

con pendiente descendiente. Los taludes de relleno inestables que no presentan amenazas de arrastre de sedimentos a los arroyos, pueden tener una prioridad menor para el tratamiento y estabilización.

H. "ADAPTACIÓN" DE LOS CAMINOS EN EL INVIERNO

Antes del invierno o las estaciones húmedas, se debe inspeccionar y preparar todos los caminos permanentes, estacionales y temporales para las lluvias que se aproximan. La adaptación para el invierno consiste en trabajos de control de la erosión y de mantenimiento necesarios para drenar la superficie del camino y así asegurar el libre flujo de las zanjas y los drenajes y abrir todas las alcantarillas a su capacidad máxima En caminos sin superficie, puede ser necesario instalar barreras contra el agua con un espaciado dictado por el degradado del camino y la erosionabilidad del suelo, como también según la proximidad de la estructura de drenaje a un arroyo (Tabla 3). Las barreras de basura, cuencas de entrada de alcantarilla y entradas de tuberías deben librarse de acumulaciones de suciedad y sedimentos flotantes. Se deben limpiar las zanjas que están parcial o totalmente tapadas con tierra y escombros y se deben recortar las grandes concentraciones de vegetación que impiden el flujo de la zanja. Este también es el mejor momento para excavar todos los rellenos del camino inestables o potencialmente inestables y el vertido lateral que podría fallar y ser llevado a un curso de agua durante la próxima temporada húmeda. Se deben sembrar y cubrir con paja todas las áreas de suelo desnudo que hayan sido afectadas por los trabajos de mantenimiento. Una vez que los caminos estacionales y temporales hayan sido adaptados para el invierno, deben cerrarse con vallas al tráfico "no esencial".

I. ELIMINACIÓN DE DESECHOS

Si las excavaciones, alisados, remoción de desechos o la limpieza y mantenimiento de cuencas de alcantarillas producen un exceso de material, el mismo debe ser almacenado localmente o en un botadero alejado donde no pueda entrar en un curso de agua. Los materiales residuales, según corresponda, pueden ser matizados sobre los caminos temporales y estacionales sin pavimentar, pero en caminos permanentes, el exceso de material fino puede producir condiciones fangosas no deseadas y la contaminación del sedimento después de la primera lluvia. Los materiales residuales deben llevarse a un sitio de desecho estable pero lo suficientemente distante de los arroyos, contorneado para dispersar la escorrentía y estabilizado con mantillo y vegetación. El exceso de residuos por actividades de mantenimiento no debe ser vertido lateralmente cerca de arroyos o donde podría fallar, o causar un fallo de pendiente y llevar sedimentos a un cuerpo de agua. Se deben retirar, o con frecuencia traspasar, las bermas de despojos excesivos a lo largo del hombro del camino antes de la temporada de lluvias.

8 CIERRE Y CLAUSURA

A. INTRODUCCIÓN AL CIERRE Y CLAUSURA DEL CAMINO

Hay muchas razones para el cierre o el abandono "proactive" de un camino de un bosque o rural, la mayoría de las cuales implican costos de mantenimiento excesivo, así como la falta de continuidad o problemas de calidad del agua (Tabla 33)[1]. No es necesario que todos los caminos sean parte del sistema permanente o estacional de caminos. Por ejemplo, los caminos temporales sólo se utilizan una vez, y luego se dejan en suspenso hasta que vuelven a ser necesarias. Además de los caminos temporales recientemente construidos, hay muchas millas de caminos existentes que ya no se necesitan, y caminos abandonados más antiguas que se encuentran ahora descuidados y cuya reutilización no está programada. Las mismas técnicas pueden utilizarse para estabilizar estos caminos antiguos y así evitar una futura erosión y la llegada de sedimentos a los ríos y otras aguas y, como beneficio adicional o incentivo, ahorrar trabajo y gastos de mantenimiento.

1 En las Reglas de Prácticas forestales de California (Apéndice C), se refiere oficialmente al «abandono de caminos», como un método de clausura y estabilización proactivo de caminos para tierras privadas forestales en California. Los tratamientos son más comúnmente conocidos como cierre o clausura de caminos. Hay un número de diferentes términos utilizados para describir el proceso de cierre de caminos, en forma temporal o permanente, con el fin de minimizar su erosión potencial y la amenaza para las cuencas y sus arroyos. Independientemente del nombre que se utilice, los tratamientos que se aplican para prevención y control de la entrega de sedimentos y la erosión futura desde estas rutas "cerradas" en gran medida son los mismos y se describen en este capítulo.

Se puede clasificar los caminos de varias maneras útiles. En el Capítulo 2 (Planificación), se clasifican los caminos activos como permanentes, estacionales o temporales. Esto denota el estándar y tamaño del camino, así como el período probable de uso. También se puede clasificar a los caminos en cuatro niveles de actividad: activos, inactivos, cerrados (clausurados) y abandonados (heredados).

Los **caminos activos** (permanentes, estacionales y temporales) son parte de la red general de caminos, y deben ser inspeccionadas y mantenidos

TABLA 33. Condiciones que comúnmente llevan al cierre de los caminos

1. Caminos construidos para acceso temporal (caminos temporales designados).
2. Caminos de salida de mercancía que ya no se necesitan para la administración de los próximos años, ya sean pocos o muchos (por ejemplo cuando ya se ha cortado toda la madera).
3. Caminos con costos excesivos de mantenimiento.
4. Carreteras que tienen erosión persistente y problemas de calidad de agua, usualmente ubicadas en áreas con suelos extremadamente erosionables.
5. Carreteras que cruzan laderas muy empinadas o lugares donde se existen cañones internos, donde es alto el riesgo de deslizamientos de tierra y sedimentos que podrían entrar en los canales del arroyo.
6. Carreteras que cruzan laderas con un riesgo alto o extremo de deslizamiento, o con actividad continúa de deslizamientos causados por lechos de roca o suelos inestables.
7. Carreteras que muestran problemas relacionados a grandes fallas de taludes de relleno o de corte, por lo general presentan grietas de tensión y escarpes en el ancho del terraplén.
8. Carreteras construidas con un vertido lateral excesivo o rellenadas en ubicaciones inestables, o posadas sobre canales de arroyos.
9. Carreteras viejas construidas en, a lo largo, o inmediatamente adyacentes a canales de arroyos, o arriba de valles angostos de canales de arroyos.
10. Carreteras viejas y abandonadas con vegetación sobrecrecida y que tienen ahora cruces de arroyo desgastados y/o fallas de relleno.

activamente. El método de inspección y mantenimiento ya ha sido descripto más en Capítulo 7.

Los **caminos inactivos** (incluyendo los **caminos reservados**) son aquellos que solo se necesitan de manera poco frecuente, para control de incendios, aclareo de árboles, actividades recreativas u otras actividades de gestión forestal o rural. Estos caminos permanecen en desuso la mayor parte del año, o por una gran cantidad de años en sucesión. Hay una tendencia a no mantener estas rutas porque no se utilizan a menudo, tienen volúmenes de tráfico bajo y sólo deben utilizarse intermitentemente para propósitos administrativos. Sin embargo, **todas las estructuras de drenaje en caminos inactivos *deben* aun inspeccionarse y mantenerse porque son igual de propensos (o más) a taponarse o fallar, como aquellas rutas más activamente transitadas.**

Los **caminos cerrados o clausurados** fueron originalmente construidos como caminos activos, pero desde hace un tiempo han sido proactivamente cerrados al tráfico y tratados para reducir el impacto ambiental potencial. Estos caminos fueron dejados en suspenso, habiéndose excavado y removido las estructuras y rellenos de cruce de caminos y drenadas las superficies permanentemente, y se han estabilizado o quitado los taludes de relleno inestables (excavación).

Los caminos abandonados (a veces llamados caminos heredados, fantasma o huérfanos) fueron alguna vez una parte de la red vial activa, pero ya no se utilizan. Se encuentran más comúnmente en tierras forestales y rurales y pueden constituir del 15% al 25% de la red vial total que históricamente fue construida en una cuenca administrada. Pueden haber estado abandonados por pocos años o por décadas. En vez de ser clausurados o cerrados proactivamente, fueron dejados para su «estabilización» natural o revegetación. Muchos se encuentran actualmente sobrecrecidos y pueden presentar problemas o amenazas de erosión pasadas, en curso o futuras.

Debido a su edad y bajo estándar de construcción, donde pudieron ser construidos, los caminos antiguos abandonados aún pueden plantear una amenaza medioambiental importante para una cuenca y su arroyo. **Sólo porque un camino ha sido abandonado y pueda estar sobrecrecido no significa que ya no es una amenaza para la cuenca** (Figuras 254a y 254b)**. Algunas fallas pueden ya haber ocurrido a lo largo de un camino abandonado o**

FIGURA 254A–B.
Los caminos abandonados, no mantenidos, ya sea en cuencas forestadas (a) o en áreas rurales y de haciendas (b), representan una amenaza potencial para los arroyos y para la calidad del agua.

heredado, pero otras a menudo todavía están en suspenso y con el paso de años o décadas, finalmente se taponan o fallan las alcantarillas o rellenos de taludes inestables (Figura 255).

Hay miles de kilómetros de estos caminos abandonados o huérfanos en bosques privados y tierras rurales, y en tierras rurales y bosques públicos. Han recibido mayor atención en los últimos años debido a la amenaza que a menudo representan para la calidad del agua y el hábitat acuático, aguas abajo. Estos caminos huérfanos o heredados en desuso, pueden haber sido abandonados porque ya no eran necesarias, o porque cruzaban zonas inestables, requerían mantenimiento excesivo o causaban daños ambientales persistentes. **Sólo un sondeo y una evaluación de campo**

FIGURA 255.
Quebrada formada por el taponamiento de la alcantarilla y el desvío del arroyo en un camino forestal antiguo y no mantenido. El grado de la amenaza generada por los caminos antiguos depende del terreno que cruza el camino. Generalmente, las mayores amenazas se producen cuando los caminos cruzan canales de arroyos y laderas empinadas, húmedas o inestables.

detallada pueden permitir distinguir entre esos caminos heredados que plantean pocas o ninguna amenaza para las cuencas, de las que podrían afectar severamente la calidad del agua cuenca abajo, y el hábitat acuático en caso que fallen.

Muchos caminos huérfanos tienen estructuras de drenaje, incluyendo cruces de arroyo, que están en muy mal estado y ya no son inspeccionados o mantenidos. Algunos de los sitios más vulnerables pueden ya haber fallado, pero otros fallarán probablemente en el future (Figura 256). **Estos caminos heredados abandonados, a menudo representan una amenaza**

FIGURA 256.
Los cruces de arroyos no mantenidos, con alcantarillas, como este, en algún momento se taponarán y lavarán o desviarán el flujo del arroyo hacia el camino. La mayoría de los caminos abandonados tienen estructuras de drenaje con un tamaño inferior a lo adecuado y suelen oxidarse. El daño por la desviación de arroyos, aunque sean pequeños, puede provocar grandes barrancos o deslizamiento de escombros cuando se liberan en pendientes empinadas y erosionables.

significativa de contaminación de fuentes difusa desde cuencas forestales administradas, especialmente cuando se estas amenazas se producen en las zonas montañosas escarpadas con fuertes lluvias y terrenos inestables. Los propietarios y administradores de recursos deberían seguir trabajando agresivamente para inventariar y tratar proactivamente estas fuentes potenciales de erosión y sedimentación. Se hizo un gran progreso en los últimos 20 años en la identificación de caminos heredados en el campo, y en su priorización para su cierre permanente y para así luego comenzar su tratamiento.

La buena administración de la tierra requiere que todos los caminos sean regularmente inspeccionados y tratados para proteger la calidad del agua, independientemente de cuán frecuentemente son utilizados y si están o no oficialmente son designados o reconocidos como parte de la red de caminos transitables. Los caminos inactivos y temporales que contienen cruces de arroyo entubado u otras estructuras de drenaje, requieren inspección y mantenimiento, y no deben abandonarse sin haber empleado primero técnicas correctas de cierre de caminos (Figura 257).

Todo camino que no sea regularmente inspeccionado y mantenido debe ser formalmente cerrado (clausurado) y tratado proactivamente, así no tendrá la posibilidad de causar un impacto significativo en arroyos, calidad del agua, o la ecología acuática aguas abajo. Los caminos nunca deben abandonarse simplemente bloqueándolos o dejando que la vegetación crezca libremente, sin practicar antes

FIGURA 257. *Antiguo puente de vigas de tronco en un arroyo grande con peces que ha sido retirado, con un solo tronco para el tráfico a pie del lado izquierdo. El puente era el único acceso para las más de 2 millas de camino forestal y contenía varios cruces de arroyos con alcantarillas que ya no se mantienen. Los caminos que no han sido adecuadamente clausurados requieren inspección y mantenimiento. Recientemente se ha programado la clausura de los caminos al otro lado del puente.*

FIGURA 258.
Los bloques de barreras recientemente construidos permiten acceder a un camino no mantenido, pero la escorrentía de la superficie no drenada ya ha erosionado el camino detrás de la barrera y ahora transporta sedimentos erosionados a un arroyo. El mantenimiento de camino y por tormentas no puede realizarse cuando se construyen barreras de gran tamaño. Solo se deben instalar barreras de caminos permanentes en caminos que hayan sido adecuadamente clausurados.

el desmantelamiento de los cruces de arroyo y realizar un control proactivo de la erosión, así como trabajos de prevención de la erosión a lo largo del trazado del camino (Figura 258).

B. TÉCNICAS PARA CIERRE Y CLAUSURA DE CAMINOS

Ya no es suficiente cerrar los caminos instalando o cerrando simplemente una valla, o bloqueando el camino con una barrera infranqueable, porque esas acciones no evitan fallas futuras en los caminos, la erosión, el arrastre de sedimentos, ni los problemas de calidad del agua (Figura 259).

Las técnicas específicas que se describen a continuación están disponibles para evitar exitosamente flujos de desechos relacionados con caminos, para prevenir o corregir desviaciones de los arroyos (la principal causa de graves erosiones en muchas áreas de cárcavas),

FIGURA 259.
Las vallas de un camino lo cierran al tráfico no autorizado y pueden reducir la erosión de la superficie, pero no protegen al camino de grandes fallas. Los escarpes en el relleno del camino detrás de esta valla indican una falla en la pendiente que amenaza con enviar sedimentos a un arroyo con peces adyacente si no es tratado.

FIGURA 260.
La sección no tratada, abandonada, del camino forestal no amenaza la calidad del agua y prácticamente no requiere tratamiento para la clausura. Los caminos a ser clausurados suelen requerir un mínimo tratamiento para la mayoría de sus longitudes y luego un trabajo de prevención de la erosión concentrado en muy pocos lugares (por ej., cruces de arroyos).

evitar arrastres hacia cruces de arroyos y fallas de rellenos, para desecar barrancos y deslizamientos de tierra alimentados por la escorrentía de la superficie del camino, para desconectar de los arroyos la escorrentía de la superficie del camino, y para controlar la erosión de la superficie (surcos y ondulaciones) de las superficies de caminos abandonados y de los taludes de relleno.

El cierre de un camino no implica que cada pie del mismo necesite un tratamiento intensivo para prevenir erosiones futuras (Figura 260). **Por el contrario, el objetivo del cierre proactivo del camino es tratar agresivamente sólo esos sitios y tramos viales que tienen potencial para generar erosión y producir sedimentos en los canales de arroyos.** Los segmentos de caminos que no plantean riesgos de deposición de sedimentos, pueden dejarse intactos y recibir solamente mejoras mínimas de drenaje de caminos (Figura 261). Siempre y cuando el camino

FIGURA 261.
Caminos forestal clausurado en un área de pendientes suaves y sin cruces de arroyos. La clausura del camino en un terreno "fácil" puede ser un proceso poco costoso que convierta la calzada compactada en bosques o pastizales productivos. La clausura de un camino puede ser permanente (nunca se reabrirá) o temporaria. Los dos tratamientos suelen ser similares y brindan protección a la cuenca fluvial, durante el tiempo en el cual el camino esté cerrado.

vuelva a necesitar la provisión de acceso al área, se puede reconstruir el mismo con un esfuerzo mínimo.

El cierre planificado y sistemático del camino puede ser una técnica barata y efectiva para minimizar el daño a largo plazo de recursos causada por caminos construidos en zonas escarpadas y puede prevenir daños de gran escala en los trazados de caminos que requieren costosas reparaciones, si el camino fuera a ser reabierto para uso futuro. También proporciona a los administradores de tierras una oportunidad para prevenir o controlar permanentemente la mayoría de las erosiones de post-construcción del camino y sus impactos asociados in situ y aguas abajo. Además, implementando prácticas de cierre con sondeo técnico de caminos, también se minimiza la expansión del daño estructural a redes de caminos en tierras forestales y rurales costosas, que no pueden mantenerse económicamente por el período de tiempo entre las rotaciones de cosecha o usos de otras tierras.

Hay poca diferencia entre los tratamientos que apuntan al cierre permanente de un camino y aquellos destinados al cierre temporal. **Cuando se construye un camino temporal, o cuando un camino permanente o estacional se cierra y se lo quita de la red vial activa, deben realizarse trabajos de prevención de la erosión de modo que no sea necesario el mantenimiento continuo. Todos los caminos cerrados deben ser a prueba de tormenta mediante la excavación de los cruces de arroyos y la eliminación de alcantarillas, la excavación del camino inestable o potencialmente inestable y rellenos de las tierras, el tratamiento la superficie de la zanja y el camino para dispersar la escorrentía y reducir la erosión superficial, y plantar áreas de suelo desnudo.**

El objetivo del cierre del camino es dejarla en condiciones tales que no sea necesario su mantenimiento, o sólo mínimamente, para asegurar su estabilidad mientras el camino esté en desuso. El equipamiento pesado usado típicamente para el cierre de caminos incluye una excavadora hidráulica (una retroexcavadora estándar es demasiado pequeña y generalmente no es lo suficientemente versátil como para llevar a cabo efectivamente las tareas de cierre de camino), un bulldozer (D5 con tamaño D7, extractores hidráulicos para la descompactación de caminos de roca) y volquetes (cuando sea necesario para el acabado de escombros y desechos en basureros estables) (Figura 262).

La clausura de caminos consiste en tres tareas básicas.

1. Excavación completa del relleno de cruces de arroyos, incluyendo anchos de fondos para crecidas de 100 años, taludes de 2:1, o de lo contrario, tendidos estables laterals.

FIGURA 262. *Los tipos más importantes de equipos pesados utilizados para clausurar caminos son las excavadoras hidráulicas, los bulldozers (con extractores hidráulicos y los autovolquetes (para disposición final). En general, los equipos de mayor tamaño que pueden trabajar con facilidad en el entorno en particular se seleccionan para maximizar la productividad. Otros equipos de soporte, como las bombas de agua y los elevadores de paja, son fundamentales para las tareas especiales de clausura.*

2. Excavación de materiales inestables, o potencialmente inestables en deslizamientos o taludes de relleno, que de lo contrario pudieran fallar y enviar sedimentos al arroyo.

3. Tratamientos de drenaje de la superficie del camino (picado, taludes hacia afuera y/o drenaje cruzado) para dispersar y reducir la escorrentía de la superficie.

1. EXCAVACIONES DE CRUCES DE ARROYOS

Todo cruce de arroyos en caminos temporales o estacionales abandonados y permanentes previstos para la clausura, deben ser removido completamente antes del primer período de invierno después de su instalación o cierre (si no, deben ser capaces de dejar pasar el flujo de crecida de 100 años de ese canal).

La remoción (clausura) de un cruce de arroyo, implica la excavación y remoción de materiales de relleno ubicados en el canal del arroyo cuando el cruce fue construido. El material de relleno debe ser excavado para recrear el liso original del canal (talud) y su orientación, con un lecho de canal que sea igual de ancho o levemente más ancho que el curso de agua original (Figura 263). Si los vertidos laterales del canal fueran afectados, deben alisarse (excavación) nuevamente para llegar al ángulo estable (generalmente menos de 50% (2:1)), para evitar desplomes y movimientos de suelos. Los suelos desnudos entonces deben ser molidos, sembrados y plantados para minimizar la erosión hasta que la vegetación pueda proteger la superficie y los segmentos

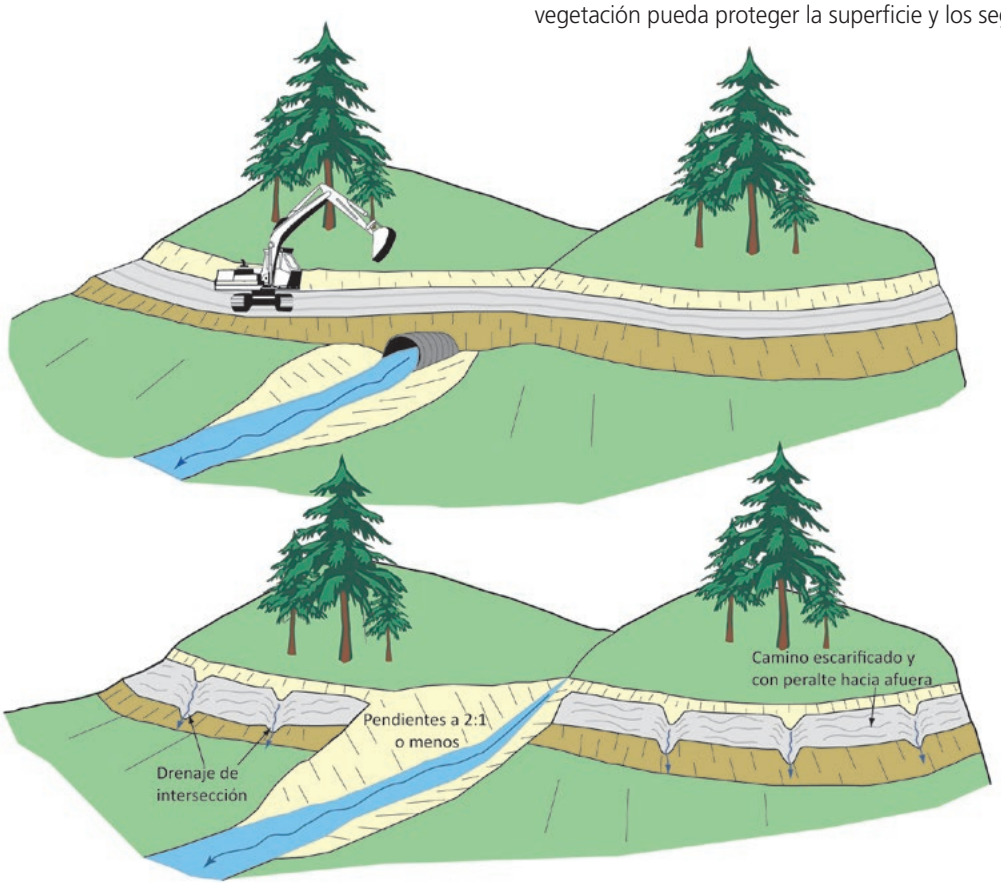


FIGURA 263. *En caminos que deben ser cerrados (clausurados), se deben eliminar todas las alcantarillas de cruces de arroyos y rellenos. Las excavaciones de cruces de arroyos se realizan mejor usando una excavadora. El canal original debe ser excavado y exhumada al lecho del cauce anterior, y el ancho del canal debe ser igual o mayor al del canal natural por encima y por debajo del cruce. Los taludes deben estar sobre un ángulo estable, generalmente en una gradiente de 2:1 (50%) o menos. Los escombros pueden ser transportados para su disposición final fuera del sitio o almacenado en el banco del camino adyacente al cruce, siempre que se coloque y estabilice donde no se erosione o falle e ingrese al arroyo.*

del camino deben ser drenados en su intersección para evitar que la escorrentía del camino se descargue a través de los taludes del canal recién excavados.

Los procedimientos de remoción de cruces de arroyos en caminos abandonados, permanentes o estacionales, son similares a aquellos usados en caminos temporales. Ambos tipos de cruces de arroyo, entubados y no entubados (por ejemplo, alcantarillas, cruces tipo arco con placa o cruces de tronco) deben excavarse o quitarse por completo para que ningún material del suelo quede dentro o al lado del canal tras el cierre del camino. No es suficiente simplemente con excavar y remover la alcantarilla; debe excavarse también todo el relleno (Figura 264). Al igual que para los cruces de arroyos temporales, la excavación debe ser profundizada al nivel del lecho del canal original, con un canal igual de ancho, o más que el del canal original.[2] Los vertidos laterales del canal deber ser vueltos al ángulo original y debe removerse el excedente de material a un sitio de almacenamiento estable (Figura 265). Se deben aplicar medidas de control de erosión, tales como siembra, plantación y picado, para evitar la erosión consecuente de la superficie (Figuras 266a a 266e; Figuras 267a y 267b; Figuras 268a y 268b).

2 Ver Apéndice C en relación al vocabulario específico de este requerimiento, en las Reglas de prácticas para bosques de California.

FIGURA 264. *Cruce de arroyo mal "clausurado" en el que se ha eliminado la alcantarilla mediante trabajos de excavación y los escombros excavados se apilaron cerca de la zanja donde se pueden erosionar fácilmente en el arroyo. Todo el relleno del cruce del arroyo se erosionará rápidamente y se enviará al arroyo si no se implementan tratamientos adecuados de excavación y clausura antes del próximo evento de escorrentía.*

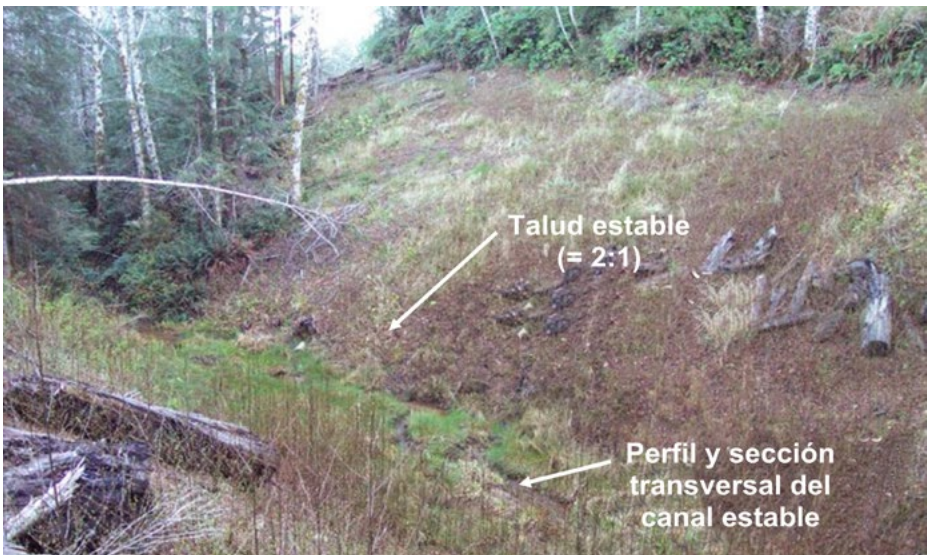


FIGURA 265. *Cruce de arroyo mal clausurado, con taludes de 2:1 (estables), ancho de canal adecuado para flujos de crecida y una pendiente de canal uniforme (sin jorobas de relleno no excavado) que se extiende entre el canal natural por encima y por debajo del cruce. Como las pendientes eran secas, se utilizó material de escombros excavados para crear un peralte hacia afuera en las cercanías del camino adyacente. Los taludes se siembran con pasto y mantos de paja para minimizar la erosión después de la clausura.*

FIGURAS 266A–E. *Esta secuencia de cinco fotos muestra la clausura de un cruce de arroyo en un antiguo camino de explotación forestal. El camino ya no es necesario y ha sido cerrado en forma permanente. El primer paso (266a) consistió en limpiar la vegetación del relleno y corriente arriba del cruce, donde el canal ha sido rellenado con escombros de explotación forestal hace varias décadas.*

FIGURA 266B. *Una vez finalizada la limpieza, una excavadora excavó el material de relleno y se utilizaron varios autovolquetes para transportar los escombros a un sitio de disposición estable cercano.*

FIGURA 266C. *Los taludes se inclinaron hacia un ángulo estable, exponiendo los diversos tocones enterrados que indicaban el nivel de la superficie original del suelo. Las pendientes descubiertas se sembraron, se cubrieron con paja y se plantaron árboles en ellas. Todos los troncos en el banco de lado derecho fueron retirados del relleno del cruce y dejados en el suelo.*

FIGURA 266D. *Cuatro años después, el sitio mostró una revegetación significativa y un mínimo ajuste (socavación) del canal o una mínima erosión de la superficie.*

FIGURA 266E. *Finalmente, dos años después (y 6 años antes de la clausura), el sitio experimentó un gran crecimiento de alisos que se sembraron naturalmente en las áreas adyacentes. Las coníferas detrás del follaje de alisos en algún momento superará a los alisos.*

FIGURA 267A. *Las alcantarillas duales, de tamaño inferior al adecuado, elevadas, en este pequeño cruce de arroyo han generado una barrera para el paso de peces ya que el camino ha sido construido hace décadas. La salida de la alcantarilla del lado derecho ha sido cerrada por aplastamiento, probablemente por equipos pesados que realizan tareas de mantenimiento. La clausura del camino y del cruce del arroyo se utilizaron para reabrir de manera permanente el canal para el paso de peces.*

FIGURA 267B. *El relleno del cruce de arroyo fue excavado y empujado hacia el trazado, lejos del cruce. Los taludes suaves excavados se sembraron, se cubrieron con paja y ramas de árboles locales y arbustos. El canal fue excavado a la elevación del lecho del cauce original, donde los adoquines redondeados se exhumaron y se construyeron con el mismo ancho que los segmentos del canal corriente arriba y corriente abajo.*

FIGURA 268A. *Camino abandonado y puente de vagón plataforma sobre un gran arroyo con peces. A diferencia de los puentes con vigas de tronco, que suelen estar cubiertos con una fina capa de suelo, los puentes de vagones plataforma no tienen una capa de suelo que pueda ingresar al arroyo cuando se produzca una falla. Sin embargo, los contrafuertes de troncos comenzaron a colapsar y los troncos y puentes colapsados podrían provocar futuros desvíos del flujo y la erosión del canal.*

FIGURA 268B. *Como el camino fue cerrado de manera permanente, el puente fue retirado como parte de la clausura del camino. El tronco de contrafuerte mas bajo, parcialmente incrustado a cada lado del cruce se dejó en el lugar para proteger los bancos de arroyos recientemente excavados. Los taludes se excavaron y se inclinaron a un ángulo leve y luego se cubrieron con escombros leñosos. El ancho del canal natural se mantuvo a lo largo del cruce.*

2. TRATAMIENTO DE RELLENOS INESTABLES O POTENCIALMENTE INESTABLES

Excavación de los taludes de rellenos y plataformas— **Cualquier relleno (o vertido lateral) de caminos o tierras inestable o potencialmente inestable, debe ser excavado y estabilizado para que no falle el material y entre a un curso de agua, impacte en un hábitat de peces fuera del predio, amenace puentes o casas que se encuentran aguas abajo, o destruya la vegetación cuesta abajo.** Tales áreas incluyen vertidos laterales y materiales de relleno que muestran el desarrollo de escarpes recientes o bien fisuras (por ejemplo, Figuras 269a a 269c; Figuras 270a y 270b), o rellenos y desechos posados en canales de arroyos inmediatamente adyacentes(Figuras 271a y 271b). Estas fallas potenciales en las áreas ocurren más a menudo 1) alrededor del perímetro de los descargues, 2) en caminos construidos con vertidos laterales, atravesando laderas empinadas, especialmente aquellas cercanos a canales de arroyos, 3) donde se han construido caminos en laderas escarpadas sobre muelles o filtrados o 4) donde se han cortado caminos en zanjas empinadas, o inclinaciones en la ladera (Figuras 272a y 272b; Figuras 273a a 273c). Los rellenos estribados que se instalaron en áreas inestables durante la construcción inicial del camino o en su reconstrucción también deberían retirarse y

FIGURA 269A. *Excavadora hidráulica cargando un autovolquete de 10 yardas³ con material de relleno removido de un terraplén de camino inestable. El proceso de clausura del camino, en el cual los escombros excavados son transportados para su disposición final fuera del sitio, en lugar de ser colocados contra el corte marginal, se denomina "Peralte hacia afuera exportado" (EOS). El EOS se utiliza cuando se debe excavar material de relleno inestable y el corte marginal es inestable o húmedo y no puede ser enterrado. Los escombros fueron transportados al sitio de disposición final estable más cercano.*

FIGURA 269B. *Se programó la clausura de este camino forestal de baja calidad debido a problemas en de erosión y estabilidad de la pendiente a lo largo de su trazado. Antes de nivelar el camino, los grupos de inventario identificaron grietas y pequeños escarpes en los 50 pies del banco del camino y el relleno externo. En caso de producirse fallas, el deslizamiento de escombros enviaría sedimentos a un arroyo pendiente abajo.*

FIGURA 269C. *El terraplén ha sido excavado y los escombros han sido transportados a un sitio de disposición final de escombros cercano (peralte hacia afuera exportado: EOS). Tenga en cuenta los tocones enterrados que fueron exhumados y la prominencia basal que indicó el operador de la excavadora en donde se ubicaba la superficie de terreno original y cuán profundo debe cavar. El corte marginal no ha sido enterrado de modo tal que el peralte hacia afuera resultante del banco del camino antiguo es estrictamente el resultado de la excavación de la calzada y el terraplén.*

FIGURA 270A. *Corte marginal alto y seco donde el camino se corta a lo largo de la punta de una loma. En el camino, se excavó un relleno inestable para evitar posibles fallas del terraplén y este sitio favorable se utilizó para la eliminación de escombros.*

FIGURA 270B. *Los escombros excavados del terraplén inestable cercano fueron transportados a este segmento del camino y colocados (y compactados) en el corte marginal. Este tipo de tratamiento se denomina "peralte hacia afuera importado" (IOS), donde la mayor parte del relleno utilizado para realizar el peralte hacia afuera del lecho del camino antiguo fue importado de otro sitio de excavación cercano. El uso de sitios locales de disposición de escombros, siempre que sean adecuados, puede ayudar a reducir significativamente los costos de disposición final.*

FIGURA 271A. *Se decidió el cierre permanente (clausura) de este camino abandonado de cañones internos debido a las pendientes empinadas, al relleno inestable del camino y a la proximidad del arroyo con peces. La vegetación ha sido cortada del terraplén y se han colocado fardos de paja a lo largo del camino para cubrirlo después de finalizar el trabajo con equipos pesados. La mayoría de las clausuras involucraban la disposición final de escombros de 1000 pies en el camino a un área amplia de gradiente baja ubicada lejos del arroyo.*

FIGURA 271B. *Luego de la clausura, todo el material de relleno potencialmente inestable ha sido excavado y transportado fuera del sitio para su disposición final. Parte del material excavado se ha colocado en partes secas del corte marginal, pero se han dejado filtraciones y manantiales sin cubrir para que drenen libremente por la pendiente. El terraplén y el banco del camino excavados se han cubierto con alisos que crecían en la pendiente y las áreas de suelo descubierto restantes se sembraron y cubrieron con paja. Se ha eliminado la amenaza al arroyo en la base de la pendiente.*

FIGURA 272A. *Camino forestal abandonado que fue reabierto para tratamientos de clausura y prevención de la erosión. El tratamiento propuesto consistió en restaurar y reformar la ladera en esta reserva biológica y área de conservación.*

FIGURA 272B. *Luego del tratamiento, los tocones remanentes que fueron enterrados por la construcción del camino y el vertido lateral se exhumaron y le dieron al operador de la excavadora una idea de dónde estaba ubicada la superficie del terreno original. El peralte hacia afuera se realizó con poca o sin disposición final, ya que los materiales de relleno del exterior del prisma del camino fueron excavados, colocados y compactados contra el corte marginal seco. La mayor parte del corte marginal fue enterrado y las pendientes fueron reconstruidas a su forma original. El suelo expuesto no fue sembrado con paso y se utilizaron paja de arroz como cubierta humidificadora para evitar la introducción de malezas no nativas. Los residuos del bosque adyacente rápidamente cubrieron la superficie*

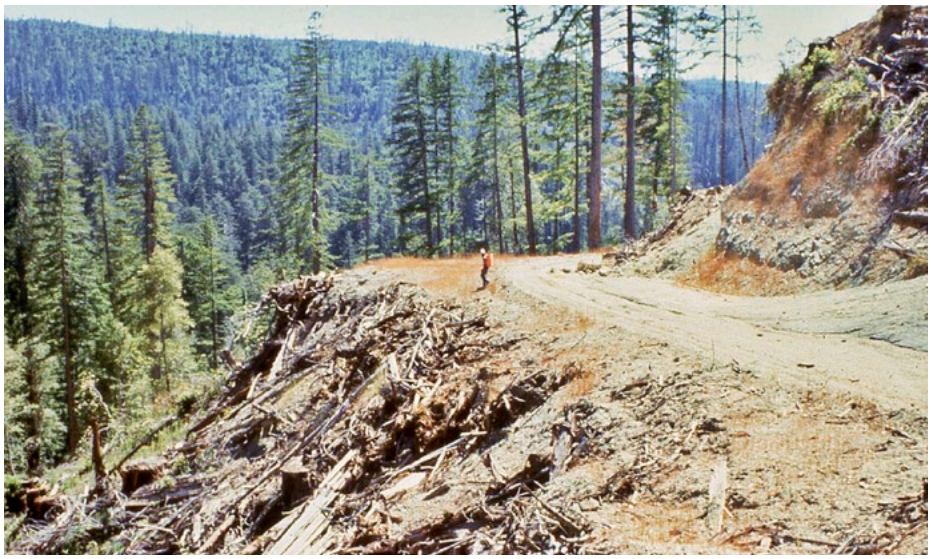


FIGURA 273A. *La plataforma de troncos en un camino forestal secundario ha desarrollado grandes grietas y escarpes alrededor de su perímetro externo donde el suelo y los escombros leñosos han sido vertidos lateralmente en pendientes empinadas sobre arroyos con peces. Los escarpes frescos se han desarrollado con los años y fueron identificados por personal de inventario que estudiaba problemas de erosión en la cuenca fluvial. Una excavadora comienza la excavación del terraplén y empuja los escombros hacia el interior de la plataforma con un bulldozer (no visible).*

FIGURA 273B. *La excavación requería la construcción de un camino en mitad del largo del terraplén para alcanzar todo el material inestable. La superficie de excavación cóncava imita la forma de un posible plano lateral y, por lo tanto, garantiza que la mayor parte del material de relleno inestable ha sido eliminado. Los escombros se empujaron hacia arriba contra el interior de la gran plataforma, completamente, sobre un banco excavado estable. Este tipo de peralte hacia afuera se denomina "peralte hacia afuera establecido" (IPOS), en donde todo el material excavado se almacena localmente (tenga en cuenta a la persona para la escala).*

FIGURA 273C. *Al año siguiente, los alisos de rápido crecimiento habían cubierto por completo la superficie de la plataforma con peralte hacia afuera clausurada y los índices de erosión de la superficie fueron cercanos a cero. La amenaza generada por el relleno inestable se eliminó por completo mediante el tratamiento de clausura (tenga en cuenta a la persona para la escala) (RNP).*

hacerse una pendiente hacia afuera si potencialmente podrían fallar en un canal de flujo descendente.

El material inestable del camino que potencialmente pudiera entrar en cualquier curso de agua, amenazar la vida o la propiedad, o dañar otros recursos sensibles, debe excavarse y tratarse durante las operaciones de cierre y clausura del camino. Todo el material de desecho debe colocarse en una ubicación estable y revegetada. Los sitios de deposición de desperdicios a menudo incluyen la parte cortada de los caminos cerrados, levantamientos topográficos estables, canteras de roca y la parte interior de plataformas y desvíos. Consulte con un geólogo especializado acerca de las áreas adecuadas para la deposición de desperdicios.

La falla de los materiales del talud de corte, por lo general, se ataja completamente y los mismos se almacenan en el prisma del camino. Por esta razón, las inestabilidades del talud de corte no suelen necesitar la misma intensidad de tratamiento y estabilización, como se necesita en taludes de relleno y cruces de arroyos. Podría ser necesario realizar el control de refuerzos, revegetación y drenaje de pendientes ascendentes para evitar grandes fallas y erosiones que puedan afectar la calidad del agua. No deben dejarse zanjas activas o desvíos en la base de un talud de corte inestable o descendiente en un camino cerrado. **De hecho, las zanjas no deben dejarse abiertas y en funcionamiento cuando se cierra un camino porque todas las zanjas son propensas a obstruirse eventualmente, con sedimentos o vegetación y causar que el agua se desvíe por la superficie del camino y sus laderas adyacentes.**

i. Reconstrucción o anulación de caminos— A veces, los caminos son completamente reconstruidos y el paisaje es topográficamente restaurado para que vuelva a tener el aspecto que tenía antes de la construcción del camino. Esto podría suceder de manera no intencional, en tramos de camino cortos, cuando los cruces de arroyos son clausurados (por ej., Figuras 265 y 266d) o en caminos con peralte hacia afuera desde el terraplén o excavaciones de cruces de arroyos en cualquier lugar (por ej., Figura 270b). También puede producirse cuando los caminos deben ser reconstruidos completamente para abordar inquietudes sobre la estabilidad de la pendiente (por ej., Figura 269c). Cuando los valores panorámicos o de los recursos son altos, y se espera el uso por parte de visitantes, el objetivo de algunos parques, áreas naturales, reservas biológicas y sitios de recreación podría ser "anular" o reconstruir completamente el prisma del antiguo camino para que no existan indicios de la construcción de un camino en ese lugar (Figuras 173a y 173b; Figuras 274a y 274b; Figuras 275a y 275b).

ii. Conversiones de caminos a senderos—Ocasionalmente, en áreas recreativas silvestres muy visitadas, los antiguos caminos pueden ser transformados en sistemas de senderos públicos para senderistas, ciclistas y jinetes. Para convertir los caminos para

uso de vehículos en senderos más estrechos para ser utilizados por visitantes no motorizados, se utiliza una categoría especial de clausura de caminos denominada conversión de camino a sendero (Figura 276). Muchos de estos antiguos caminos son convertidos directamente en senderos estrechos para peatones en el trazado original del camino, con desviaciones en áreas peligrosas o inclinaciones muy empinadas, o para brindar acceso a vistas panorámicas o puntos de interés (Figuras 277a y 277b). Otros senderos son más anchos y tienen una baja gradiente para permitir el acceso de vehículos de emergencia o para brindar acceso y permitir el uso de personas discapacitadas (Figura 278; Figuras 279a y 279b). Las conversiones de caminos a senderos son diseñadas para brindar una ruta de acceso que elimina gran parte de las amenazas originales y más serias a la calidad del agua y requieren niveles comparativamente bajos de mantenimiento del sendero (Figura 280).

3. ESCORRENTÍA EN LA SUPERFICIE DE CAMINOS Y OTRAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE

Los caminos que se cerrarán y luego abandonarán deben tener un drenaje superficial adecuado y con mantenimiento automático para que la

FIGURA 274A. *Plataforma de troncos con residuos y escombros leñosos empujados sobre el borde y hacia las pendientes empinadas junto a arroyos. Este camino y esta plataforma fueron previamente administrados para la tala de madera y han sido incorporados recientemente al Parque Nacional Redwood (RNP). Como parte de la restauración de la cuenca fluvial, el camino y la plataforma fueron clausurados de manera permanente (RNP).*

FIGURA 274B. *Utilizando técnicas de "peralte hacia afuera establecido" (IPOS), se excavaron suelos de vertido lateral rocoso y se colocaron contra el corte marginal alto de esta loma seca. Los residuos leñosos se separaron de la basura y se astillaron para convertirse en cubierta humidificadora. Tres años después, los alisos invadieron la superficie de suelo descubierto y crecieron rápidamente. Se produjo una erosión y perforación menor de la superficie mientras la superficie tenía poca vegetación, pero no se enviaron sedimentos al arroyo (tenga en cuenta a la persona para la escala) (RNP).*

FIGURA 275A. *Se construyeron caminos de explotación forestal con curvas cerradas en una pradera panorámica para acceder a bosques de secuoyas más abajo en las laderas. Poco antes de que se tomara esta fotografía, estos caminos y los bosques en la distancia fueron adquiridos por el Servicio de Parques Nacionales e incorporados al Parque Nacional Redwood (NPS, RNP).*

FIGURA 275B. *Debido al ancho y a las vistas panorámicas, y al uso esperado de las praderas por parte de futuros visitantes del parque, estos caminos fueron clausurados para su reconstrucción total (anulación del camino). En dos años, los caminos reconstruidos y las pendientes fueron invadidos por pastos nativos y su presencia se volvió casi imperceptible (NPS, RNP).*

FIGURA 276. *Esta conversión de camino a sendero (clausura) se realizó cuando el área forestada, que en algún momento fue un bosque maderero comercial, fue adquirida y convertida en una reserva biológica. Parte de la exigencia ecológica consistía en clausurar los antiguos caminos de explotación forestal para reducir los índices de erosión a fin de proteger los arroyos y el hábitat de peces, y a la vez preservar el acceso de los senderistas a las diversas áreas biológicamente únicas. Aquí una excavadora está reconstruyendo un antiguo camino de explotación forestal mientras construye un nuevo sendero cerca de la parte superior del antiguo talud de corte. La superficie de la pendiente reconstruido ha sido recubierta con ramas y escombros leñosos. Todos los cruces de arroyos y rellenos de caminos inestables deben ser excavados a lo largo de la antigua alineación del camino.*

FIGURA 277A. *Un antiguo camino forestal privado, que ahora forma parte de la Reserva Biológica BLM de los Estados Unidos, ha sido programado para la construcción de un peralte hacia afuera y su conversión a un sendero. El objetivo del proyecto de clausura era reconstruir el antiguo camino de explotación forestal y convertir la ruta para el acceso a pie de los visitantes e investigadores. Observe el tocón en el primer plano derecho.*

FIGURA 277B. *El antiguo camino fue clausurado por excavar los terraplenes de vertido lateral y colocar el relleno excavado contra los bancos de corte secos. Los terraplenes excavados se cubrieron con paja de arroz y escombros leñosos para controlar la erosión y prevenir la introducción de hierbas exóticas y especies de malezas. El camino, que en algún momento fue recto, se convirtió en un sendero sinuoso que sigue los contornos del paisaje original. Todos los bajíos topográficos y canales de arroyos han sido excavados y reconstruidos.*

FIGURA 278. *Se había construido un camino ilegal a lo largo de esta ladera empinada para acceder al nuevo sitio de la casa. Debido a los altos índices de erosión y a la inestabilidad de la pendiente, y como no estaba permitido, las agencias regulatorias solicitaron que el camino sea clausurado por completo y reconstruido. Luego de la excavación y reconstrucción, las pendientes descubiertas fueron sembradas y regadas para lograr una cobertura rápida y completa de hierba. Su clausura fue aprobada e incluía un tramo estrecho para ser utilizado en una ruta de escape de emergencia en caso de incendios, utilizando pequeños cuatriciclos (vehículos todo terreno). Luego se creó y construyó un nuevo y mejor trazado para llegar al sitio de la casa mediante procesos de obtención de permisos adecuados.*

FIGURA 279A. *Este antiguo camino forestal (abandonado) cruzaba una topografía relativamente suave que había sido recientemente convertida en un área de uso público. El camino debió ser clausurado para eliminar posibles amenazas de erosión y, al mismo tiempo, abrir el acceso del sendero al público. Observe el árbol de coníferas parcialmente visible en segundo plano en el centro, detrás de los árboles de alisos de hoja caduca.*

FIGURA 279B. *En la misma vista que la Figura 279a (observe el árbol de coníferas que ahora está claramente visible), se excavaron los terraplenes inestables del camino cerca del arroyo con peces (izquierda, fuera de la foto) y se utilizó el relleno para reconstruir los cortes del antiguo camino y restaurar la topografía original del sitio. Como estaban en una nueva Área de conservación de BLM de los Estados Unidos, las áreas de suelo descubierto creadas durante la clausura fueron cubiertas con virutas de madera generadas en el sitio. Luego se instaló una superficie de grava compactada para que el sendero estuviera accesible para todos los visitantes.*

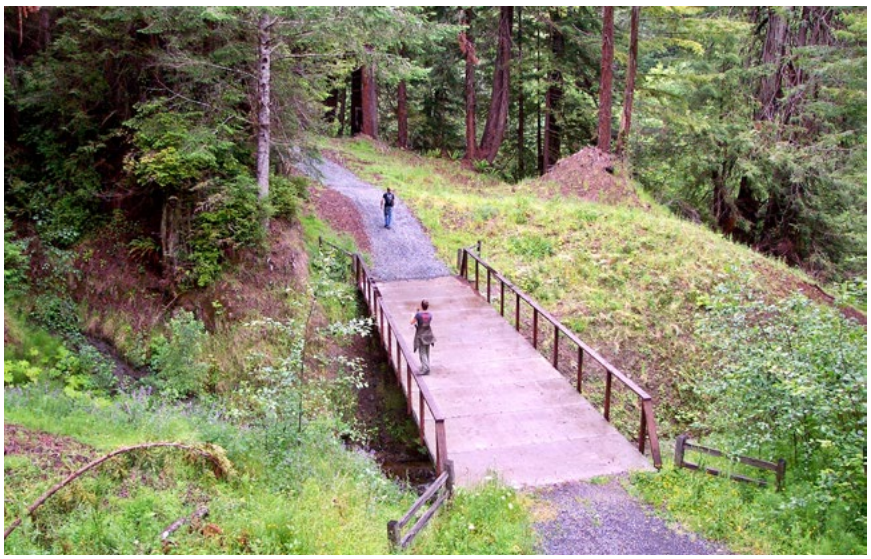


FIGURA 280. *Un camino de explotación forestal antiguo y abandonado fue convertido a un sistema de senderos mediante el uso de un peralte hacia afuera del sendero. Aquí, se convirtió un antiguo cruce de arroyo con alcantarilla en un puente con viga en "I" de "tamaño reducido" (ver también Figura 150) destinado principalmente al acceso por parte de senderistas, pero que también había sido diseñado para ser utilizado por vehículos pequeños en situaciones de emergencia y para necesidades de mantenimiento ocasionales. La amenaza de erosión ha sido eliminada a lo largo del sendero mediante diversos tratamientos de clausura de camino a sendero.*

superficie del camino se mantenga estable y no erosione y entregue flujos de sedimentos.

La mayoría de los caminos temporales han sido construidos como caminos con pendiente hacia afuera, y todo segmento de zanjas en caminos cerrados debe ser con pendiente hacia afuera o drenados con zanjas de cruce de caminos, durante las operaciones de cierre. Se deben remover los terraplenes externos del camino para alentar el drenaje continuo de las superficies del camino.

Las zanjas internas del camino se deben eliminar cuando se cierran los caminos temporales o abandonados, de modo que no se arrastre el agua y no se formen barrancos. Los drenajes de intersección ubicados con intervalos regulares a lo largo del camino, deben ser más profundos que las barreras para el agua estándar y deben extenderse a lo largo desde el talud de relleno hasta la margen externa del camino, de modo de interceptar todo el flujo de la zanja. En las secciones empinadas del camino (>10%), los desagües cruzados deben ser torcidos a 45° de la traza del camino (en lugar de lo usual, a 30°) para reducir la amenaza de erosión en la entrada (Figura 281).

Los muelles y filtros deben ser drenados directamente a través del levantamiento del camino anterior, siempre que la cuesta sea estable (Figura 282). Puesto que en los

FIGURA 281. *Entre los cruces de arroyos tratados y las excavaciones de terraplén, los caminos clausurados deben recibir tratamientos de drenaje de caminos permanentes, incluso la descompactación del camino (rasgamiento o aradura del subsuelo) y los drenajes de intersección construidos. Los drenajes de intersección son características permanentes del camino, al igual que los camellones, pero mucho más sustanciales ya que funcionan indefinidamente y no se deterioran por las lluvias, la escorrentía o cualquier otro tipo de tráfico recreativo no deseado (en general, bicicletas o motocicletas). Al igual que los camellones, suelen ser excavados en el lecho del camino firme, con montículos colina abajo y lo suficientemente cerca como para evitar una erosión significativa en el lecho del camino o debajo del punto de descarga.*

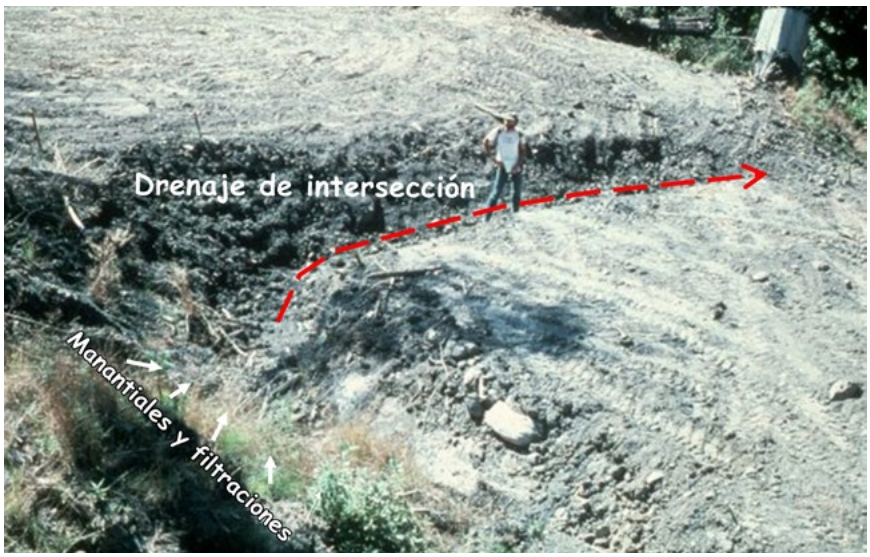


FIGURA 282. *Los drenajes de intersección profundos se construyen en todo lugar en el que haya un manantial o una filtración en el corte marginal del antiguo camino. Esto ayuda a drenar el camino y la ladera de la manera más uniforme y frecuente posible. Excepto para secciones muy cortas cerca de un drenaje de intersección, no se deben mantener las zanjas internas.*

caminos cerrados las zanjas internas se dejan en suspenso y ya no arrastrarán la escorrentía, las alcantarillas de alivio de zanjas ya no son necesarias y pueden ser removidas y rescatadas (recicladas), o dejadas en su lugar si el camino fuera a reabrirse en algún momento más adelante.

Los desagües de intersección deben colocarse con suficiente frecuencia como para que el flujo por desagües individuales no requiera el uso de disipadores de energía con coraza de roca para prevenir la erosión en la salida. Sin embargo, los desagües de intersección que transportan flujo desde los muelles o flujo ascendente de pequeños barrancos, puede requerir una excavación más profunda o una coraza de protección en su salida y deben ser descargados hacia la vegetación para filtrar el agua y sedimentos antes de que la escorrentía alcance un arroyo (Figura 282).

El ripado y la plantación en caminos abandonados pueden reducir la escorrentía y la erosión, e incrementa considerablemente la cantidad de bosque y tierra rural en producción (Figura 283; Figuras 284a y 284b). Idealmente, debe sacrificarse la superficie de un camino abandonado (ripado o arado a una profundidad de 18–24 pulgadas), debiendo ser inclinado hacia afuera al menos un 4% más que el nivel del camino, colocar una barrera para el agua y realizar sembrados y plantaciones, para así controlar la escorrentía y erosión de la superficie (Figura 285). Los taludes de corte húmedos, de manantiales, a lo largo de caminos con peralte hacia afuera no deben cubrirse con material de desperdicios y los caminos que no tienen peralte hacia afuera no deben tener instalados desagües de intersección frecuentes.

El crecimiento de árboles en superficies de caminos pavimentados o de roca, suele ser más lento que en los sitios adyacentes no pavimentados, a menos que el lecho del camino esté picado mecánicamente. El ripado es más efectivo para romper la compactación y promover el crecimiento de los árboles cuando se lleva a cabo con un subsolador alado que levanta y rompe el suelo. El ripado también puede realizarse utilizando un cincel dentado accionado hidráulicamente, montado en la parte trasera de un bulldozer, aunque pueden requerirse varias pasadas para disolver la capa de balasto entero (Figura 286).

4. CONTROL DE EROSIÓN

La mayor parte del trabajo de control de la erosión a lo largo de caminos cerrados se logra con: 1) la excavación física de los cruces de arroyo, rellenos inestables y plataformas de vertido lateral, 2) instalación de desagües de intersección, 3) ripado del camino, e 4) peralte hacia afuera del camino local. Estas técnicas son usualmente llevadas a cabo con equipamiento pesado. Otras prácticas manuales de control de erosión y revegetación que pueden ser utilizarse incluyen la cubrición del suelo, la instalación

FIGURA 283. *Pequeño bulldozer con extractores operados hidráulicamente (tres cinceles de acero de 30 pulgadas de largo) descompactando un camino estacional como parte de la clausura del camino. El rasgamiento del camino debe ser una práctica de clausura estándar. Todo el camino clausurado debe ser rasgado para descompactar el banco del camino, mejorar y acelerar la revegetación y reducir la escorrentía de la superficie. Si el camino debe ser con peralte hacia afuera y se colocan residuos en el banco del antiguo camino, el banco del camino compactado debe ser rasgado a una profundidad de 18 a 24 pulgadas o más. Si no es rasgado, el agua que se infiltre se acumulará en la superficie compactada y podría provocar la saturación del suelo o contribuir a la generación de una falla en la pendiente.*

FIGURA 284A. *En caminos forestales que han sido cerrados formalmente, en lugar de ser simplemente "abandonados", la calzada puede ser devuelta a la producción forestal o de pastizales mediante el rasgamiento y la disgregación de la superficie y la posterior plantación de árboles. Las fotos "278a" y "278b" muestran un camino antes y después del rasgamiento y la descompactación. Este tratamiento simple también ayuda a reducir la escorrentía de áreas compactadas. Se recomienda que se pase suficientes veces con el tractor para que la superficie esté completamente disgregada.*

FIGURA 284B. *En caminos forestales que han sido cerrados formalmente, en lugar de ser simplemente "abandonados", la calzada puede ser devuelta a la producción forestal o de pastizales mediante el rasgamiento y la disgregación de la superficie y la posterior plantación de árboles. Las fotos "278a" y "278b" muestran un camino antes y después del rasgamiento y la descompactación. Este tratamiento simple también ayuda a reducir la escorrentía de áreas compactadas. Se recomienda que se pase suficientes veces con el tractor para que la superficie esté completamente disgregada.*

FIGURA 285. *Antiguo camino forestal que ha sido rasgado, levemente con peralte hacia afuera y convertido en un camino de senderismo. El tratamiento de clausura necesario en este escenario de ladera superior fue menor y eliminó en gran medida la escorrentía de la superficie del trazado.*

FIGURA 286. *En un terreno con poca inclinación, el rasgamiento (la descompactación del suelo) podría ser el único tratamiento necesario para clausurar un camino, eliminar el tráfico no deseado, reducir la escorrentía y que el terreno vuelva a tener vegetación nativa.*

de disipación de la energía (por ejemplo, corazas de roca y desperdicios leñosos), la siembra y plantación.

Los bancos de todos los cruces de arroyo excavados, así como todas las áreas de suelo descubiertas, inmediatamente adyacentes a, o cerca de un arroyo, deben ser sembradas y cubiertas con mantillo de paja (de 3.000 a 5.000 lbs/acre—o una cobertura completa de la tierra a una profundidad de unas 3 pulgadas) u otro producto de cubrición. La paja puede ser distribuida a mano o diseminada en la superficie del suelo usando un remolque montado de diseminación de paja. En pendientes mayores a 45% aproximadamente, o donde son comunes los vientos intensos, se deberá clavar las cubiertas, o perforarlas o bien asegurarlas a la superficie del suelo para mantenerlas en el lugar y en pleno contacto con la superficie del terreno. Se puede perforar la paja en la tierra suelta con palas, pinzas quebranta forrajes o un rodillo con pinchos, o puede ser aferrada a la superficie utilizando una malla de yute, o un aerosol de fijación (Figura 287). También puede comprase el mantillo en rollos, en el que el mantillo está amarrado entre la red plástica fina y biodegradble, que luego se puede desplegar y asegurar o bien engrapar a la tierra.

Si los materiales de la coraza de roca son abundantes, el fondo del canal de cruces de arroyos excavados puede ser protegerse con una armadura de roca bien consolidada, y del tamaño adecuado para minimizar la posterior degradación o ampliación del canal. Sin embargo, la armadura de roca no debería ser necesaria para el control de la erosión si se extrae todo el material de relleno del cruce y si se reconstruye por excavación la configuración del perfil original del canal, así como del lecho del arroyo y de la vertiente lateral. Si la coraza natural del canal no fue removida durante la instalación inicial de la alcantarilla, debería ser suficiente para proteger al canal de su degradación.

Se pueden colocar rocas o restos leñosos en las salidas a los desagües de intersección, en los que se espera el arrastre de flujo sustancial desde los muelles. La coraza de roca es generalmente preferible porque es más permanente y ajusta su posición cuando hay una degradación menor del canal. Pero ningún desagüe de intersección debería arrastrar escorrentía suficiente como para causar una erosión importante. Si lo hace, o usted considera que podría hacerlo, entonces se debe excavar completamente el sitio y todo el material de relleno, como si fuera un cruce de arroyo pequeño.

FIGURA 287. *En general, lo único que se requiere para controlar la erosión de la superficie de manera temporaria es una cobertura uniforme de mantillo de paja sobre los taludes excavados de los cruces de arroyos clausurados hasta que puedan revegetarse naturalmente. También se pueden utilizar virutas de madera o arbustos nativos y escombros para controlar la erosión de la superficie en ciertos ambientes. Aquí, se utilizó una malla de yute en lugar de paja como tratamiento experimental. Se pueden utilizar mantas de control de erosión aplanadas y fijadas, o mallas de yute fijadas sobre una capa de mantillo de paja, en taludes con una profundidad mayor a aproximadamente 2:1 (50%). Para evitar el esparcimiento de especies de malezas no nativas, muchas áreas pueden utilizar paja de arroz cuyas semillas y especies de maleza no se adapten al crecimiento en la mayoría de las tierras altas. Los mantillos de paja de arroz también tienen una aspereza o "rigidez" que le permite sostenerse en pendientes más empinadas que los mantillos de trigo o pasto.*

5. REVEGETACIÓN

La vegetación es el agente de control de la erosión final, a largo plazo. Sin embargo, dada la demora para que crezca una cubierta gruesa y eficaz, es necesario tomar algunas medidas de control de la erosión física (como mantillo de paja, mantas de red o métodos biotecnológicos), para el primer año o segundo después de la clausura o el cierre de camino. La siembra con pasto y verduras reduce la erosión superficial y puede mejorar la condición física del suelo. Plantar árboles y arbustos agrega una cubierta vegetal más duradera y provee sistemas de raíces más fuertes que mejoran la estabilidad de los taludes. Dentro de su rango apropiado, las coníferas, las especies frondosas, y otras especies de árboles, proporcionan estabilidad a largo plazo y control de la erosión de la tierra. La plantación de vegetación leñosa, incluyendo árboles, se realiza mejor durante la estación lluviosa o inmediatamente después de los primeros eventos de lluvia de estación húmeda, cuando hay suficiente humedad en el suelo para ayudar a la supervivencia de la planta.

a. Métodos de sembrado

La siembra con pasto y otras especies de crecimiento rápido puede utilizarse para proteger a los taludes de la caída de lluvias y la erosión de surcos, si se siembra y crece para proporcionar una cubierta gruesa antes de las primeras lluvias de la estación húmeda. La siembra se realiza mejor inmediatamente después de que la superficie se restablece, con mantillo aplicado para cubrir la siembra y el suelo desnudo. La superficie áspera proporciona trampas en miniatura para las semillas, el fertilizante (si se utiliza) y el agua de lluvia, creando un ambiente favorable para la germinación y el crecimiento. **Los mantillos aumentarán el establecimiento de plántulas mediante la mejora de las condiciones de germinación y el control de la erosión hasta que las plantas se establezcan.**

Los dos métodos básicos para esparcir las semillas, son la propagación seca e hidráulica. Cada método es adecuado para condiciones específicas del suelo (Tabla 34). La propagación seca y la fertilización a lo largo de pequeños caminos, se hace usualmente con sembradoras giratorias tipo ciclón. Este método se realiza a mano para aplicaciones relacionadas con el camino, pero también puede realizarse con camión y mediante aplicación aérea para trabajos más grandes. Las sembradoras de mano, llamadas trituradoras de vientre, normalmente se limitan a cuestas moderadas o leves y pueden disparar semillas y fertilizantes de 15 a 20 pies. Las semillas también pueden propagarse a mano, lanzando las semillas a través de la superficie, pero su distribución no será pareja. La siembra en líneas en el lecho de siembra, garantiza una distribución uniforme, pero puede no ser posible debido a la inclinación de muchos cortes de camino y rellenos. En la siembra hidráulica (hidrosiembra), las semillas, el abono (o ligante) y el fertilizante, se aplican en una mezcla a base de agua desde un camión bomba o remolque portátil (Figura 288). La hidrosiembra puede ser necesaria para la siembra 1:1 o en pendientes más pronunciadas, donde la semilla debe ser fijada a la pendiente debido a los altos niveles de ondulación o erosión.

Independientemente del método seleccionado, las semillas deben distribuirse uniformemente para dar lugar a una cobertura vegetal continua. La siembra sobre una superficie de suelo áspero o la cobertura

TABLA 34. Lineamientos para la selección del método de propagación[1]

Condiciones del área	Ejemplos de situaciones	Método de siembra
Taludes empinados (>50%), o ventosos con riesgo alto de erosión extrema.	Taludes de corte y relleno empinados.	Propagación hidráulica con cubierta humidificadora o fijada.
Taludes moderados (30–50%) y empinados, con riesgo medio a alto de erosión.	Taludes de corte y relleno moderados y empinados; rellenos de cruces de arroyos y áreas de puentes.	Propagación hidráulica o seca con cubierta humidificadora.
Taludes leves y moderados, con riesgo de erosión medio a alto.	Taludes de corte y de relleno, y sitios de deposición de desperdicios que no estén cerca de un curso de agua.	Propagación hidráulica o seca; cubierta humidificadora cuando resulte necesario.
Taludes leves y moderados, con riesgo de erosión bajo a moderado	Taludes de corte y de relleno, y sitios de deposición de desperdicios que no estén cerca de un curso de agua.	Propagación seca; cubierta humidificadora cuando resulte necesario para mejorar la revegetación.

[1] Modificado por el BCMF (1991)

FIGURA 288. *La hidrosiembra (el rociado de una mezcla de agua, semillas y fertilizante) sobre áreas de suelos descubiertos puede ser un tratamiento eficaz de control de la erosión y vegetación para grandes áreas perturbadas o para áreas de suelo descubierto en caminos abiertos. Es muy útil para el tratamiento de sitios de disposición de residuos, luego de ser nivelados y alisados, y para tratamientos en caminos recientemente mejorados donde el camión o remolque puede tener un acceso fácil. La hidrosiembra de caminos clausurados es más difícil porque el acceso se corta a medida que avanzan los tratamientos. En lugar de ello, en general el método preferido es la siembra y cobertura manual.*

leve de las semillas con tierra y mantillo asegura una buena germinación. En climas secos o en suelos con una capacidad pobre de retención de agua, la propagación de la siembra puede dar malos resultados a menos que las semillas están cubiertas con un mantillo que ayude a retener la humedad del suelo cerca de la superficie, o que el sitio se riegue durante el primer año. Para que sea exitosa la propagación, la misma debe completarse antes de las primeras lluvias en la estación húmeda.

b. Tipo de semillas y fertilización

Los subsuelos severamente afectados y los taludes de corte expuestos son generalmente estériles y puede ser necesaria la aplicación de fertilizantes que contengan nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S), para el crecimiento y establecimiento exitoso de pasto y leguminosos. Las tasas de fertilización varían de acuerdo al nivel de nutrientes que se necesiten para el establecimiento. Se puede testear el contenido de nutrientes de los suelos antes de preparar las mezclas de fertilizantes. Se utilizan más a menudo las mezclas comerciales que proveen los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Cuando se realiza el hidrosembrado, el fertilizador usualmente es un componente de aplicación lodosa.

Los materiales parentales y los subsuelos siempre carecen de nitrógeno. Una recomendación común para los suelos deficientes es esparcir fertilizante de sulfato de fosfato amónico (16-20-0) en un porcentaje de 500 lbs / acre en época de siembra. Esto provee los nutrientes suficientes para el primer crecimiento de la estación. Sin embargo, **se debe tener cuidado para que los fertilizantes o las escorrentías ricas en nutrientes provenientes de taludes fertilizados, no sean transportados a las cercanías de arroyos y cuerpos de agua, y los contaminen.** Los sitios críticos (por ejemplo, cruces de arroyo) que pueden necesitar ser fertilizados probablemente no deberían recibir fertilizantes, simplemente para mantener el vigor de la planta y una adecuada cobertura del suelo. A menudo se sugiere plantar leguminosas y especies de fijación de nitrógeno en suelos infértiles porque son capaces de crecer sin fertilizante nitrogenado. Antes de la siembra, las semillas de leguminosas requieren inoculación con una bacteria que fija el nitrógeno que crece en sus raíces y fija el nitrógeno que luego pueden usar las plantas.

Si se utiliza una mezcla de semillas, o si se pone el foco en especies nativas, esto aumenta la probabilidad de que una de las especies vegetales encuentre favorables las condiciones locales y produzca una buena cubierta para la planta. Si se utiliza una mezcla de semillas comerciales, es importante que en la mezcla se encuentren plantas que se sabe que tendrán efectividad en el control de la erosión, que las especies estén adaptadas para crecer en el entorno local, y que las especies sean compatibles en mezclas (es decir, que una no supere a la otra). **En general, las mezclas de semillas deben ser lo más simple posible.** La relación de pasto y leguminosas, por semilla viva pura, debe ser de 70: 30 en regiones húmedas y 80: 20 en regiones áridas. Es una buena idea consultar a su Servicio de conservación de los recursos naturales local u otra autoridad sobre recursos, para obtener recomendaciones para la siembra en su área y sus necesidades específicas. No deben utilizarse plantas y pastos invasivos que no sean nativos.

Típicamente, se utiliza una combinación de 2 a 5 especies, incluyendo pasto que forme céspedes, ramilletes de gramíneas y leguminosas, para el control de la erosión. Se incluyen leguminosas por sus raíces más profundas y la capacidad de fijación de nitrógeno. La mezcla adecuada de semillas para un área determinada, depende de las condiciones de los suelos y climáticas del sitio. Se prefieren las semillas nativas por su tolerancia al suelo local y a las condiciones climáticas. Las tasas de sembrado dependen de la mezcla de especies deseada, el peso de las semillas y la variabilidad de stock de semillas.

En California, la Guía de siembra entre agencias de California (California Interagency Seeding Guide) (1986) para plantaciones de control de erosión es una publicación breve que describe la mezcla general de semillas en las que se ha encontrado utilidad para el control de la erosión dentro del clima mediterráneo de California (Tabla 35). La misma describe las tasas de siembra y los requisitos medioambientales para diferentes pastos perennes y anuales, gramíneas anuales, tréboles anuales y veza, y para varias especies

TABLA 35. Especies, características de crecimiento y tasas de siembra mínima de plantas conocidas para realizar un control eficaz de la erosión en terrenos forestales y rurales de California[1]

Especies	Características	Plantación	Libras por acre semilla pura viva[2] (lb/acre)		Caída de lluvia anual mínima (pulgadas)	Tasa de crecimiento/ longevidad
			Buen sembrado[3]	Sembrado pobre[4]		
Gramíneas anuales (generalmente de rápido crecimiento, adaptables y competentes).						
Wimmera-62 o césped anual.	El césped de vida corta y de crecimiento invernal y rápido, requiere fertilización para persistir. Es muy competitivo (en detrimento de otras plantas sembradas)	No plantar nunca con gramíneas perennes, legumbres o flores; debe ser inferior al 50% de cualquier mezcla de hierba anual.	22	50	12	Rápido, de vida corta
Cebada	El cereal invernal, crece rápido y alto	Puede ser plantada a 100 lb/ acre sin ser excesivamente competitivo.	150	200	12	Rápido, temporal
Brome blando	Crecimiento invernal, con césped auto-sembrado, muy adaptable a varios climas.	Usar en cualquier proporción con gramíneas anuales, mantener a menos del 70% cuando se plantan las leguminosas; no se debe plantar con flores o pastos perenne.	15	50	12	Rápidos, para volver a sembrar
Brome panocha roja	Actividad invernal, césped auto-sembrado, común en áreas de bajas lluvias; muy tolerante a sequías	Es mejor si se planta sola en áreas secas; en áreas acuosas puede ser usada en un 25% mezclada con leguminosas, o arbustos.	10	20	7	Rápidos, para volver a sembrar
Zorro festuca anual	De crecimiento invernal, maduración temprana, césped auto-sembrado; muy tolerante a la sequías; bueno para suelos ácidos de baja fertilidad	Es compatible con germinantes perennes nativos y arbustos; puede comprender el 70% de una mezcla con leguminosos y el 25% de una mezcla con flores, leguminosos y arbustos.	10	20	10	Rápidos, para volver a sembrar
Las Gramíneas perennes (generalmente restringidas a sitios que requieren raíces profundas y/o mantenimiento mínimo; son de crecimiento lento en el primer año y no compiten bien con la mayoría de las gramíneas anuales, las flores o gramíneas anuales pueden constituir hasta un 50% de una mezcla con gramíneas perennes).						
Pasto ovillo berebere	De larga vida, ramillete de hierba resistente a sequías; bueno en áreas de tierra seca.	El pasto ovillo palestino puede ser sustituido como segunda opción, pero el resto no sobrevivirá sin riego.	10	20	16	Mediano
Pasto agropiro luna pubescente	De larga vida, rápida maduración, cultivo con protección herbácea, césped activo en invierno	A menudo usado en suelos más profundos, tales como los taludes de relleno; incluyendo suelos sinuosos	20	40	16	Lento
Enrharta erecta misionera del altiplano sudafricano.	De larga vida, crecimiento denso y tupido	Sobresaliente en los suelos arenosos costeros	30	40	14	Lento
Smilo	De larga vida, hierba frondosa resistente a sequías	Mejor en suelos bien drenados en los que alguna vez creció chamiza en matorrales; se obtienen mejores soportes luego de un incendio.	10	20	16	Lento

Tréboles anuales y vicia (Los tréboles anuales se utilizan debido a su capacidad para proporcionar su propio nitrógeno. Esto los hace adecuados para áreas de baja fertilidad en las que de lo contrario sería necesario fertilizantes, las semillas deben ser inoculadas con bacterias que fijan el nitrógeno antes de la siembra. Pueden ser sembradas solas o en mezclas).						
Trébol rosado	Leguminoso auto-sembrado	Utilizado en suelos ligeramente ácidos	20	30	10	Mediano, re-sembrable
Veza con vaina de lana	Ampliamente adaptable, leguminosa auto-sembrado	Útil para proveer alimento a la fauna y como hábitat silvestre, se deben usar alternativas en áreas con riesgos de incendios.	45	60	14	Mediano, re-sembrable
Arbustos (la mayoría de los arbustos deben ser trasplantados desde latas o bolsas; pueden ser sembrados directamente.)						
Chamizo Australiano	De bajo crecimiento, perenne semi-postrado; la planta es tolerante a alcalinos y sequías	–	5	20	10	Lento
Trigo duro sarraceno de California	Altamente adaptado y tolerante a las sequías	Utilizado exclusivamente en sembrado de caminos laterales; se adapta en la mayor parte del estado de California.	10	20	10	Lento
Flores (las flores son útiles para la cubierta de corta duración en sitios con poca erosión potencial; rara vez persisten por más de 1–2 años; no plantar con gramíneas anuales y no fertilizar con nitrógeno. Las amapolas y altramuces tienen el récord de persistir más que la mayoría de las flores).						
Amapolas californianas	Se pueden plantar en la mayoría de los suelos libres de hierbas; no competirán con pastos o hierbas	–	5	20	10	Lento
Altramuz	Se adapta a una variedad de suelos; las altramuces deben ser inoculadas con una bacteria antes de sembrarse	Se pueden plantar muchas variedades de *Altramuces*	5	20	10	Lento

[1]Kay y Slayback (1986). Son plantas conocidas por su control de erosiones en el clima Mediterráneo de California Las especificaciones de los suelos y la caída de lluvias puede limitar el uso de cada especie Las tasas de sembrado sugeridas indican un mínimo; se considera tasas de crecimiento para medir las dificultades de crecimiento del sitio y el clima.
[2]"Semillas puras vivas" = % germinación x % de pureza dividido por 100
[3]"Buen sembrado"= semillas cubiertas por suelo, pendientes 3:1 o más planas, paja asegurada a la pendiente en 1.5 a 2 ton/acre.
[4]"Sembrado pobre"= suelo pobre, pendientes empinadas, semillas sin cobertura (sin mantillo). Pueden ser hidrosembrados.

de flores y arbustos, y describe los pasos para efectuar plantaciones exitosas. Deberían existir guías similares, disponibles en la mayoría de las otras áreas y en la vía pública. Asimismo, los organismos de gestión de la tierra son a menudo capaces de proporcionar asistencia y orientación en las selecciones de semillas locales para fines de control de la erosión.

c. Tiempo de sembrado

Las consideraciones más importantes en el sembrado son los tiempos de aplicación, la distribución pareja de semillas y la cobertura de las semillas con suelo. La razón más común para la falla del sembrado, es la plantación en un momento incorrecto. La siembra debe hacerse lo suficientemente temprano en la temporada de crecimiento, de modo que pueda establecerse una adecuada cobertura del suelo antes del período crítico de clima húmedo. La aplicación de semillas debe comenzar inmediatamente después de las operaciones de maquinaria pesada y de la alteración del suelo y con un mínimo de 6 semanas antes de los períodos de sequía o helada dañinas. La siembra de otoño es mejor en áreas con sequía estival.

La plantación y siembra para el control de la erosión requieren el desarrollo de una cubierta vegetal continua, rápida y persistente. Los pastos anuales a menudo producen la protección más rápida, pero son sólo una solución temporal y a veces realmente pueden impedir el crecimiento de otras plantas. Las hierbas perennes son más lentas de establecer pero proporcionan

mejores sistemas de raíces de plantas anuales. Las plantas perennes también pueden tener dificultad para competir y sobrevivir cuando hay sembrados con hierbas anuales en la misma mezcla. Las leguminosas anuales proporcionan nitrógeno al suelo al crecer, pero también son relativamente lentas para crecer y no pueden competir bien con gramíneas anuales sembradas pesadamente. Los árboles y arbustos toman más tiempo para proporcionar una cobertura del suelo y no pueden competir bien cuando se los siembra con otras especies, pero a menudo proporcionan la mejor estabilidad a largo plazo en un camino perjudicado. Afortunadamente, árboles y arbustos autóctonos se siembran naturalmente en muchos sitios con bosques y áreas de pastizal. Se puede usar la plantación o el trasplante para aumentar la velocidad de sus retornos.

Luego de la siembra, los suelos de caminos recién construidos, reconstruidos, acondicionados y cerrados deben plantarse con árboles y/u otra vegetación leñosa (Figura 289). Además, las cuestas y levantamientos de canales adyacentes a los cruces de arroyos excavados (desarmado), pueden sembrarse con sauce, aliso u otras especies de árboles ribereños (Tabla 36) y especies arbustivas (Tabla 37) compatibles con las condiciones del sitio local. Estas especies leñosas tardan más tiempo en establecerse, pero proporcionan la cobertura del suelo a largo plazo y el enlace del suelo necesario para la eficaz prevención de la erosión, el desarrollo de suelos y la estabilidad de las pendientes en estos sitios fuertemente perjudicados.

C. EFECTIVIDAD DE LA CLAUSURA

La clausura del camino se realiza para reducir o eliminar la amenaza de entrega futura de sedimentos de causa humana desde el camino anterior y su impacto en las áreas río abajo cuando las tierras afectadas regresan a su función natural de la cuenca. La efectividad de las tareas de clausura del camino, en relación con la prevención del sedimento y la protección de cuencas, normalmente se expresa como "ahorro" de sedimento en dos períodos: 1) el volumen de sedimento que se ha impedido que entre en los canales de arroyos (efectividad a largo plazo) y 2) el volumen de sedimento que es erosionado desde los sitios clausurados y que desciende hasta los canales de arroyo locales en los primeros años después de la clausura de las actividades (efectividad a corto plazo). **El objetivo de un proyecto de clausura es maximizar la efectividad a largo plazo (ahorro del sedimento) y minimizar la liberación de sedimento a corto plazo desde los sitios tratados.**

Los tratamientos de clausura del camino han demostrado reducir significativamente la producción de sedimento a largo plazo desde los caminos forestales y rurales, incluyendo aquellos que han sido abandonados durante años. **En general, la única práctica de prevención de erosión con mayor eficacidad para todo tratamiento de clausura de caminos, según la**

FIGURA 289. *La plantación de árboles (o la plantación de especies leñosas adecuadas para el entorno específico del camino) es el tratamiento a largo plazo definitivo para el lecho del camino clausurado y para los taludes ribereños en los que se han excavado y restaurado cruces de arroyos a largo plazo. Este árbol plantado, y estas coníferas y especies frondosas que siembran naturalmente la antigua calzada, en algún momento cubrirán el trazado y brindarán estabilidad al sitio a largo plazo.*

TABLA 36. Se recomiendan especies de árboles para zonas de revegetación ribereñas[1]

Especies rivereñas (nombre común)	Costal	Valle interior	Ladera interior
Castaño de California		✓	✓
Arce caoba	✓	✓	
Negundo de California		✓	
Aliso blanco	✓		✓
Aliso rojo	✓		
Nogal negro de California		✓	✓
Sicomoro del Oeste	✓	✓	✓
Álamo Fremont	✓	✓	✓
Roble vivo de la costa	✓	✓	
Roble negro de California			✓
Roble del valle		✓	
Roble de vida interior		✓	✓
Sauce rojo	✓	✓	✓
Sauce negro	✓	✓	✓
Sauce de arena	✓	✓	✓
Cenizas de Oregón	✓	✓	✓
Bahías de California	✓		
Cerezo	✓	✓	✓
Arrayán de cera	✓		
Baya	✓	✓	✓
Chamizo cervecera	✓	✓	
Barrilla coyote	✓	✓	✓
Grasa de mula	✓	✓	
Ceanothus spp.	✓	✓	✓
Cercis del Oeste	✓		✓
Caoba de la montaña			✓
Arbusto botón	✓	✓	
Alforfón de California	✓	✓	✓
Toyon		✓	✓
Cafeto de California		✓	✓
Flores rojas de estación			✓
Rosa silvestre de California		✓	✓
Zarzamora de California		✓	✓
Salvia negra			✓
Zumaque arbusto de cannabis		✓	✓
Prunus spp.	✓	✓	✓
Rhus spp.	✓	✓	✓

[1]Departamento de Peces y Vida silvestre de California (1992). Cuando se seleccionan las especies para el proyecto de revegetación, es preferible que estas especies se encuentren en condiciones medioambientales similares cerca del sitio del proyecto.

TABLA 37. En zonas ribereñas se recomiendan especies de arbustos para revegetación[1]

Especies rivereñas (nombre común)	Costal	Valle Interior	Ladera Interior
Baya	X	X	X
Chamizo cervecero	X	X	
Barrilla coyote	X	X	X
Grasa de mula	X	X	
Ceanothus spp.	X	X	X
Cercis del Oeste	X		X
Caoba de la montaña			X
Arbusto botón	X	X	
Alforfón de California	X	X	X
Toyon		X	X
Cafeto de California		X	X
Flores rojas de estación			X
Rosa silvestre de California		X	X
Zarzamora de California		X	X
Salvia negra			X
Arbusto nativo americano		X	X
Prunus spp.	X	X	X
Rhus spp.	X	X	X

[1]Departamento de Peces y Vida silvestre de California (1992). Cuando se seleccionan las especies para el proyecto de revegetación, es preferible que estas especies se encuentren en condiciones medioambientales similares cerca del sitio del proyecto.

medición de la reducción post-clausura de erosión y entrega de sedimentos, es seguir correctamente las prescripciones de tratamiento generalmente aceptadas, las normas y metodologías para la clausura del camino, como se destacó más arriba (por ejemplo, Weaver et al., 2006). Se recomienda hacerlo mediante la utilización de operadores de equipo pesado calificados y experimentados, y proporcionar suficiente supervisión en el terreno mediante profesional técnicos, mientras que están en curso los trabajos de clausura.

Los tratamientos de clausura para escorrentías en la superficie de los caminos (Conectividad hidrológica) y excavación de taludes de relleno potencialmente inestables han demostrado que las medidas de control de sedimentos son altamente eficaces. La conectividad hidrológica del antiguo camino puede reducirse casi a cero mediante el ripado de la superficie del camino estándar (descompactación), la instalación de desagües de intersección y la peralte hacia afuera del camino (Figura 290). Asimismo, la identificación y tratamiento (excavación) de los rellenos de caminos y terrenos inestables y potencialmente inestables durante el trabajo de rutina de clausura de caminos, ha sido una técnica exitosa para prevenir fallas relacionadas con el relleno de talud del camino y la entrega de sedimentos. Puesto que no todos los taludes de relleno se excavan y remueven durante la clausura, siempre existe la posibilidad de que puedan desarrollar inestabilidad en el futuro, pero los sitios más susceptibles ya habrán sido identificados y tratados.

La clausura (excavación) de los cruces de arroyo, usando los protocolos establecidos, también ha demostrado ser altamente eficaces. La mayor parte de la pérdida de sedimentos a corto plazo de todos los sitios de clausura del camino se origina en los cruces de arroyo excavados. Las fuentes primarias de esta entrega de sedimentos representan alrededor del 90% de las pérdidas de suelo de todos los trabajos de clausura de camino, incluyendo

FIGURA 290. *El rasgamiento profundo y minucioso es un buen tratamiento para eliminar la escorrentía de la superficie y "desconectar hidrológicamente" un antiguo camino de los canales de arroyos cercanos.*

la incisión del canal, la erosión superficial y bajadas en los taludes de los cruces de caminos excavados. Los estudios demuestran que los errores de operadores (en su mayoría cuando un operador de equipo deja un relleno sin excavar en el cruce de un arroyo), son responsables de un 40% de la potencial de erosion post-clausura. Se considera inevitable el 60% restante de la pérdida de sedimentos y un resultado natural del desarrollo de un perfil estable y de una forma plana del canal debido a la clausura del cruce de camino en los primeros años después de que fue tratado.

En la mayoría de los caminos, las excavaciones en cruces de arroyos serán el único tratamiento a implementar para la reducción de amenazas mayores y también la mayor fuente de entrada de sedimentos de corto plazo a los canales de flujo de arroyos, siguiendo los trabajos de clausura del camino. Monitoreos anteriores de remoción de cruces de arroyos, han demostrado que: 1) la erosión en los cruces de arroyos excavados es la principal fuente de entrega de sedimento post-clausura desde caminos tratados (aproximadamente el 90%), y 2) en general son pocos los cruces que generalmente producen la mayoría de sedimentos post-clausura. La pérdida de suelo prevista a corto plazo de estos sitios está grandemente eclipsada por los ahorros de sedimentos a largo plazo atribuidos a los trabajos de clausura.

La erosión post-clausura de cruces excavadas se minimiza mediante la excavación de taludes estables, de bajo gradiente y la excavación total de rellenos erosionables que fueran colocados en el canal cuando se construyó el cruce (Figura 265). **Típicamente, la clausura del cruce de arroyo debe ser por lo menos un 95% eficaz;** es decir, se habrá evitado el 95% de la erosión esperada o prevista de un lavado completo del relleno original de un cruce de arroyo (si no fue tratado), con su clausura definitiva. El 5% que es erosionado es el resultado de ajustes del canal posteriores a la clausura que pueden esperarse que ocurran durante las primeras estaciones húmedas, a medida que se ajusta el canal exhumado y se estabilizan taludes excavados recientemente.

Es importante inspeccionar cuidadosamente los cruces clausurados mientras el equipo está realizando el trabajo, y mientras el equipo permanece en el sitio, para asegurar que se alcancen los anchos y las profundidades de excavación prescritos y que las riberas de los arroyos estén inclinadas hacia un ángulo estable. Para grandes cruces donde algunos materiales de relleno pueden permanecer después de la excavación, es necesario el uso de corazas de roca o estructuras de control de nivel. Sin embargo, **la práctica más efectiva es eliminar completamente todos los materiales de relleno de los cruces para que no se dejen erosionar y para que los ajustes posteriores al tratamiento puedan ser minimizados.** Considere la preparación o secuenciación de las actividades de producción de sedimentos, tales como el trabajo de retiro de los cruces de arroyos para evitar la superposición de múltiples

entradas de sedimentos a lo largo de pequeñas cuencas que son sensibles a la contaminación por sedimentos.

D. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS CERRADOS

Los caminos cerrados son esos caminos temporales y "clausurados" que ya no están abiertos para el tránsito de vehículos y han sido tratados proactivamente para eliminar las amenazas ambientales (Figuras 291 y 292). Los caminos que simplemente están cerrados al tráfico por barreras o puertas pero no han sido tratados en relación a problemas de erosiones y entrega de sedimentos existentes y potenciales, no son realmente considerados como cerrados. Los caminos con vallas y barricados requieren inspecciones y un mantenimiento regular estacional y en períodos de tormentas, tal como la red de caminos abiertos y mantenidos.

En teoría, cuando un camino está verdaderamente cerrado o fuera de servicio, todas las amenazas de erosiones y problemas de drenaje de la superficie identificables, han sido tratados. Todos los cruces de arroyo han sido removidos (excavados) a su condición pre-camino y se han implementado todas las medidas de control de erosión permanentes. Los taludes de relleno que pueden fallar y entregar sedimentos a los canales de los arroyos han sido inspeccionados, y aquellos con la falla potencial han sido excavados (removidos), o de lo contrario, estabilizados El drenaje de la superficie del camino ha sido tratado de modo que la escorrentía de la superficie se elimine en su mayor parte mediante arado o decompactación. Toda escorrentía superficial desde muelles o filtrados se dirige a lo largo de las trazadas de los caminos anteriores y el drenaje no está sujeto a las zanjas en funcionamiento. El drenaje de las estructuras del camino se construye en el lecho de la misma para evitar que la escorrentía se deslice por la superficie del camino.

Los caminos recientemente cerrados o clausurados son más vulnerables a la erosión durante las primeras estaciones húmedas, luego de ser tratados. Son de esperar algunas erosiones post-cierre en los cruces de camino excavados, algunas áreas húmedas pueden mostrar signos de surcos y desplomes, y ocasionalmente un talud de relleno que no fue tratado (excavado) puede mostrar signos de inestabilidad. Se pueden realizar varias inspecciones durante las primeras estaciones húmedas, y tal vez por algunos años consecutivos más, luego de tormentas o crecidas considerables,

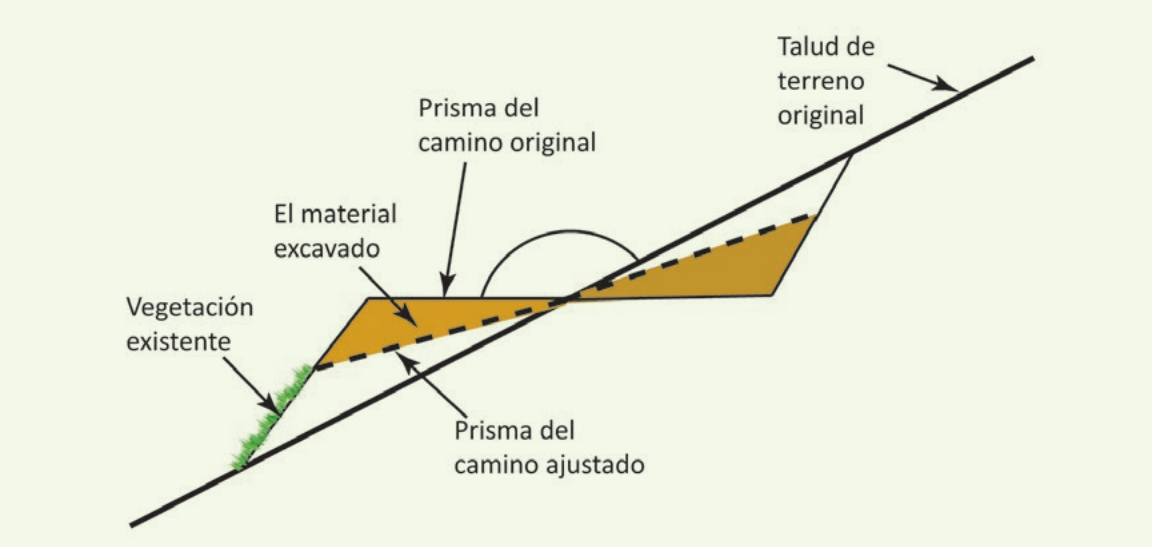


FIGURA 291. *A diferencia de los portones o barreras, un método más permanente de cierre es un talud hacia afuera en los primeros 100 pies del camino cerrado, de modo que el camino sea demasiado empinado para transitarlo.*

FIGURA 292. *El uso de taludes hacia afuera estrictos, que evitan el acceso a vehículos, solo debe ser llevado a cabo en caminos temporales y en caminos clausurados, donde se han eliminado todos los cruces de arroyos, se han excavado o estabilizado los terraplenes inestables y se ha dispersado de manera permanente el drenaje de la superficie del camino. Para ayudar a garantizar que los vehículos no utilizarán el camino cerrado, se pueden distribuir troncos, rocas y arbustos sobre la superficie, especialmente cerca del comienzo del camino, para desalentar el tráfico no deseado. Estos caminos no requieren mantenimiento en el futuro, ya que el acceso de vehículos no es necesario.*

para buscar problemas de desarrollo. Se pueden prescribir tratamientos menores de corrección para uno o más lugares a lo largo de la trazada, pero la mayoría de las medidas estarán limitadas a aquellas que pueden ser realizadas manualmente. Los mismos pueden incluir plantaciones, tendidos, trabajos menores para prevenir la erosión de bancos o la estabilización de barrancos.

Idealmente, un camino cerrado no debería requerir un mantenimiento significativo. Por definición, los caminos que han sido cerrados formalmente (clausurados) ya no tienen rutas de acceso abiertas disponibles para que el equipamiento pesado llegue a los sitios y realice reparaciones de emergencia o trabajos de mantenimiento. Sólo si existieran problemas serios, tratables a lo largo de la trazada y si la ruta de viaje es fácilmente reconstruible, usualmente vale la pena reabrir el camino y aplicar los tratamientos correctivos. Esto sucede, pero los problemas son típicamente imprevistos cuando el camino está siendo cerrado.

Cuando se identifican problemas significativos en una inspección durante la estación húmeda, en general las reparaciones propuestas deben esperar hasta que llegue la estación seca, de modo que la operación de equipamiento pesado no dañe el camino cerrado y no impacte en la calidad del agua. Una vez que se realizaron las reparaciones, todos los sitios que fueron afectados o dañado tendrán entonces que ser reparados y re-tratados cuando los trabajos con equipamiento pesado regresen luego de realizar el trabajo. Será claramente ventajoso para usted realizar un trabajo minucioso en el que se identifiquen las necesidades de tratamientos en todo el camino para luego realizar su cierre de forma adecuada y absoluta en una sola vez. A pesar de todo, a veces puede estar justificada la reapertura de un camino cerrado para tratar uno o más sitios.

NOTAS:

Referencias

Bibliografía citada

Adams, P.W. y Storm, R., 2011, Oregon's Forest Protection Laws: An Illustrated Manual, Segunda edición, Instituto de Recursos Forestales de Oregon, Portland, OR, 196 p.
http://oregonforests.org/sites/default/files/publications/pdf/OR_For_Protect_Laws_2011.pdf

Bates, K., Barnard, B., Heiner, B., Klavas, J. P. y Powers, P. D., 2003, Design of Road Culverts for Fish Passage, Departamento de Peces y Vida Silvestre de Washington, Olympia, WA, 112 p.
http://wdfw.wa.gov/publications/00049/wdfw00049.pdf

BCMF (Ministerio Forestal de Columbia Británica), 1991, A Guide for Management of Landslide-Prone Terrain in the Pacific Northwest, Land Management Handbook No. 18, preparado por S.C. Chatwin, D.E. Howes, J.W. Schwab y D.N. Swanston para el Ministerio Forestal de Columbia Británica, Victoria, B.C., 212 p.

Best, T.C., 2013, Road and Trail Typical Design Specifications (borrador), documento no publicado, 18 p.

Brook, T., 2013, Subsurface Drainage System Outfalls, OMAF and MRA Factsheet, Order no. 13-035, Agdex no. 573, Ministerio de Agricultura y Alimentación de Ontario, Guelph, ON, 8 p.
http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/13-035.pdf

Cafferata, P., Spittler, T., Wopat, M., Bundros, G. y Flanagan, S., 2004, Designing Watercourse Crossings for Passage of 100-year Flood Flows, Wood, and Sediment, California Forestry Report No. 1, Departamento Forestal y de Protección contra Incendios de California, Sacramento, CA, 39 p.
http://www.calfire.ca.gov/resource_mgt/downloads/reports/ForestryReport1.pdf

Centro de Estudios de Caminos de Grava y Tierra, 2005, Crown and Cross-Slope, Boletín Informativo, Versión 1.0, Universidad Estatal de Pensilvania, Facultad del Estado, PA, 2 p.
http://www.dirtandgravel.psu.edu/resources/documents/crown_cs.pdf

Corley, C. J., Frasier, G. W., Trlica, M. J., Smith, F. M. y Taylor, E. M., 1999, Technical Note: Nitrogen and Phosphorus in Runoff from 2 Montane Riparian Communities, Journal of Range Management, vol. 52, p. 600–605.
https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/9462/9074

Departamento de Peces y Vida Silvestre de California, 1992, A Field Guide to Lake and Streambed Alteration Agreements, working draft Administrative Report 92-1, División de Servicios Ambientales, Departamento de Peces y Vida Silvestre de California, Sacramento, CA, 107 p.

Departamento de Recursos Naturales de Ohio, 1997, Gabion Revetments, Ohio Stream Management Guide No. 15, Departamento de Recursos Naturales de Ohio, División de Suelo y Agua, Columbus, OH, 4 p.
http://soilandwater.ohiodnr.gov/portals/soilwater/pdf/stream/stfs15.pdf

Departamento de Recursos Naturales de Ohio, 1997, Live Cribwalls, Ohio Stream Management Guide No. 17, Departamento de Recursos Naturales de Ohio, División de Suelo y Agua, Columbus, OH, 3 p.
http://soilandwater.ohiodnr.gov/portals/soilwater/pdf/stream/stfs17.pdf

Departamento de Servicios Ambientales, Gresham, OR, 2011, Erosion Prevention and Sediment Control Manual, Departamento de Servicios Ambientales, División de Cuenca Fluvial, Gresham, OR, 304 p.
www.greshamoregon.gov/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id

Departamento de Tierras de Idaho, 2014, Rolling Drain Dip, Forest Practices No. 11, State Forester Forum, Departamento de Tierras de Idaho, Boise, ID, 4 p.
http://www.idl.idaho.gov/forestry/forester-forums/fpa11.pdf

Departamento Forestal de Oregon, 2000, Forest Roads Manual, Departamento Forestal de Oregon, Programa de Bosques Estatales, Salem, OR, 207 p.
http://www.oregon.gov/odf/state_forests/docs/management/roads_manual/forestroadsmanualcombined.pdf

Departamento Forestal de Oregon, 2002, Fish Passage Guidelines for New and Replacement Stream Crossing Structures, Forest Practices Technical Note No. 4, versión 1.0., Departamento Forestal de Oregon, Salem, OR, 14 p.
http://www.oregon.gov/odf/privateforests/docs/fishpassguidelines.pdf

Departamento Forestal y de Protección contra Incendios de California, 2008, Boggs Mountain Demonstration State Forest Draft Management Plan, Departamento Forestal y de Protección contra Incendios de California, Agencia de Recursos, Sacramento, CA, 91 p.
http://calfire.ca.gov/resource_mgt/downloads/Boggs%20Mtn/Boggs_2008_DraftMgtPlan_HE_060408.pdf

Departamento Forestal y de Protección contra Incendios de California, 2013, Normas de Práctica Forestal de California 2013, Título 14, Código de Regulaciones de California, Capítulos 4, 4.5 y 10, Departamento Forestal y de Protección contra Incendios de California, Gestión de Recursos, Programa de Práctica Forestal, Sacramento, CA, 356 p.
http://calfire.ca.gov/resource_mgt/downloads/2013_FP_Rulebook_with_Tech_RuleNo1.pdf

Dillaha, T. A., Reneau, R. B., Mostaghimi, S. y Lee, D., 1989, Vegetative Filter Strips for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 32, p. 513–519.

DPW del Condado de San Diego, 2012, San Diego County Hydraulic Design Manual [Draft], Departamento de Obras Públicas del Condado de San Diego, División de Control de Crecidas, San Diego, CA, 236 p.
http://www.sdcounty.ca.gov/dpw/floodcontrol/floodcontrolpdf/hydraulic_design_manual_2012.pdf

Dunne, T. y Leopold, L.B., 1978, Water in Environmental Planning, W.H. Freeman and Company, San Francisco, CA, 818 p.

EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.), 2000, Recommended Practices Manual: A Guideline for Maintenance and Service of Unpaved Roads, Agencia de Protección Ambiental, Washington, DC, 59 p.
http://www.epa.gov/owow/nps/unpavedroads.html

Fay, L., Akin, M. y Shi, X., 2012, Cost-Effective and Sustainable Road Slope Stabilization and Erosion Control: A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 430, programa de investigación National Cooperative Highway, Junta de Investigación de Transporte, Washington, DC, 82 p.
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_430.pdf

FEMA (Agencia Federal para la Gestión de Emergencias), 2009, Private Water Crossings: Considerations Before You Build or Rebuild, FEMA P-778, Agencia Federal para la Gestión de Emergencias, Washington, DC, 19 p.
http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1724-25045-9448/fema_p_778_508compliant.pdf

FHWA (Administración Federal de Carreteras), 2010, Culvert Design for Aquatic Organism Passage, Publicación No. FHWA-HIF-11-008, U.S. Departamento de Transporte, Administración Federal de Carreteras, Oficina de Investigación y Desarrollo de Infraestructura,, McLean, VA, 234 p.
http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/11008/hif11008.pdf

Fischer, R.A., Martin, C.O. y Fischenich, J.C., 2000, Improving Buffer Strips and Corridors for Water Quality and Wildlife, Proceedings of the American Water Resources Conference, Conferencia Internacional sobre Ecología Ribereña y Gestión de Cuencas Fluviales de Uso Múltiple, Portland, OR, 7 p.
http://www.mtaudubon.org/issues/wetlands/documents/Science%20Series/Setbacks_FISCHER_improvingriparianbufferstrips%208-2000.pdf

Flanagan, S., 2004, Woody Debris Transport through Low-Order Stream Channels of Northwest California – Implications for Road-Stream Crossing Failure, M.S. Thesis Geology, Universidad Estatal de Humboldt, Arcata, CA, 114 p.
http://www.bof.fire.ca.gov/board_committees/monitoring_study_group/msg_supported_reports/2004_supported_reports/flanaganthesisfinal2004.pdf

Furniss, M.J., 1986, The Six-D System for Effective Waterbars, Servicio Forestal de la USDA, Bosque Nacional Six Rivers, Eureka, CA, 2 p.
http://www.watershed.org/?q=node/68

Furniss, M.J., Ledwith, T.S., Love, M.A., McFadin, B.C. y Flanagan, S.A., 1998, Response of Road-Stream Crossings to Large Flood Events in Washington, Oregon and Northern California, 9877 1806-SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Programa de Tecnología y Desarrollo, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA, 14 p.
http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/html/wr_p/98771807/98771807.htm

Furniss, M.J., Roelofs, T.D. y Yee, C.S.,1991, Road Construction and Maintenance, Capítulo 8, En: Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fisheries and their Habitats, Sociedad Estadounidense de Pesca, Publicación Especial no. 19, p. 297–323.
http://ucanr.edu/sites/forestry/files/138033.pdf

Holanda, F.S.R. y Pinheiro da Rocha, 2011, Streambank Soil Bioengineering Approach to Erosion Control, En: Progress in Molecular and Environmental Engineering—From Analysis and Modeling to Technology Applications, Capri, A. (ed.), InTech, Rijeka, Croacia, p. 553–576.
http://www.intechopen.com/books/progress-in-molecular-and-environmental-bioengineering-from-analysis-and-modeling-to-technology-applications/streambank-soil-bioengineering-approach-to-erosion-control

Hotchkiss, R.H. y Frei, C.M., 2007, Design for Fish Passage at Roadway-Stream Crossings: Synthesis Report, Technical Report FHWA-HF-07-033, Administración Federal Federal de Carreteras, McLean, VA, 280 p.
http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/07033/07033.pdf

Johannessen, B., 2008, Building Rural Roads, Organización Internacional del Trabajo, Oficina Regional para Asia y el Pacífico, 466 p.
http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---asia/---ro-bangkok/documents/genericdocument/wcms_103551.pdf

Johansen, D.K., Copstead, R. y Moll, J.M., 2002, Relief Culverts, Water/Road Interaction Technology Series, 9777 1812P, Servicio Forestal de la USDA, 2002, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA, 9 p.
http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/html/wr_p/97771812/97771812.htm

Johnson, A.W. y Stypula, J.M., eds., 1993, Appendix C: Methods for Riprap Design, En: Guidelines for Bank Stabilization Projects in the Riverine Environments of King County, Departamento de Obras Públicas del Condado de King, División de Gestión de Aguas Superficiales, Seattle, WA, 11 p.
http://your.kingcounty.gov/dnrp/library/archive-documents/wlr/biostabl/PDF/9305BnkStbApC.pdf

Junta Local de Investigación de Caminos de Minnesota, 2008, Erosion Control Handbook for Local Roads, Manual Number 2003-08, Minnesota LTAP, Departamento de Transporte de Minnesota y Administración Federal de Carreteras, 122 p.
http://www.cts.umn.edu/Publications/ResearchReports/reportdetail.html?id=1600

Kay, B.L. y Slayback, R.D., 1986, California Interagency Seeding Guide for Erosion Control Plantings, Asociación de California de Distritos de Conservación de Recursos, 8 p.

Keller, G. y Sherar, J. 2003, Low-Volume Roads Engineering – Best Management Practices Field Guide, Oficina de Programas Internacionales y Agencia para el Desarrollo Internacional de EE.UU., Servicio Forestal de la USDA, Washington, DC, 158 p.
http://www.fs.fed.us/global/topic/sfm/low_resolution_roads_bmp_guide.pdf

Keller, G., Wilson-Musser, S., Bolander, P. y Barandino, Jr., V., 2011, Stabilization and Rehabilitation Measures for Low-Volume Forest Roads, Servicio Forestal de la USDA, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA, 333 p.
http://www.fs.fed.us/t-d/php/library_card.php?p_num=1177%201801P

Kramer, B.W., 2001, Forest Road Contracting, Construction, and Maintenance for Small Forest Woodland Owners, Universidad Estatal de Oregon, Facultad de Silvicultura, Laboratorio de Investigación Forestal, Corvallis, OR, 79 p.
http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/7872/RC35.pdf?sequence=1

Kuichling, E., 1889, The Relation Between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts, Transactions, Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles, vol. 20, p. 1–56.

Lagasse, P.F., Clopper, P.E., Zevenbergen, L.W. y Ruff, J.F., 2006, Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control, NCHRP Report 568, programa de investigación National Cooperative Highway, Junta de Investigación de Transporte, Washington, DC, 226 p.
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_568.pdf

Logan, R., 2001, Appendix F: Water Quality BMPs for Montana Forests, Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Montana, Missoula, MT, 62 p.
http://www.blm.gov/pgdata/etc/medialib/blm/mt/field_offices/lewistown/judith_moccasin.Par.63735.File.dat/waterbmps.pdf

Love, M. y Bates, K., 2009, Chapter XII: Fish Passage Design and Implementation, en California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual, Tercera Edición, División de Pesquerías Interiores, Departamento de Peces y Vida silvestre de California, Sacramento, CA, 189 p.
http://www.dfg.ca.gov/fish/resources/habitatmanual.asp

Lynch, J. A., Corbett, E. S. y Mussallem, K., 1985, Best Management Practices for Controlling Nonpoint-Source Pollution on Forested Watersheds, Journal of Soil and Water Conservation, vol. 40, p. 164–167.

MDSL (Departamento de Tierras Estatales de Montana), 1991, Montana forestry BMP's - Forest stewardship guidelines for water quality, preparado por Logan, B. y B. Clinch, Missoula, MT, 33 p.

Nichols, D. J., Daniel, T. C., Edwards, D. R., Moore, P. A. y Pote, D. H., 1998, Use of Grass Filter Strips to Reduce 17 -estradiol in Runoff from Fescue-Applied Poultry Litter, Journal of Soil and Water Conservation, vol. 53, p. 74–77.

NMFS (Servicio Nacional de Pesquerías Marinas), 2001, Guidelines for Salmonid Passage at Stream Crossings, Servicio Nacional de Pesquerías Marinas, Región Sudoeste, Santa Rosa, CA, 14 p.
http://swr.nmfs.noaa.gov/hcd/NMFSSCG.PDF

Oficina de Recuperación de Suelos Erosionados por Minería de California, 2012, Disposiciones de la Ley de Rehabilitación y Minería Superficial de California (SMARA), Código de Regulaciones de California, Título 14, División 2, Capítulo 8, Sección 1, Oficina de Recuperación de Suelos Erosionados por Minería de California, Sacramento, CA, 72 p.
http://www.conservation.ca.gov/omr/lawsandregulations/Pages/SMARA.aspx

Polster, D.F., 1997, Restoration of Landslide and Unstable Slopes: Considerations for Bioengineering in Interior Locations, En: Proceedings of the 21st Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium, 1997 Sept 22–25, Cranbrook, BC. Victoria, Comité de Investigación Técnica sobre Recuperación de Columbia Británica, p. 153–166.
http://www.trcr.bc.ca/wp-content/uploads/2011/11/1998-polster.pdf

Servicio Forestal de la USDA, 1963, The "How" of Effecting Erosion Prevention (and Control) in Timber Management Practices, FSH 9/78 R-5 AMEND 2, Shasta-Trinity National Forests, Redding, CA, 18 páginas.

Servicio Forestal de la USDA, 1978, Permanent Logging Roads for Better Woodlot Management, publicación número NA-FR-18, preparada por R.F. Haussman y E.W. Pruett, Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Servicio Forestal, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas.

Servicio Forestal del Estado de Colorado, 2011, Colorado Forest Road Field Handbook, Servicio Forestal del Estado de Colorado, Fort Collins, CO, 146 p.
http://csfs.colostate.edu/pdfs/csfs-frst-rd-hndbk-www.pdf

Shisler, J. K., Jordan, R. A. y Wargo, R. N., 1987, Coastal Wetland Buffer Delineation, Departamento de Protección Ambiental de Nueva Jersey, División de Recursos Costeros, Trenton, NJ, 126 p.
https://rucore.libraries.rutgers.edu/rutgers-lib/31273/

Skaugset, A.E. y Pyles, M.R., 1991, Peak Flow Estimation and Streamflow Estimation for Small Forested Watershed, informe no publicado preparado para un taller titulado "Design and Maintenance of Forest Road Drainage," 18-20 Noviembre de 1991, Universidad Estatal de Oregon, Corvallis, OR, 19 p.
http://www.fsl.orst.edu/rna/Documents/publications/Peak%20flow%20estimation%20and%20streamflow%20simulation%20for%20small%20forested%20watersheds.pdf

Steinfeld, D.E., Riley, S.A., Wilkinson, K.M., Landis, T.D. y Riley, L.E., 2007, Roadside Revegetation: An Integrated Approach to Establishing Native Plants, FHWA-WFL/TD-07-005, Administración Federal de Carreteras, Vancouver, WA, 425 p.
http://www.wfl.fhwa.dot.gov/programs/td/publications/documents/reveg-documents/roadside-revegetation-manual.pdf

Stream-Simulation Group, Forest Service, 2008, Stream Simulation: An Ecological Approach to Providing Passage for Aquatic Organisms at Road-Stream Crossings, 0877 1801P, Departamento de Agricultura de EE.UU., Servicio Forestal, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA.
http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/StreamSimulation/

Taylor, R.N. y Love, M., 2003, Capítulo IX: Fish passage evaluation at stream crossings, en California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual, Tercera Edición, División de Pesquerías Interiores, Departamento de Peces y Vida Silvestre de California, Sacramento, CA, 100 p. http://www.dfg.ca.gov/fish/resources/habitatmanual.asp

Thornton, C.I., Robeson, M.D., Girard, L.G. y Smith, B.A., 2005, Culvert Pipe Liner Guide and Specifications, FHWA-CFL/TD-05-003, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, División de Carreteras de las Tierras Federales Centrales, Lakewood, CO, 169 p. http://www.cflhd.gov/programs/techDevelopment/hydraulics/culvert-pipe-liner/documents/culvert-pipe-liner-guide-july2005.pdf

USDA - SCS/USFS, 1981, Building Water Pollution Control into Small Private Forest and Ranchland Roads, R6-S&PF-006-1980, preparado conjuntamente por el Departamento de Agricultura, Servicio de Conservación del Suelo y Servicio Forestal, Washington, DC, 170 p.

USDA -NRCS, 2007, Streambank Armor Protection with Stone Structures, Technical Supplement 14K, Part 654, National Engineering Handbook, Servicio de Conservación de Recursos Naturales de la USDA, Washington, DC, 22 p. http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17821.wba

USDA -SCS, 1983, Guide to Building Small Roads: Planning, Constructing, and Maintaining Ranch, Farm, and Homesite Access Roads, preparado por R.A. Dellberg para el Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino, Davis, CA, 73 p.

USDI Oficina de Gestión de Tierras, 2007, Surface Operating Standards and Guidelines for Oil and Gas Exploration and Development (conocido como "The Gold Book"), Cuarta Edición Rev., Oficina de Gestión de Tierras, Washington, DC, 88 p. http://www.blm.gov/pgdata/etc/medialib/blm/wo/MINERALS__REALTY__AND_RESOURCE_PROTECTION_/energy/oil_and_gas.Par.18714.File.dat/OILgas.pdf

USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), 2012, Methods for Determining Magnitude and Frequency of Floods in California, Based on Data Through Water Year 2006, US Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5113, 38 p. http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5113/

WDNR (Departamento de Recursos Naturales del Estado de Washington), 1982, Handbook for Forest Roads, DOE Report #82-5, División de Silvicultura Privada y Recreación Olympia, WA, 79 p.

WDNR (Departamento de Recursos Naturales del Estado de Washington), 2011, Sección 3: Guidelines for Forest Roads, en: Forest Practices Board Manual, Consejo de Prácticas Forestales, Olympia, WA, 36 p. http://www.dnr.wa.gov/BusinessPermits/Topics/ForestPracticesRules/Pages/fp_board_manual.aspx

WDOT (Departamento de Transporte del Estado de Washington), 2010, Manual de hidráulica, Programas Ambientales y de Ingeniería, Oficina de Hidráulica, Olympia, Washington, 378 p. http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/m23-03.htm

Weaver, W.E., Hagans, D.K. y Weppner, E., 2006, Parte X: Upslope erosion inventory and sediment control guidance, en Flosi, G., Downie, S., y otros, eds., California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual, tercera edición, Departamento de Pesca y Caza de California, Sacramento, CA, 207 p. http://www.dfg.ca.gov/fish/resources/habitatmanual.asp

Wiest, R.L., 1998, A Landowner's Guide to Building Forest Access Roads, Technical Publication NA-TP-06-98, Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Silvicultura Estatal y Privada del Área Noreste, Radnor, PA. http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/stewardship/accessroads/accessroads.htm

Wisconsin Transportation Information Center, 2004, Culverts – Proper Use and Installation, Boletín de Transporte de Wisconsin No. 15, Centro de Información de Transporte de Wisconsin, Madison, WI, 12 p.
http://epdfiles.engr.wisc.edu/pdf_web_files/tic/bulletins/Bltn_015_Culverts.pdf

Woodard, S. E. y Rock, C. A., 1995. Control of Residential Stormwater by Natural Buffer Strips, Lake and Reservoir Management, vol. 11, p. 37–45.

Young, R. A., Huntrods, T. y Anderson, W., 1980, Effectiveness of Vegetated Buffer Strips in Controlling Pollution from Feedlot Runoff, Journal of Environmental Quality, vol. 9, p. 438-497.
http://www.pcwp.tamu.edu/docs/lshs/end-notes/effectiveness%20of%20vegetated%20buffer%20strips%20in%20controlling-1279439115/effectiveness%20of%20vegetated%20buffer%20strips%20in%20controlling%20pollution%20from%20feedlot%20runoff.pdf

Referencias adicionales y material de lectura sugerido

BIOINGENIERÍA

Lewis, L., 2000, Soil Bioengineering- An Alternative for Roadside Management, A Practical Guide, Technology & Development Program No. 0077-1801-SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Centro Tecnológico y de Tecnología San Dimas, San Dimas, CA, 47 p.
http://www.wsdot.wa.gov/publications/fulltext/Roadside/SoilBioEng.pdf

USDA-SCS, 1992, Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, en: Engineering Field Handbook, Capítulo 18, Rep. No. EFH-650-18, Servicio de Conservación del Suelo de la USDA, Washington, DC, 62 p.
ftp://ftp-nhq.sc.egov.usda.gov/NHQ/pub/outgoing/jbernard/CED-Directives/efh/EFH-Ch18.pdf

CONTROL DE EROSIÓN

Bolander, P. y Yamada, A., 1999, Dust Palliative Selection and Application Guide, Technology & Development Program No. 9977 1207—SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Programa de Tecnología y Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA, 19 p.
http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/99771207.pdf

Kestler, M., 2009, Stabilization Selection Guide for Aggregate and Native-Surfaced Low-Volume Roads, Gen. Tech. Rep. 0877 1805-SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Centro Tecnológico y de Tecnología San Dimas, San Dimas, CA, 156 p.
http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/08771805.pdf

Rivas, T., 2006, Erosion Control Treatment Selection Guide, Gen. Tech Rep. 0677 1203 – SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Centro Tecnológico y de Tecnología San Dimas, San Dimas, CA, 64 p.
http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/hi_res/06771203hi.pdf

PASO DE PECES

Furniss, M., Love, M., Firor, S., Moynan, K., Llanos, A., Guntle, J. y Gubernick, R., 2000, Water/Road Interaction Toolkit- FishXing: CD Software and Interactive Learning for Fish Passage through Culverts, Water/Road Interaction Technology Series-SDTDC, Servicio Forestal de la USDA. Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA.
http://www.stream.fs.fed.us/fishxing

Gubernick, R.A., Cenderelli, D.A., Bates, K.K., Johansen, D.K. y Jackson, S.D., 2008, Stream Simulation: An Ecological Approach to Providing Passage for Aquatic Organisms at Road-Stream Crossings. Gen. Tech Rep. 0877 1801- SDTDC, Centro Tecnológico y de Tecnología San Dimas, Servicio Forestal de la USDA, San Dimas, CA, 659 p.
http://www.stream.fs.fed.us/fishxing/aop_pdfs.html

Gucinski, H., Furniss, M.J., Ziemer, R.R. y Brookes, M.H., 2001, Direct Physical and Ecological Effects, In: Forest Roads: A Synthesis of Scientific Information, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-509, Estación de Investigación del Noroeste del Pacífico, Servicio Forestal de la USDA, Portland, OR, p. 12–24.
http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/gtr509.pdf

Kilgore, R., Bergendahl, B. y Hotchkiss, R., 2010, Culvert Design for Aquatic Organism Passage, Hydraulic Engineering Circular (HEC) 26, FHWA-HIF-11-008-HEC-26, División de Tierras Federales Centrales, Administración Federal de Carreteras, Lakewood, CO, 234 p.
http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/11008/hif11008.pdf

GEOTEXTILES

Holtz, R., Christopher, B. y Berg, R., 2008, Geosynthetic Design and Construction Guidelines – Reference Manual, FHWA-NHI-07-092, Instituto Nacional de Carreteras y Administración Federal de Carreteras, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Washington, DC, 592 p.
http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=1

MANUALES Y GUÍAS GENERALES

ARRB Transport Research, 2009, Unsealed Roads Manual: Guidelines to Good Practice, Tercera Edición, Giummarra, G., ed., Junta de Investigación de Caminos de Australia (ARRB Group Ltd.), Vermont Sur, Victoria, Australia.
http://www.arrb.com.au/Information-services/Publications/Reports-Manuals.aspx

BCMF (Ministerio Forestal de Columbia Británica), 2001, Best Management Practices Handbook: Hillslope Restoration in British Columbia, Res. Ten. & Eng. Br., Programa de Recuperación de la Cuenca Fluvial, Ministerio Forestal de Columbia Británica, Victoria, B.C., 204 p.
http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/mr/Mr096.htm

BCMF (Ministerio Forestal de Columbia Británica), 2002, Forest Road Engineering Guidebook, Forest Practices Code of British Columbia, Ministerio Forestal de Columbia Británica, Victoria, B.C., 208 p.
http://www.for.gov.bc.ca/tasb/legsregs/fpc/fpcguide/road/fre.pdf

Male, P., 2014, The Basics of a Good Road, CLRP Report No. 08-06, Programa Local de Caminos de la Universidad Cornell, Ithaca, NY, 96 p.
http://www.clrp.cornell.edu/workshops/manuals/basics_of_a_good_road.pdf

Moll, J.E., 1996, A Guide for Road Closure and Obliteration in the Forest Service, Programa de Tecnología y Desarrollo San Dimas. Pub. No. 7700, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, Servicio Forestal de la USDA, San Dimas, CA, 49 p.
http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdfimage/96771205.pdf

Weaver, W. y Hagans, D., 1994, Handbook for Forest and Ranch Roads: A Guide for Planning, Designing, Constructing, Reconstructing, Maintaining, and Closing Wildland Roads, Distrito de Conservación de Recursos del Condado de Mendocino, Ukiah, CA, 161 p.
http://mcrcd.org/wp-content/uploads/HandbookforForestandRanchRoads.pdf

Zeedyk, B., 2006, A Good Road Lies Easy on the Land…Water Harvesting from Low-Standard Rural Roads, The Quivira Coalition, Zeedyk Ecological Consulting, LLC, The Rio Puerco Management Committee – Watershed Initiative, and the New Mexico Environment Department – Surface Water Quality Bureau, 47 p.
http://quiviracoalition.org/images/pdfs/1888-A_Good_Road_Lies_Easy_on_the_Land.pdf

MANTENIMIENTO

Gesford, A.L. y Anderson, J.A., 2007, Environmentally Sensitive Maintenance for Dirt and Gravel Roads, Versión 1.1, Departamento de Transporte de Pensilvania, Harrisburg, PA, 332 p.
http://water.epa.gov/polwaste/nps/upload/cover.pdf

Skorseth, K. y Selim, A., 2000, Gravel Roads Maintenance and Design Manual, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Administración Federal de Carreteras y Programa de Asistencia de Transporte Local de Dakota del Sur (LTAP), 12 p.
http://water.epa.gov/polwaste/nps/gravelroads_index.cfm

REVEGETACIÓN

Armstrong, A., 2007, A Manager's Guide to Roadside Revegetation Using Native Plants, FHA Report FHWA-WFL/TD-07-006, Vancouver, WA, 28 p.
http://www.wfl.fhwa.dot.gov/programs/td/publications/documents/managers-guide.pdf

Armstrong, A., Roberts, T.C. y Christens, R., 2011, Current and Innovative Solutions to Roadside Revegetation Using Native Plants, A domestic scan report, FHA Report FHWA-WFL/TD-11-001, Vancouver, WA, 72 p.
http://www.wfl.fhwa.dot.gov/programs/td/publications/documents/reveg-solutions.pdf

DRENAJE DEL CAMINO

Copstead, R., Johansen, K. y Moll, J., 1998, Water/Road Interaction: Introduction to Surface Cross Drains, Water/Road Interaction Technology Series. Res. Rep. 9877 1806 – SDTDC, U.S. Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Programa de Tecnología y Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA, 16 p.
http://www.stream.fs.fed.us/water-road/w-r-pdf/crossdrains.pdf

CRUCES DE ARROYOS

Clarkin, K., Keller, G., Warhol, T. y Hixson, S., 2006, Low-Water Crossings: Geomorphic, Biological and Engineering Design Considerations, 0625 1808P - SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas, San Dimas, CA, 366 p.
http://www.fs.fed.us/eng/pubs/pdf/LowWaterCrossings/index.shtml

Flanagan, S.A., Furniss, M.J., Ledwith, T.S., Thiesen, S., Love, M., Moore, K. y Ory, J., 1998, Methods for Inventory and Environmental Risk Assessment of Road Drainage Crossings, Water/Road Interaction Technology Series 9877-1809-SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Programa de Tecnología y Desarrollo, San Dimas, CA, 56 p.
http://www.stream.fs.fed.us/water-road/w-r-pdf/handbook.pdf

Furniss, M.J., Love, M.A. y Flanagan, S.A., 1997, Diversion potential at road-stream crossings, Water/Road Interaction Technology Series 9777-1814-SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Programa de Tecnología y Desarrollo, San Dimas, CA, 12 p.
http://www.stream.fs.fed.us/water-road/w-r-pdf/diversionpntl.pdf

BIBLIOGRAFÍA GENERAL SOBRE CAMINOS

Copstead, R.J., Moore, K., Ledwith, T. y Furniss, M.J., 1998, Water/Road Interaction: An Annotated Bibliography, Water/Road Interaction Technology Series, 9777-1816 SDTDC, Servicio Forestal de la USDA, Programa de Tecnología y Desarrollo, San Dimas, CA, 158 p. http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdf/w-r/97771816.pdf

Faiz, A., 2012, The Promise of Rural Roads: Review of the Role of Low-Volume Roads in Rural Connectivity, Poverty Reduction, Crisis Management, and Livability, Transportation Research Circular No. E-C167, Junta de Investigación de Transporte de las Academias Nacionales, Washington, DC, 52 p. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec167.pdf

Furniss, M.J., Flanagan, S. y McFadin, B., 2000, Hydrologically-Connected Roads: An Indicator of the Influence of Roads on Chronic Sedimentation, Surface Water Hydrology, and Exposure to Toxic Chemicals, edición de julio de 2000 de Stream Notes, Centro de Tecnología de Sistemas de Arroyos, Servicio Forestal de la USDA, 4 p. http://www.stream.fs.fed.us/streamnt/jul00/jul00_2.htm

Heede, B., 1976, Gully Development and Control: The Status of Our Knowledge, Research Paper RM-169, Servicio Forestal de la USDA, Estación Experimental Forestal de la Cadena de Montañas Rocallosas, Fort Collins, CO, 42 p.

Madej, M.A., 2001, Erosion and Sediment Delivery Following Removal of Forest Roads, Earth Surface Processes and Landforms, vol. 26 (2), p. 175-190. http://www.krisweb.com/biblio/redwood_usgs_madej_2001_erosionandsediment.pdf

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A PRUEBA DE EROSIÓN – El acto de realizar actividades de control y prevención de la erosión que protegerán un camino, inclusive sus estructuras de drenaje y rellenos, contra la erosión durante tormentas y crecidas importantes.

ABANDONO DE CAMINO – El abandono de camino una vez era sinónimo de bloquear camino y dejarlo cubrirse de vegetación. En la actualidad, el abandono adecuado del camino involucra una serie de medidas y actividades proactivas que básicamente clausuran el camino para que no se necesite más mantenimiento y no ocurra erosión considerable. El abandono de camino es un término utilizado a veces en la silvicultura de California que es comparable a la clausura del camino *(Consulte clausura del camino)*.

ABRASIÓN – El desgaste de un material mediante procesos físicos. Aquí la abrasión se relaciona con el desgaste de partículas de roca utilizadas en el recubrimiento de caminos y enrocamiento de protección (abrasión de partículas) así como también la erosión de materiales de alcantarillas provocada por el transporte de sedimento en el agua que fluye (abrasión de alcantarilla).

ADAPTACIÓN PARA EL INVIERNO – Realizar obras de prevención de la erosión y control de la erosión en un camino en preparación para lluvias y flujos de crecida invernales. Las actividades de adaptación para el invierno incluyen colocación de camellones, limpieza de cunetas, limpieza de alcantarillas, remoción de bermas, dar nueva forma al camino, recubrimiento, etc.

AGUA DEL SUELO – Agua en el suelo, inclusive agua subterránea y agua en la zona no saturada sobre la capa freática.

AGUA SUBTERRÁNEA – El cuerpo de agua que está debajo de la superficie del terreno, y consiste en gran parte de agua superficial que se ha filtrado en la tierra.

ALCANTARILLA – Un drenaje transversal, usualmente un tubo de metal, plástico o concreto, colocado debajo de la superficie del camino que drena agua desde el interior del camino hacia el exterior del camino. Al alcantarillas vienen en muchas formas y se utilizan para drenar cunetas, manantiales y arroyos a través del trazado del camino.

ALCANTARILLA DE ALIVIO DE CUNETA – Una estructura o instalación de drenaje (usualmente un tubo de alcantarilla) que mueve agua de una cuneta de camino interna a un área externa, más allá del borde exterior del relleno del camino

ALCANTARILLA DE DESBORDAMIENTO DE EMERGENCIA – Una alcantarilla secundaria, instalada más alto en el relleno que la alcantarilla primaria, diseñada para transmitir el flujo del arroyo a través del relleno del cruce de arroyo si la alcantarilla principal se tapona o si se supera su capacidad durante un evento de crecida. Están diseñadas para reducir el riesgo de desbordamiento y falla. Las alcantarillas de desbordamiento de emergencia se instalan en cruces de arroyo donde la alcantarilla principal es propensa a taponamiento, tiene un tamaño muy reducido y no se puede sustituir, o donde el relleno es muy profundo o muy grande y la falla provocaría un grave daño ecológico o problemas de seguridad aguas abajo. Las alcantarillas de desbordamiento de emergencia a veces se instalan en vez de un vado crítico o relleno hondonado donde esos tratamientos no son factibles.

ALCANTARILLA EN CAJÓN (ALCANTARILLA ABIERTA) – Una estructura de drenaje tipo abrevadero sin parte superior, usualmente construida de madera o hierro, metida en y colocada oblicuamente a través de la superficie del camino. Actúa para recolectar y descargar la escorrentía de la superficie del camino y, con menor frecuencia, el flujo de la cuneta a través del camino. Las alcantarillas en cajón abiertas se utilizan más comúnmente en caminos rurales que en caminos forestales utilizados para operaciones madereras.

ALCANTARILLA INCRUSTADA – Una alcantarilla incrustada es una que se ha incrustado o hundido parcialmente en el lecho de un canal de arroyo. Profundidad de incrustación" es la profundidad en que está incrustada la alcantarilla desde el invertido del cilindro de la alcantarilla hasta la parte superior del material de incrustación. Usualmente se expresa como el porcentaje del diámetro de la alcantarilla que está incrustado (por ejemplo, 30% incrustado).

ALMACENAMIENTO DEL CAMINO – Un camino "en almacenamiento" es una clasificación de mantenimiento donde un camino puede cerrarse al uso durante un largo período de tiempo con la expectativa de que se vuelva a utilizar en el futuro. Generalmente se realiza un nivel mínimo de prevención de erosión para reducir el impacto potencial de falla

del camino, pero muchas fuentes potenciales de sedimento pueden permanecer sin tratar. Por ejemplo, los cruces de arroyo pueden sumergirse pero generalmente quedan en su sitio *(Consulte cierre del camino, clausura del camino).*

ALTÍMETRO – Un instrumento manual utilizado para medir la elevación o la altitud en el campo.

ANCHO DEL CAUCE – El ancho del arroyo medido en la etapa de cauce lleno y descarga. La descarga de cauce lleno tiene una recurrencia de 1 a 2 años (media 1,5 años) y se considera el flujo dominante que forma el canal. Generalmente se identifica como el punto de inundación incipiente en el suelo como el límite superior de procesos y socavación del canal activo, y el límite más bajo de vegetación perenne.

ÁNGULO DE REPOSO – El ángulo de talud más inclinado en el cual un material se fija libremente sin caerse ni deslizarse cuesta abajo.. El ángulo de reposo del material sin cohesión, como la arena floja, es de aproximadamente 33 grados. Para material con cierta cohesión, el término comparable se llama ángulo de fricción interna. Es probable que los taludes que son más empinados que el ángulo de reposo o el ángulo de fricción interna sean inestables.

ARCO DE PLANCHA – *Consulte arco sin fondo.*

ARCO SIN FONDO (ARCO DE PLANCHA, "ALCANTARILLA" SIN FONDO) – Estructuras de tres lados que tienen costados y parte superior y usan el canal natural para el fondo, a menudo compuestas de placas de metal o concreto. Varían de tamaño de unos pocos pies a más de 35 pies de ancho y están soportadas sobre soportes (generalmente de concreto). Los arcos sin fondo están disponibles en una variedad de formas que incluyen arcos semicirculares, arcos elípticos y cajones. Se instalan en segmentos estables del canal donde el lecho del cauce no se espera que muestre socavación importante. Los arcos sin fondo son una alternativa ambientalmente atractiva a los diseños de alcantarilla en cajón, tubo, y arco de tubo y comúnmente se utilizan donde se requiere el paso de peces.

ÁREA HÚMEDA – Un área definida por suelos húmedos, mal drenados que generalmente son causados por manantiales y filtraciones emergentes y soportan vegetación acuática, pastos y árboles como su cubierta vegetativa principal.

ÁREAS INESTABLES – Áreas caracterizadas por características de movimiento masivo o suelos inestables, o por alguna o todas de las siguientes: topografía de megabrechas que consiste en terreno ondulante irregular, bancos frecuentes y depresiones; drenajes superficiales irregulares cortos que comienzan y terminan en el talud; rajaduras de tensión visibles y escarpes de testeros; taludes irregulares que pueden ser levemente cóncavos en la parte superior y convexos en la mitad inferior como resultado de fallo previo dele talud; evidencia de movimiento de agua subterránea impedido que da como resultado zonas locales de saturación que incluyen estanques hundidos con agua estancada, manantiales o parches de tierra húmeda; vegetación hidrofílica (sitio húmedo); árboles inclinados, hechos paja o quebrados; árboles con tope de pistola con barrido excesivo en áreas de topografía irregular.

ARROYO INTERMITENTE – Cualquier drenaje de flujo no permanente que tenga un canal definible y evidencia de socavación o deposición. Los arroyos intermitentes fluyen en respuesta a las precipitaciones, y luego por cierto período tras el cese de las mismas (alimentados por descarga de agua subterránea).

ARROYO PERENNE – Un arroyo que típicamente tiene agua corriente todo el año.

ARROYOS FUGACES – Arroyos que contienen agua corriente solo esporádicamente, como por ejemplo durante e inmediatamente después de eventos pluviales.

ASPECTO – La dirección que enfrenta un talud con respecto a los puntos cardinales de la brújula.

BACKCASTING – Una técnica de construcción de caminos que utiliza una excavadora hidráulica para cortar un banco ancho en frente de la máquina y debajo de la línea central del nuevo camino, mientras coloca la tierra excavada sobre le banco detrás como la nueva subrasante.

BAJADA ANCLADA – Un tubo, ducto o abrevadero adjuntado (atornillado) a una salida de alcantarilla y utilizado para llevar agua de la salida de la alcantarilla sobre y más allá del relleno del camino para prevenir la erosión. Las bajadas ancladas en una alcantarilla de cruce de arroyo deben ser un tubo redondo completo que se adjunta a la alcantarilla donde sobresale del relleno utilizando un codo. En taludes empinados, puede que las bajadas ancladas deban anclarse al terraplén. Las alcantarillas que se colocan y descargan en

la base del relleno del camino descargan directamente en el canal natural o la ladera y usualmente no requieren una bajada anclada.

BAJÍO – Una depresión lineal tipo canal o punto bajo en una ladera que rara vez transporta escorrentía durante eventos de precipitación extrema. Puede que algunos bajíos ya no transporten escorrentía superficial bajo las condiciones climáticas actuales *(Consulte bajío de cabecera).*

BAJÍO DE CABECERA – El bajío o vado en la topografía natural que está cuesta arriba de un arroyo, en su cabecera. Puede o no haber evidencia alguna de flujo superficial de agua en el bajío de cabecera.

BANCO – Un banco natural se refiere a una porción de una ladera relativamente plana o de bajo gradiente. Un banco construido es un escalón o área plana cortada en un suelo profundo o basamento rocoso en un intento de crear un relleno suprayacente y una calzada más estables.

BANCO DE ROCAS – Una saliente grande de basamento rocoso que se ha desarrollado para usos agregados, como por ejemplo material de recubrimiento y/o coraza de roca más grande. Un banco de rocas es una excavación de la cual se extraen diversos materiales para utilizar en otro lugar *(Consulte sitio de préstamo).*

BANCO PARCIAL – Un camino en banco parcial es uno en el cual la calzada es parte banco y parte relleno, en algún lugar entre un camino de banco completo y de relleno completo *(Consulte corte y relleno).*

BARDAS (FAJINA, FAJINA VIVA, BARDAS DE PAJA) – Fardos largos de arbustos o cortes de ramas, unidos en estructuras con forma de salchicha que se entierran parcialmente y se aseguran con estacas en el contorno a lo largo de un talud, preferentemente para que broten, y formar una trampa de sedimento o separe el flujo sobre el talud. Si los materiales están compuestos de especies que brotan, se llaman fajina viva. Las bardas hechas de paja metida en redes de plástico con forma de tubo se llaman bardas de paja.

BARRANCO (EN BARRANCO) – Un canal de erosión formado por escorrentía de superficie concentrada que es generalmente más grande de 1 pie2 en el área transversal (1' de profundidad por 1' de ancho). A menudo los barrancos se forman donde la escorrentía de la superficie del camino o la cuneta se dirige a taludes desprotegidos, o donde un arroyo ha sido desviado en una cuneta o sobre un talud desprotegido.

BARRERA (BARRERA DE PASO DE PECES) – *Consulte paso de peces.*

BERMA – Un cordón o dique (generalmente de tierra) construido para controlar el agua y evitar que las aguas de escorrentía del camino se descarguen en taludes laterales y/o brinden material para el mantenimiento subsiguiente del camino. Algunas bermas se construyen sin intención como parte de las operaciones de recubrimiento de rutina y, según la forma del camino, pueden o no interferir con el drenaje de la superficie del camino.

BOCA DE ALCANTARILLA MEJORADA (DE BORDE BISELADO, CÓNICAS LATERALES Y CÓNICAS EN PENDIENTE) – Comparadas con una alcantarilla proyectada con bordes rectos, una alcantarilla mejorada aumenta la capacidad de flujo. Las alcantarillas mejoradas incluyen un borde de boca biselado o redondo (5 a 20% de aumento del flujo), una boca cónica lateral (25-40% de aumento del flujo), o una boca cónica en pendiente (hasta 100% de aumento de flujo). El borde de la boca provoca contracciones del flujo en la boca de la alcantarilla. Un borde de boca biselado disminuye la contracción del flujo en la entrada, por ende aumentando la capacidad de flujo. Una boca cónica lateral tiene un área de lado agrandado dentro de la boca de la alcantarilla logrado al darle forma de embudo a las paredes laterales. La boca cónica en pendiente combina una sección de cuello eficiente con encabezado adicional a medida que el flujo cae en el cuello *(Consulte entrada acampanada).*

BOCA DE CAÍDA – Un tubo ascendente vertical sobre una entrada de alcantarilla, usualmente del mismo diámetro que la alcantarilla, y a menudo ranurado utilizado para permitir pasar el agua mientras se deposita sedimento en una cuenca de alrededor. Las bocas de caída a menudo se utilizan en alcantarillas de alivio de cunetas donde el desmoronamiento del corte marginal taponaría la entrada de una alcantarilla horizontal. Las bocas de caída a veces se equipan con una tapa o parte superior para protegerlas del desmoronamiento del corte marginal, y son ranuradas o cortan al nivel de la cuneta para permitir que el flujo entre desde la cuneta *(Consulte elevador, toma elevada).*

CAÍDA RECTA (CAMINOS EN CAÍDA RECTA) – La caída recta de un talud es la dirección perpendicular al contorno del talud; es decir; es la línea directamente hacia arriba o

abajo de una ladera. Un camino en caída recta es un camino, o extensión del camino, que sube o baja derecho en una ladera. Los caminos en caída recta pueden ser empinados o suaves, según el gradiente del talud de la colina.

CALIDAD DEL AGUA – Las características químicas y biológicas del agua de arroyos y lagos.

CAMELLÓN – *Consulte camellón de filtrado.*

CAMELLÓN (INTERCEPTOR DE AGUA) – Cuneta poco profunda, transitable excavada en un ángulo a través de un camino o sendero para drenar la escorrentía de la superficie. Los camellones a menudo se construyen en caminos estacionales o temporales que recibirán poco o nada de tránsito durante el período invernal.

CAMELLÓN DE FILTRADO – Una hilera de troncos y escombros de madera colocados y compactados a lo largo de la base de un relleno del camino o talud de vertido lateral para contener el suelo erosionado del terraplén. Los camellones de filtrado a menudo se utilizan para contener la erosión de terraplenes y áreas de vertido lateral donde un camino se acerca a un canal de arroyo y lo cruza.

CAMINO ABANDONADO – Un camino que ya no se mantiene. Un camino abandonado puede o no seguir siendo transitable y puede o no estar recubierto de vegetación. En algunos casos, el término "abandonar" se utiliza para indicar el proceso de cerrar o clausurar un camino *(Consulte abandono de caminos, clausura de caminos).*

CAMINO ACTIVO – Un camino que es parte de la red de caminos general que se inspecciona y mantiene (y debe inspeccionarse y mantenerse) regularmente.

CAMINO ALMACENADO – *Consulte almacenamiento de caminos, clausura de caminos.*

CAMINO CERRADO – Un camino que se ha cerrado al tránsito vehicular, generalmente con barricadas, bermas, portones u otros dispositivos de cierre, pero que se anticipa su uso futuro *(Consulte cierre de caminos, clausura de caminos).*

CAMINO CON PERALTE HACIA ADENTRO – Superficie del camino que tiene un peralte hacia adentro del corte marginal. Los caminos con peralte hacia adentro generalmente tiene una cuneta interna que recolecta la escorrentía de la superficie del camino y el corte marginal.

CAMINO CON PERALTE HACIA AFUERA – Superficie del camino que tiene un peralte hacia afuera del corte marginal hacia el terraplén del camino. Los caminos con peralte hacia afuera pueden o no tener una cuneta interna.

CAMINO DE BAJO VOLUMEN – Un sistema de transporte o camino construido generalmente para gestionar o extraer recursos o de otra manera desarrollar áreas rurales o forestales. Están diseñados típicamente para niveles bajos de tránsito (promedio de <400 vehículos por día) pero también pueden estar diseñados para soportar cargas comerciales.

CAMINO DE EXPLOTACIÓN FORESTAL – Un camino que no es un camino público utilizado por camiones que van a y vienen de plataformas para transportar troncos y otros productos forestales.

CAMINO DE RELLENO COMPLETO – Técnica de construcción de caminos en la cual no se hace un corte en balcón en la ladera y el prisma del camino está hecho totalmente de relleno importado. La superficie del terreno debe prepararse (desbrozarse y despejarse) para que el relleno se una al substrato subyacente. Los caminos de relleno completo se construyen más comúnmente al cruzar suelos húmedos y fondos de valles (donde el camino ha sido elevado levemente), y cuando un camino cruza un canal de arroyo cavado.

CAMINO ESTACIONAL – UN camino que se planifica y construye como parte de un sistema de transporte permanente donde la mayor parte del uso de vehículos pesados y de transporte se puede suspender durante la temporada húmeda, o cuando los caminos están mojados, y cuyo uso se limita a períodos cuando la superficie está seca. La mayoría de los caminos no están recubiertos para el uso durante clima húmedo, pero tienen una superficie adecuada para el transporte de productos forestales y rurales en la temporada seca, y en períodos secos extendidos o condiciones de hielo duro que ocurren durante el período invernal. Los caminos estacionales tienen estructuras de drenaje en cruces de cursos de agua que soportan el flujo de crecida de diseño de 100 años.

CAMINO INACTIVO – Un camino que solo se necesita de manera poco frecuente, para control de incendios, despeje de árboles u otras actividades de gestión forestal o rural. Estos caminos permanecen en desuso la mayor parte del año, o por una gran cantidad de años en sucesión, pero tienen estructuras de drenaje intactas y requieren inspección y mantenimiento regulares.

CAMINO MANTENIDO – Un camino que se inspecciona regularmente y cuyos taludes de corte, superficie del camino, estructuras de drenaje y terraplenes se mantienen para prevenir la erosión y el deterioro.

CAMINO PERMANENTE – Un camino que está planificado y construido para ser parte de un sistema de transporte permanente de toda la emporada. Estos caminos tiene una superficie que es adecuada para el transporte de productos forestales y rurales, y para el paso de tránsito vehicular normal durante todo el período de invierno y tienen estructuras de drenaje, si existen, en cruces de cursos de agua que soportan el flujo de crecida de diseño (100 años). Los caminos permanentes reciben inspección y mantenimiento regular y durante el período de tormentas.

CAMINO RURAL – Un camino que no es un camino público utilizado por vehículos rurales y agrícolas en la realización de operaciones rurales. Los caminos rurales a veces se utilizan para transportar productos forestales y por ende se clasifican como, y están sujetos a, las mismas regulaciones que los caminos de explotación forestal.

CAMINO SECUNDARIO – Un camino lateral de un camino troncal principal o un camino secundario. La mayoría de los caminos secundarios no tienen salida y pueden terminar en un sitio de explotación forestal, un sitio de depósito o un sitio residencial rural. Según su uso, los caminos secundarios pueden ser permanentes, estacionales o temporales.

CAMINO TEMPORAL – Un camino que se utiliza solo durante operaciones rurales, madereras o mineras de corta duración. Estos caminos tienen una superficie adecuada para el transporte estacional y tienen estructuras de drenaje, si es así, adecuadas para transportar el flujo de agua esperado durante el período de uso. Estas estructuras de drenaje deben quitarse antes del comienzo del período invernal (si se construyen para el evento de flujo pluvial de diseño) *(Consulte cruce de arroyo temporal).*

CAMINO TRONCAL – Un camino principal que generalmente forma el centro de una red de caminos que también contiene caminos secundarios.

CAMINOS RURALES – Caminos de poco tránsito ubicados en lugares forestados y de pastoreo que sirven usos residenciales, recreativos y de gestión de la tierra. Los caminos rurales pueden ser propiedad de y/o gestionados por partes del gobierno o privadas, y pueden estar recubiertos por grava o pavimentados. Los caminos rurales son la columna del sistema de transporte en muchos condados rurales de California y muchos otros sitios.

CAÑÓN INTERNO – Un segmento de arroyo limitado por paredes de valle empinadas que terminan cuesta arriba en una topografía más suave. Los taludes del cañón interno generalmente se desarrollan por procesos de desperdicio masivo en pareas de rápido socavamiento o elevación del arroyo y pueden exhibir señales de inestabilidad.

CANTERA – Un sitio donde se extraen piedra, enrocamiento, agregado, y otros materiales de construcción, usualmente desde una superficie de basamento rocoso o afloramiento de roca. El material rocoso se desarrolla usualmente desgarrando o demoliendo y a menudo se debe procesar mediante trituración, clasificación o filtrado para producir los tamaños de piedras deseados para un proyecto.

CAPA BASE – Es la capa de distribución de carga principal de la calzada inmediatamente debajo de la capa superficial y sobre los materiales de suelo nativo preparados o sub base. Generalmente está compuesta de una mezcla de distintos tamaños de roca triturada o de fragmentos de roca o grava desarrollados en un banco de roca que se compactan en la preparación para la aplicación de un material de recubrimiento. Tiene un porcentaje relativamente bajo de finos para mantener fuerza y drenaje adecuados.

CAPA DE DESGASTE – *consulte recubrimiento capa superficial*

CERCA DE LIMO – Una barrera artificial utilizada para contener el suelo erosionado de un sitio de construcción. La barrera está hecha con tela de filtrado geotextil estirada entre postes de cerca colocados en contorno a lo largo de un talud o en una cuneta, o puede esta compuesta de un fardo de paja u otra barrera permeable, o barrera impermeable, utilizada para atrapar o causar la deposición de escorrentía cargada de sedimento *(Consulte cuenca de retención de sedimento).*

CIERRE DEL CAMINO – Un término a veces utilizado para querer decir el cierre de un camino al tránsito, usualmente mediante la instalación de un portón o barrera. Sin embargo, el cierre adecuado y eficaz del camino no se logra simplemente bloqueando un camino al tránsito y alejándose de él dejando que "la naturaleza reclame el camino" (abandonar el camino) o "almacenando" temporalmente el camino (almacenamiento del camino)

para su uso futuro sino tratando todas las fuentes potenciales de erosión y entrega de sedimento *(Consulte clausura del camino).*

CLASIFICACIÓN DE PELIGRO DE EROSIÓN (CPE) – Una medida calculada de la susceptibilidad de los suelos a la erosión por el impacto de gotas de lluvia y la escorrentía de la superficie. Según las Normas de Prácticas Forestales de California, la CPE se calcula utilizando una metodología de campo definida, y la clasificación resultante (bajo, moderado, alto, extremo) influencia las prácticas de gestión de tierra subsiguientes que se pueden utilizar.

CLAUSURA – *Consulte clausura de caminos.*

CLAUSURA DEL CAMINO – Remover los elementos de un camino que redirigen antinaturalmente el drenaje de la ladera o presentan peligros de estabilidad del talud y/o erosión y entrega de sedimento. La clausura del camino incluye la remoción y restauración completa de todos los cruces de arroyos, la excavación o estabilización de todas las inestabilidades existentes o potenciales del relleno de caminos que puedan transportar sedimentos a canales de arroyos, la decompactación y dispersión permanente del drenaje de la superficie del camino y el tratamiento de todas las demás fuentes de sedimentos relacionadas con caminos. Según la naturaleza y magnitud de las amenazas existentes y potenciales presentadas por un camino, los tratamientos de clausura requeridos podrían variar de mejoras menores del drenaje a actividades de movimiento de tierra importantes.

La terminología que describe las prácticas de clausura han sido variadas y a menudo contradictorias. Aunque otros términos (por ejemplo, cierre del camino, abandono del camino, almacenamiento del camino, dejar en suspenso y vaciar el camino) se han utilizado para describir diversas técnicas de clausura del camino, las actividades deben incluir aquellas que son necesarias para eliminar o reducir enormemente los impactos de los caminos (similares a las descritas anteriormente), que se sea probable que sean eficaces solo parcialmente y dejen algunas amenazas a la cuenca y ambientales en el lugar.

CLINÓMETRO – Un instrumento de bolsillo que mide la inclinación del talud en grados y porcentaje.

CMP – Tubo de metal corrugado, a menudo usado como sinónimo de alcantarilla. Las alcantarillas de metal generalmente están hechas de acero galvanizado o aluminio.

COMPACTACIÓN – Un aumento en la densidad aparente (peso por unidad de volumen) y una disminución de la porosidad del suelo que surge de cargas aplicadas, vibración o presión.

CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA (CAMINO CONECTADO HIDROLÓGICAMENTE) – La conectividad hidrológica se refiere al largo o a la proporción del camino o red de caminos que drena escorrentía directamente a arroyos u otros cursos de agua. Todo segmento del camino que tenga un sendero de flujo de superficie continuo a un canal de arroyo natural durante un evento de escorrentía de "diseño" se denomina camino o extensión de camino conectado hidrológicamente. La conectividad generalmente ocurre a través de cunetas del camino, las superficies del camino, los barrancos, vados ondulantes superficiales, camellones u otras estructuras de drenaje o superficies perturbadas relacionadas con los caminos.

CONSTRUCCIÓN DE CAMINO DE ARRIBA HACIA ABAJO – Técnicas de construcción de caminos que involucran excavar un banco en la ladera y verter lateralmente el material de desperdicio sobre los taludes de abajo. Las técnicas de construcción de camino de arriba hacia abajo solo deben utilizarse en laderas de pendiente leve o moderada donde el material de vertido lateral no puede fallar o erosionarse y ser transportado a canales de arroyo locales.

CONSTRUCCIÓN DEL CAMINO DE ABAJO HACIA ARRIBA – Técnicas de construcción que involucran excavar un banco en la ladera y luego llenar y compactar el relleno en el banco para armar una calzada estable en la elevación deseada (en lugar del vertido lateral o la construcción de arriba hacia abajo).

CONSTRUCCIÓN EN BALCÓN – Técnica de construcción de caminos en la cual el ancho de corte del balcón es la misma que el ancho del camino, y no se usa relleno en la construcción. Se necesita disposición final para remover el material de desecho excavado.

CONTRAFUERTE (PUENTE) – Un cimiento sólido, asegurado en cada banco de arroyo que sirve como el cimiento para un puente. Las salientes de roca naturales o pilotes hincados pueden servir como contrafuertes de puentes, pero más comúnmente los contrafuertes están hechos de cimientos de concreto vertido, pilotes de acero hincados, juntas de concreto prefabricadas, troncos o muelles.

CONTROL DE EROSIÓN – El acto de controlar erosión continua provocada por el impacto de gotas de lluvia, perforación, formación de barrancos, desmoronamiento y otros procesos de la superficie.

CONTROL DE PENDIENTE – El término control de pendiente se puede aplicar a toda alteración en la cuenca que da estabilidad al lecho del cauce. El método más común de establecer el control de pendiente es la construcción de estructuras de control de pendiente en el canal diseñadas para brindar puntos duros en el lecho del cauce o un barranco capaz de resistir las fuerzas erosionantes del agua que fluye. Las estructuras de control de pendiente se deben adherir a criterios de diseño específicos para ser eficaces.

CONTROL DE SEDIMENTO – Controlar el sendero y la disposición del sedimento erosionado.

CORAZA DE ROCAS – Roca gruesa que se coloca para proteger un superficie de suelo, generalmente contra la erosión provocada por agua que fluye o cae. La coraza o blindaje de rocas es un tipo de material utilizado para disipar energía en las bocas de la alcantarilla *(Consulte enrocamiento de protección).*

CORONA DE LA ALCANTARILLA – La parte superior de una alcantarilla de drenaje.

CORROSIÓN – La corrosión es el desgaste de un metal a través de oxidación/reacción química de reducción en sus superficies. El óxido (óxido de hierro) es un proceso de corrosión común para las alcantarillas de acero y, combinado con la abrasión, es la razón más común del reemplazo de alcantarillas. En entornos corrosivos, se pueden utilizar capas protectoras, recubrimientos, y pavimentos dentro y/o fuera de los tubos y alcantarillas de acero para extender su vida útil. El tubo de plástico no está sujeto a corrosión.

CORTE TRANSVERSAL – Un corte transversal del camino por una ladera o cresta, o por la línea de caída recta de una ladera o cresta, en el cual hay al menos un corte pequeño a ambos lados del camino. Los cortes transversales son de más de 2 pies de profundidad son muy difíciles de drenar y son propensos a la formación de barrancos y altos costos de mantenimiento *(Consulte camino en caída recta).*

CORTE Y RELLENO – Un método de construcción del camino en el cual se construye un camino cortando la ladera (usualmente utilizando una topadora) y esparciendo los materiales de desecho en puntos bajos y como vertido lateral a lo largo de la ruta. "Corte y relleno" es a menudo un sinónimo de "corte y vertido lateral" *(Consulte sistema de banco equilibrado, construcción de caminos de arriba hacia abajo).*

CRUCE DE AGUA BAJO – *Consulte vado.*

CRUCE DE ARROYO – La ubicación donde un camino cruza un canal de arroyo. Las estructuras de drenaje utilizadas en cruces de arroyos incluyen puentes, vados, rellenos blindados, arcos, alcantarillas y una variedad de cruces temporales.

CRUCE DE ARROYO LAVADO – Un relleno de cruce de arroyo que se ha erosionado parcial o completamente y "arrastrado" aguas abajo. Los lavados generalmente ocurren cuando una alcantarilla se tapona y el flujo del arroyo retrocede y fluye sobre la calzada durante eventos de crecida.

CRUCE DE ARROYO TEMPORAL – Un cruce de arroyo que se debe excavar y remover, generalmente en un camino temporal. Si un cruce temporal debe quedarse en su sitio durante un invierno, se debe diseñar con los mismos estándares que un cruce de curso de agua permanente.

CRUCE DE TRONCOS – Una estructura de drenaje hecha de troncos colocados de manera paralela a un canal de arroyo y cubiertos con tierra. Antes de mediados de la década de 1980, los cruces de troncos se utilizaban frecuentemente como "cruces de arroyos permanentes" en vez de alcantarillas o puentes en áreas forestadas del Pacífico Noroeste. Los cruces de arroyos son muy susceptibles a taponamiento y arrastre durante flujos pluviales. Los cruces de troncos se utilizan actualmente solo para cruces de arroyos temporales que se deben quitar antes de la temporada de clima húmedo

CRUCE PERMANENTE DE CURSO DE AGUA – Un cruce de curso de agua que se construye para soportar el flujo de crecida de 100 años estimado que incluye escombros de madera y sedimento y quedará en el sitio y seguirá siendo mantenido hasta que se mejore o remueva.

CUENCA – El área o cuenca de drenaje que aporta agua, materia orgánica, nutrientes disueltos y sedimentos a un arroyo o lago. Un área limitada en su mayoría por crestas y drenado, en su salida, por un único arroyo troncal.

CUENCA DE DRENAJE – *Consulte cuenca.*

CUENCA DE RETENCIÓN DE SEDIMENTO – Una cuenca natural o excavada o área de depósito utilizada para recibir o esparcir sedimento, infiltrar agua y depositar el sedimento antes de que se entregue al arroyo.

CUNETA (CUNETAS JUNTO AL CAMINO) – Una cuneta cavada o un canal pequeño, generalmente en la base del corte marginal y a lo largo del borde interno del camino utilizada para recolectar agua del camino y la que surge del corte marginal, y llevarla lejos a un área de eliminación segura. Puede haber una cuneta a ambos lados de caminos con corte a través y coronados.

CUNETA HACIA AFUERA (CUNETA DE SALIDA, INTERRUPCIONES DE BERMAS, CORTES DE CUNETA O DESVÍO DE CUNETA) – Excavaciones a través de una berma junto al camino o corte a través bajo diseñado para desviar el agua fuera de la cuneta o fuera del camino (en un punto donde esto no ocurre naturalmente). La cuneta hacia afuera es generalmente un corte o corte barrido desde el costado del camino y sobre el talud natural adyacente, hecho a una pendiente levemente más empinada que la cuneta o el camino que debe drenar.

CUNETA INTERNA – La cuneta en el interior del camino, generalmente al pie del corte marginal.

CURSO DE AGUA – Todo canal bien definido con lecho y banco distinguibles que muestre evidencia de haber contenido un flujo de agua indicado por erosión o el depósito de roca, arena o grava. El curso de agua también incluye cursos de agua artificiales *(Consulte también curso de agua Clase I, II, III y IV – California).*

CURSO DE AGUA ARTIFICIAL – Un curso de agua que está construido y mantenido para facilitar el uso de agua por parte del hombre. Incluyen pero no se limitan a cunetas y canales utilizados para usos domésticos, energía hidráulica, riego y otros usos beneficiosos. Según las regulaciones forestales de California, los cursos de agua artificiales técnicamente no incluyen las cunetas de drenaje junto al camino.

CURSO DE AGUA CLASE I (CALIFORNIA) – Para fines de silvicultura, aquellos cursos de agua que sirven como suministros de agua doméstica, que incluyen manantiales, en el sitio y/o dentro de los 100 pies aguas abajo del área de operaciones forestales, y/o cursos de agua donde hay peces presentes siempre o estacionalmente en el sitio, inclusive hábitat que soporta migración y desove de peces.

CURSO DE AGUA CLASE II (CALIFORNIA) – Para fines de silvicultura, cursos de agua donde hay peces presentes siempre o estacionalmente fuera del sitio dentro de 1000 pies aguas abajo, y/o cursos de agua que contienen hábitat acuático para especies acuáticas que no son peces. Los cursos de agua Clase II que son tributarios a los cursos de agua Clase I (por ende dentro de los 1000 pies de un curso de agua que tiene peces) están excluidos específicamente.

CURSO DE AGUA CLASE III (CALIFORNIA) – Para fines de silvicultura, cursos de agua que no tienen vida acuática presente, pero que muestran evidencia de poder transportar sedimento aguas abajo a cursos de agua Clase I o Clase II bajo condiciones de flujo de agua elevado normal luego de completar operaciones madereras.

CURSO DE AGUA CLASE III (CALIFORNIA) – Para fines de silvicultura, cursos de agua artificiales, que usualmente suministran usos aguas abajo establecidos domésticos, agrícolas, hidroeléctricos u otros usos beneficiosos *(Consulte curso de agua artificial).*

CURVA CERRADA – La ubicación a lo largo de un camino donde la ruta gira e invierte la dirección, generalmente en una distancia corta, donde el camino sube o baja una ladera.

CURVA HORIZONTAL – El arco horizontal de un círculo cuyo radio es el de la curva del camino.

CURVA VERTICAL – El arco vertical de un círculo cuyo radio es el del camino a medida que sube y baja (sobre una colina), o sube y baja (a través de un bajío u hondonada) a través de un cambio en la pendiente.

DAR PERALTE HACIA AFUERA – El acto de convertir un camino con peralte hacia adentro en un camino con peralte hacia afuera. Dar peralte hacia afuera también se puede referir al acto de excavar el relleno a lo largo de la parte externa del camino y colocarlo y nivelarlo contra el corte marginal, por ende creando una superficie con peralte hacia afuera donde antes existía la calzada. En la clausura de caminos, dar un peralte hacia afuera parcial o total (reconstrucción) es un método para brindar dispersión de drenaje permanente de la antigua calzada.

DECOMPACTACIÓN – *Consulte rasgamiento.*

DEJAR EN SUSPENSO – "Dejar en suspenso" es un nombre coloquial para el proceso de abandonar proactivamente (clausurar o

cerrar) un camino eliminando el riesgo de producción de sedimento hasta que el camino se vuelva a necesitar en años futuros. "Dejar en suspenso" o cerrar un camino involucra quitar completamente los rellenos de los cruces de arroyos y estructuras de drenaje relacionados y eliminar el riesgo de producción de sedimento de los caminos y las plataformas *(Consulte clausura del camino).*

DEPRESIÓN – Un proceso de movimiento masivo episódico, de rápido a muy lento que involucra la rotación de un bloque de ladera o camino a lo largo de una superficie ampliamente cóncava, a menudo denominado pendiente de rotación *(Consulte pendiente de rotación).*

DESAGÜE DE PIEDRA EN ZANJA (SUBDRENAJE; SUBDRENAJE EN TUBO) – Una zanja enterrada, llena de agregado grueso, que actúa para drenar el agua subsuperficial de un área húmeda y descargarla en un lugar seguro y estable. Los desagües de piedra en zanja se deben recubrir con tela de filtrado para evitar quela tierra tapone la roca de drenaje. A menudo se utilizan debajo de cunetas junto al camino donde el talud de corte está húmedo y de otra manera el agua saturaría la calzada adyacente. El subdrenaje estándar es el drenaje en tubo. Un subdrenaje en tubo consiste en un tubo perforado cerca del fondo de una zanja angosta recubierta con tela de filtrado y rellenado con material permeable. El subdrenaje en tubo brinda una remoción y liberación mucho más rápidas de agua subterránea interceptada.

DESBROCE – El acto de escarificar la superficie del suelo junto a un trazado de camino propuesto antes de colocar el relleno o vertido lateral encima. El desbroce es una de las tareas de la construcción de caminos, y es precedida por el despeje y seguida por la nivelación.

DESLIZAMIENTO DE ESCOMBROS – Un deslizamiento lento a rápido, que involucra el movimiento cuesta abajo de materiales relativamente secos y predominantemente no consolidados, con más de la mitad de las partículas más grandes del tamaño de la arena.

DESLIZAMIENTO DE TIERRA – El movimiento gravitacional cuesta abajo de una masa de rocas, escombros o tierra. Los deslizamientos se clasifican por tipo de material (por ejemplo: rocas, escombros y tierra) y tipo de proceso (por ejemplo, deslizamiento, flujo, caída, derrumbe y esparcimiento). Incluye pero no se limita a deslizamientos de escombros, flujos de escombros (torrentes) caídas y derrumbe de rocas, avalanchas de escombros y flujos de tierra. Sin embargo, no incluye desmoronamiento seco o erosión de la superficie por agua corriente. Puede ser causado por procesos de erosión naturales, perturbaciones naturales (por ejemplo, terremotos o incendios) o perturbaciones humanas (por ejemplo, minería o construcción de caminos).

DESLIZAMIENTO DE TIERRA – Una geoforma de movimiento de masa y proceso de movimiento de masa lento a rápido caracterizado por el transporte cuesta abajo o "flujo" de tierra y roca erosionada sobre una zona de distorsión discreta en la base, donde la mayoría de las partículas son más pequeñas que la arena.

DESMONTE – El acto de quitar la vegetación a lo largo del trazado del camino propuesto El desmonte es una de las tareas de la construcción de caminos, y es seguida por el arranque y la gradación (movimiento de tierra).

DESMORONAMIENTO (DESMORONAMIENTO SECO) – Partículas de suelo que se desprenden y ruedan cuesta abajo bajo la influencia de la gravedad. El desmoronamiento ocurre más rápidamente cuando un suelo sin cohesión en un talud empinado se seca. El desmoronamiento aumenta considerablemente cuando la escarcha actúa sobre el suelo expuesto El desmoronamiento en ciertos cortes marginales empinados y despejados puede llenar rápidamente las cunetas y suministrar sedimento que luego se erosiona y pasa a alcantarillas de alivio de cunetas o arroyos mediante el flujo de cuneta concentrado.

DESVIADOR DE ESCOMBROS – Una estructura de control de escombros instalada en frente de una entrada de alcantarilla para desviar los escombros orgánicos flotantes lejos de la entrada de alcantarilla, o para realinearlo para que flote a través de la alcantarilla, para evitar el taponamiento.

DESVÍO – Un punto ancho planificado a lo largo de un camino de carril único que se utiliza para permitir pasar a los vehículos con seguridad. Los desvíos en caminos de carril único deben ser intervisibles por seguridad.

DESVÍO DEL ARROYO – Un arroyo que se ha desviado de su canal natural y por un camino, una ladera u otro canal de arroyo se considera desviado. La mayoría de los desvíos de arroyos ocurren en cruces de caminos, donde una alcantarilla de cruce de arroyo se tapona y el flujo del arroyo recorre el camino o la cuneta en vez de regresar sobre el relleno y a su canal natural. Los desvíos pueden ser artificiales o naturales, y ocurren cuando el flujo se obstruye. En cruces de caminos, los arroyos se consideran

desviados si el flujo deja el canal natural y pasa más allá del relleno del cruce de arroyo, incluso si esa distancia es de dolo unos pocos pies. Los arroyos desviados pueden volver rápidamente a su canal natural, o fluir por el camino cierta distancia antes de ingresar a otro canal de arroyo o fluir por una ladera sin canal.

DIQUE – Materiales del suelo excavado colocados y compactados utilizados para construir y elevar la subrasante del camino. Los caminos de corte y relleno tiene un relleno externo que se llama relleno del dique.

DIQUE DE CONTENCIÓN – Una estructura de control de pendiente temporal o permanente colocada a través de un canal natural o artificial o cuneta de drenaje con la intención de prevenir la excavación. Los diques de contención casi siempre se utilizan en serie para controlar la pendiente del arroyo y reducir o prevenir la socavación y la erosión del canal reduciendo la velocidad del flujo y alentando la sedimentación. Los diques de contención tienen requisitos de diseño muy específicos que se deben cumplir o si no son propensos a fallas. Los diques de contención de fardos de paja se utilizan a menudo en bajíos y canales pequeños debajo de un nuevo trazado de un camino para recolectar y almacenar temporalmente el sedimento erosionado de un sitio de obra, pero generalmente no brinda protección contra la excavación del canal durante más de una sola temporada.

DISEÑO DE LA CURVA – La técnica o método de diseñar una curva del camino en el suelo antes de construir el camino. Las curvas pueden ser lo suficientemente anchas como para que se necesite poco o nada de diseño. Las curvas cerradas y curvas acentuadas, especialmente aquellas sobre taludes moderados o empinados, a menudo requieren el uso de técnicas de prospección para garantizar el diseño mejor y más funcional *(Consulte método de estaca central).*

DISIPADOR DE ENERGÍA – Un dispositivo o material utilizado para reducir la energía del agua que fluye. Los disipadores de energía se utilizan generalmente en y debajo de salidas de alcantarillas y otras estructuras de drenaje para evitar la erosión.

DISPOSICIÓN FINAL – La remoción y transporte de material excavado para prevenir vertido lateral, y el almacenamiento del material en un lugar estable donde no pueda ingresar en los canales del arroyo. La disposición final generalmente se logra utilizando camiones basculantes, pero en trabajos más grandes se pueden utilizar topadoras móviles.

DRENAJE DE INTERSECCIÓN – Una cuneta cortada profundamente y excavada a través de la superficie del camino, que drena la calzada y la cuneta interna. Los drenajes de intersección se instalan en caminos clausurados para drenar manantiales, filtraciones, superficies del camino y cunetas. Son más sustanciales y profundos que los camellones convencionales utilizados para drenar caminos forestales y rurales, y son más empinados y abruptos que los vados ondulantes. Los drenajes de intersección bien construidos a menudos son lo suficientemente profundos como para prevenir el acceso vehicular y típicamente se instalan en caminos que se cierran permanentemente o durante varios años. Los drenajes de intersección generalmente se construyen (excavan) utilizando una topadora, una excavadora hidráulica o una retroexcavadora.

ELEVACIÓN DE LA TUBERÍA /APISONAMIENTO – *Consulte tecnologías sin zanja.*

ELEVADOR DE ALCANTARILLA – Un tubo ascendente vertical sobre una entrada de alcantarilla, usualmente del mismo diámetro que la alcantarilla, utilizado para permitir pasar el agua mientras se deposita sedimento en una cuenca de alrededor. Usualmente los elevadores son ranurados para permitir que el agua fluya al tubo vertical a medida que suben los niveles de agua alrededor. Usualmente los elevadores tienen una parte superior abierta para que el agua pueda caer en cascada por arriba cuando se alcanza el nivel de agua máximo deseado.

EN CORONA – Una superficie de camino en corona es una que tradicionalmente cae levemente alejándose de la línea central del camino y drena a ambos lados de la corona. Coronar una superficie de camino es un método para brindar drenaje de la superficie. Generalmente, la porción interna del camino drena hacia adentro al corte marginal y la cuneta, mientras que la porción externa drena hacia afuera al terraplén. Las coronas también se pueden colocar en cualquier lugar sobre la superficie del camino para controlar la escorrentía de la superficie del camino.

ENROCAMIENTO – Roca grande, duradera u otro material adecuado, utilizado para proteger el suelo subyacente contra la erosión, usualmente por el agua corriente. El enrocamiento se utiliza para blindar costas, lechos de arroyos, contrafuertes de puentes, soportes y otras estructuras contra socavación, erosión de agua o hielo. El enrocamiento es usualmente angular (no plano ni redondo) y tiene tamaño para resistir la socavación o el movimiento de los flujos esperados. El enrocamiento, o la roca de tamaño de enrocamiento,

también se utiliza para rellenos y cortes de contrafuertes que de otra manera serían inestables y propensos a fallos.

ENTRADA ACAMPANADA – Una entrada de alcantarilla que se acampana o ensancha para aumentar su capacidad y reducir la posibilidad de taponamiento y daños. Las entradas acampanadas con accesorios de la alcantarilla que se atornillan o aseguran a la boca de la alcantarilla con los bancos. Están disponibles para la mayoría de los materiales y formas de alcantarilla *(Consulte boca de alcantarilla mejorada).*

ENTRADA BISELADA – *Consulte entrada mejorada.*

ENTRADA CÓNICA EN PENDIENTE – Consulte boca de alcantarilla mejorada.

ENTRADA CÓNICA LATERAL – *Consulte boca de alcantarilla mejorada.*

ENTRADA INGLETEADA – Una entrada en pendiente que está cortada o instalada generalmente en el extremo aguas arriba de una alcantarilla, paralela y contra o cerca del talud del dique. Ingletear la entrada revela una mayor apertura en la entrada de la alcantarilla, y por ende aumenta la eficacia hidráulica y el volumen de flujo potencial en comparación con una entrada saliente. Las entradas ingleteadas con un testero en pendiente también aumentan la eficiencia hidráulica de la entrada. Las entradas ingleteadas en alcantarillas de metal están hechas generalmente con un soldador de corte, mientras que las entradas ingleteadas en alcantarilla plásticas se cortan con una sierra *(Consulte boca de alcantarilla mejorada).*

ENTRADA SALIENTE – Una configuración de entrada donde el tubo de la alcantarilla sale del relleno del camino hacia el lecho del cauce, sin ingleteado, biselado ni testero.

ENTREGA DE SEDIMENTO – Material (generalmente referido al sedimento) que se entrega en un canal de arroyo. La entrega de sedimento a menudo se refiere al porcentaje de material erosionado de un sitio que en realidad se entrega a un canal de arroyo (en vez de el que se almacena en la ladera).

EROSIÓN – El desprendimiento de partículas de suelo provocado por viento, impacto de gotas de lluvia o agua que fluye a través de la superficie de la tierra. La erosión generalmente se refiere a procesos de erosión de la superficie (erosión por gotas de lluvia, perforación, formación de barrancos y desmoronamiento) y no a movimiento masivo de suelo (deslizamiento de tierra).

EROSIÓN ACELERADA – Erosión que ha sido provocada o incrementada, directa o indirectamente, por las actividades humanas o de gestión de la tierra. La erosión acelerada es generalmente considerada erosión que no es "natural" o que supera la que habría ocurrido naturalmente.

EROSIÓN DE LA SUPERFICIE – El desprendimiento y transporte de partículas de suelo por viento, agua, o gravedad. La erosión de la superficie puede ocurrir como la pérdida de suelo en una capa uniforme (erosión de la capa), en muchos surcos, barrancos o por desmoronamiento seco.

EROSIÓN DEL SUELO – *Consulte erosión.*

ESCARIFICADO (ESCARIFICACIÓN) – Una superficie de suelo cuyo material orgánico se remueve y cuya superficie se descompone o decompacta mecánicamente *(Consulte rasgamiento).*

ESCOMBROS – Rocas, sedimento, y material orgánico (troncos, ramas, arbustos, madera, hojas, etc.) que se llevan o transportan en la escorrentía de la superficie, flujos de cunetas o flujos de crecida en canales de arroyos que a menudo provocan taponamiento de estructuras de drenaje. Los escombros flotantes y los sedimentos transportados son las causas principales de taponamiento de alcantarillas y falla de cruce de arroyos.

ESCORRENTÍA – Precipitación o deshielo que fluye sobre el terreno a través de la superficie de laderas y a lo largo de caminos y senderos.

ESCORRENTÍA DEL CAMINO – Escorrentía del camino que se reúne sobre y se drena de la superficie del camino, generalmente como respuesta directa a la precipitación. La escorrentía del camino generalmente recorre la superficie del camino o pasa por una cuneta junto al camino.

ESTABILIDAD DEL TALUD – La resistencia de un talud natural o artificial u otra superficie inclinada a las fallas por el movimiento masivo del suelo (deslizamiento).

ESTANTERÍA DE BASURA – *Consulte estructuras de control de escombros, estantería de escombros.*

ESTANTERÍA DE ESCOMBROS (FILTRO DE ESCOMBROS, ESTANTERÍA DE BASURA) – una estructura construida aguas arriba de una entrada de alcantarilla para filtrar los escombros flotantes que podrían taponar la entrada de la alcantarilla de otra manera. Los filtros de escombros se deben diseñar para que permitan que los escombros pequeños pasen y floten a través de la alcantarilla, mientras retienen escombros más grandes (> el diámetro de la alcantarilla) que podrían bloquear la entrada del tubo.

ESTRUCTURA DE DRENAJE – Una estructura instalada para controlar, desviar o cruzar sobre agua, que incluye pero no se limita a alcantarillas, puentes, drenajes de cunetas, vados, camellones, peraltes hacia afuera y vados ondulantes.

ESTRUCTURA DE RETENCIÓN (MURO DE RETENCIÓN) – Una estructura diseñada para resistir el desplazamiento lateral de suelo, especialmente a lo largo de la base de un corte marginal, la base de un relleno del camino o como parte de un dique de camino recién construido. Se utiliza comúnmente para dar soporte a una calzada o agregar ancho al camino sobre terreno empinado o donde ha habido una fallo del terraplén que hizo más angosto el camino. A menudo se construyen sobre gaviones, concreto reforzado, tablones de madera o tierra estabilizada mecánicamente.

ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCOMBROS – Estructuras construidas en un canal de arroyo para filtrar o desviar escombros de madera flotantes antes de que lleguen y puedan taponar la entrada de la alcantarilla. Incluyen filtros de escombros, estanterías de escombros y desviadores de escombros.

EXCAVACIÓN DE PLATAFORMA – *Consulte excavación de terraplén.*

EXCAVACIÓN DEL CRUCE DE ARROYO (CLAUSURA) – La excavación del material de relleno que se utilizó para construir (rellenar) un cruce de arroyo, específicamente un cruce en alcantarilla, un arco, un cruce de troncos o un cruce temporario. La excavación del cruce de arroyo estable se debe hacer hasta el nivel del lecho del arroyo original, con los taludes laterales nivelados (excavados) de regreso a un ángulo estable (generalmente 2:1 (gradiente 50%) o menos, según las características del suelo).

EXCAVACIÓN DEL RELLENO DEL CAMINO O PLATAFORMA – Excavación y remoción de relleno inestable o potencialmente inestable y/o escombros del vertido lateral del borde exterior de un prisma del camino. Las excavaciones del relleno del camino se realizan como medida preventiva para proteger contra el fallo de los materiales de relleno inestables en canales de arroyo cuesta abajo.

EXCAVACIÓN DEL TERRAPLÉN – Excavación y remoción de suelo inestable o potencialmente inestable y escombros orgánicos del terraplén exterior de un camino, desvío o plataforma. Las excavaciones del terraplén se realizan como medida preventiva para proteger contra el deslizamiento de material inestable en canales de arroyo cuesta abajo. Se pueden realizar en plataformas activas, o como parte de clausura de caminos y plataformas.

EXTENSIÓN DE LA ALCANTARILLA – La dimensión más ancha de una alcantarilla, independientemente de su forma.

FALLA DEL CAMINO – Daño a la calzada (generalmente por una depresión de la calzada, fallo del relleno, arrastre del cruce de arroyo o barranco importante) que evita el paso vehicular, pero no significa generalmente hundimiento menor del corte marginal o el relleno incidental al establecimiento del camino.

FLUJO DE DISEÑO (RECURRENCIA DE 100 AÑOS (CA)) – El flujo de diseño de una alcantarilla de cruce de arroyo generalmente varía entre un intervalo de recurrencia de 20 y 100 años, según la sensibilidad del camino, el cruce y los recursos aguas abajo. Con mayor frecuencia los cruces de arroyos se diseñan para soportar el flujo máximo de 100 años; un flujo de crecida que estadísticamente tiene un 1 por ciento de probabilidad de ocurrir en cualquier año. Este flujo se puede calcular mediante relaciones empíricas entre la precipitación, las características de la cuenca y al escorrentía, y luego se puede modificar mediante mediciones transversales directas del canal y otra evidencia. Sin embargo dar tamaños a las alcantarillas para un flujo de crecida de 100 años solamente no asegura una capacidad adecuada para madera y sedimento.

FLUJO DE ESCOMBROS – Una masa saturada de fragmentos de roca, tierra y lodo que se mueve rápidamente, en la cual más de la mitad de las partículas son más grandes que el tamaño de la arena. Los flujos de escombros se pueden originar cuando deslizamientos de escombros junto al arroyo o cabeceras que incorporan agua, sedimento y madera se mueven canal abajo durante tormentas o crecidas. Los flujos de escombros generalmente recorren canales de arroyos pequeños, empinados y dan como resultado la socavación del lecho del cauce sobre distancias que van de varios cientos de pies a varias millas.

FLUJO MÁXIMO (FLUJO DE CRECIDA) – La cantidad más elevada de flujo de arroyo o río que ocurre en una año o de un evento pluvial individual. Para los fines de diseño, los caminos y estructuras de drenaje se construyen típicamente para soportar un evento de flujo máximo de un intervalo de recurrencia dado, como por ejemplo el evento de flujo de 100 años.

FORMULA RACIONAL (MÉTODO) – Un método empírico para calcular los flujos máximos de una cuenca pequeña. La fórmula racional se utiliza a menudo para calcular los flujos y seleccionar los tamaños adecuados de las alcantarillas para canales pequeños, y no medidos cruzados por un camino.

FRANJA AMORTIGUADORA – Un área o franja de tierra adyacente a un arroyo que contiene suelos relativamente no perturbados y vegetación que actúa como filtro o amortiguador de la erosión y la escorrentía de caminos cuesta arriba u otras actividades de gestión de tierra.

FRANJA DE FILTRADO – *Consulte amortiguador.*

GEOMÓRFICO – Pertinente a la forma de la superficie de la tierra, y a los procesos que afectan y dan forma a la superficie del terreno. Los procesos geomórficos incluyen todas las formas de erosión del suelo y movimiento masivo del suelo, así como también otros procesos.

GEOTEXTIL (TELA DE FILTRADO) – Tela permeable hecha de fibras sintéticas, plásticas que se utilizan para separar, filtrar, reforzar, proteger, y/o drenar roca, suelo y otros materiales relacionados. Los geotextiles son telas sintéticas fabricadas y diseñadas para usar en aplicaciones de drenaje subsuperficial y superficial. Son especialmente útiles para mantener una separación entre el agregado del camino grueso y las partículas de suelo nativo más finas debajo, así como también en aplicaciones de control de erosión. Viene en una cantidad de tipos distintos (con distintas especificaciones y usos) y se utiliza en una cantidad de distintas aplicaciones de construcción de caminos. Siempre se deben consultar las especificaciones del fabricante antes de usar una tela para drenaje u otras aplicaciones de ingeniería.

GPS – El Sistema de Posicionamiento Global es un sistema de navegación mundial basado en los satélites que orbitan la tierra que brindan información bidimensional precisa (longitud y latitud) de la ubicación. Las unidades GPS de mano son útiles para trazar la ubicación del camino o seguir trazados de caminos potenciales. La precisión del GPS se puede ver afectada por densas cubiertas de árboles, falta de cobertura satelital o condiciones atmosféricas.

GUARDAS PROTECTORAS – Rieles de seguridad levemente elevados a lo largo de ambos lados de la superficie transitable de un puente, diseñados para advertir a los conductores y ayudar a mantener a los vehículos sobre el puente.

HÁBITAT – El lugar donde una planta o animal (incluso vida acuática y peces) vive y crece natural o normalmente.

HIDROSIEMBRA (SEMBRADO HIDRÁULICO) – Una técnica para aplicar una mezcla de semillas, fertilizante y cubierta humidificadora rociando hidráulicamente la mezcla sobre la superficie despejada de la tierra. La hidrosiembra generalmente se realiza sobre taludes que son demasiado empinados para el sembrado seco.

HUMEDALES – Áreas que están inundadas por agua superficial o agua subterránea con una frecuencia suficiente para soportar, y bajo circunstancias normales soportan o soportarían, una prevalencia de vida vegetal o acuática que requieren condiciones de suelo saturado o saturado estacionalmente para el crecimiento y la reproducción. Los humedales generalmente incluyen, pero no se limitan a, pantanos, turberas, ciénagas y áreas similares que están caracterizadas por suelos estacional o perennemente húmedos y vegetación de humedal.

IMPACTO AMBIENTAL – El efecto positivo o negativo de toda acción, o grupo de acciones, sobre un área o recurso dado.

INFILTRACIÓN – El movimiento de agua a través de la superficie del suelo en la tierra.

INGENIERÍA BIOTÉCNICA – Utiliza vegetación viva integrada con elementos estructurales duros (como troncos, enrocamiento de protección, bloques de concreto y gaviones) para crear estructuras de control de erosión complejas que brindan un refuerzo del suelo y mayor estabilización y protección de la pendiente *(Consulte bioingeniería de suelo).*

INSERCIÓN A TRACCIÓN – *Consulte tecnologías sin zanja.*

INTERRUPCIÓN DE PENDIENTE – La ubicación de una inversión en el talud (pendiente) del camino de subida a bajada, o de bajada a subida. Las interrupciones de pendientes ocurren cuando un camino rodea el paisaje y sube y baja sobre

distancias cortas, o donde se han construido vados ondulantes en el camino para drenar la superficie del mismo.

INTERVISIBLE – La capacidad de ver de una característica a la otra. Los desvíos que son intervisibles se pueden ver del uno al otro.

LIMITACIÓN DE EQUIPOS, EXCLUSIÓN DE EQUIPOS – Los términos utilizados cuando el uso de equipos pesados se debe limitar o prohibir, respectivamente, para la protección de la calidad del agua, los usos beneficiosos del agua, y/o otros recursos naturales o forestales.

LÍNEA DE BISAGRA – La intersección entre la calzada que se acerca y el relleno completo de un cruce de arroyo en alcantarilla. Generalmente, los caminos pasan de una sección de corte y relleno o banco completo en la ladera a una sección transversal de relleno completo donde el material se ha utilizado para "rellenar" el cruce de arroyo durante la construcción del camino. Hay dos líneas de bisagra en un relleno de cruce de arroyo; una a la izquierda y otra a la derecha.

MANTENIMIENTO DE CAMINO DE EMERGENCIA – *Consulte mantenimiento pluvial.*

MANTENIMIENTO DEL CAMINO – Las acciones que se toman para prevenir la erosión y/o el deterioro de un camino que incluyen el corte marginal, la superficie del camino, el terraplén y todas las estructuras de drenaje. Las actividades de mantenimiento del camino incluyen tereas como nivelación, limpieza de cunetas, despeje y limpieza de alcantarillas.

MANTENIMIENTO PLUVIAL (MANTENIMIENTO DE CAMINOS DE EMERGENCIA) – Inspección y mantenimiento del camino que se realiza durante e inmediatamente después de períodos de precipitación y escorrentía elevados cuando las estructuras de drenaje tienen más probabilidades de taponarse, funcionar mal o fallar.

MANTILLO (COBERTURA) – Material colocado o esparcido sobre la superficie del terreno para protegerlo contra gotas de lluvia, surcos y erosión de la superficie. Los mantillos incluyen pedazos de madera, rocas, paja, fibra de madera, hidromantillo y una variedad de otros materiales naturales y sintéticos. La cobertura es el proceso de esparcir el mantillo.

MANTO DE DRENAJE – También llamado mantos de filtrado de agregado, estas capas envueltas en tejido están diseñadas y ubicadas en áreas húmedas localizadas debajo de caminos construidos con corte y relleno y excavado, o en la base de cortes marginales húmedos para eliminar el agua subterránea debajo de la calzada y mantener seca la subrasante. Una subrasante bien drenada puede soportar hasta 50% más de peso que los suelos mal drenados y bien nivelados.

MATERIAL EXCEDENTE – *Consulte residuos.*

MEJORA DEL CAMINO – Medidas tomadas para llevar un camino a los estándares de diseño actuales, inclusive cortes y rellenos, drenaje de la superficie, cruces de arroyos, y otros elementos del camino. La mejora del camino se considera un tipo de tratamiento a prueba de tormentas (la clausura del camino es el otro) en el cual el camino se hace lo más resistente posible a las tormentas y crecidas, al tiempo que se reduce también la conectividad hidrológica entre los caminos y arroyos en la medida máxima factible *(Consulte tratamiento a prueba de tormentas).*

MEJORAMIENTO – *Consulte mejora del camino, reconstrucción del camino.*

MEJORES PRÁCTICAS DE GESTIÓN (MPG) – Directrices prácticas que se pueden utilizar para reducir el impacto ambiental de los caminos y las actividades de gestión del caminos (que incluyen construcción, control de erosión, mantenimiento y clausura) y proteger la calidad del agua. Las MPG son un componente clave para planificar, diseñar, construir, mantener y cerrar caminos a fin de minimizar su impacto potencial sobre el medio ambiente. Las mejores prácticas de gestión para actividades relacionadas con el camino tienen el objetivo de brindar métodos simples, prácticos y rentables de proteger la calidad del agua y los recursos acuáticos, y otros valores ambientales, antes, durante y después de emprender actividades de gestión de caminos.

MÉTODO DE ESTACA CENTRAL – UN método de diseño de curvas, especialmente para curvas cerradas, en la cual se utiliza una estaca para marcar el centro de la curva y se toman mediciones radiales desde la estaca para marcar la curva en el suelo.

MOVIMIENTO MASIVO DEL SUELO – El movimiento cuesta abajo de una masa de suelo bajo la fuerza de gravedad. A menudo usado como sinónimo con "deslizamiento de tierra", los tipos comunes de movimiento masivo del suelo incluyen caídas de rocas, flujos de tierra, avalanchas de escombros, deslizamientos de escombros y torrentes de escombros *(Consulte deslizamiento de tierra).*

NIVEL ABNEY – Un instrumento manual utilizado para medir los gradientes de taludes y los ángulos verticales en el campo.

NIVELACIÓN – El acto de excavar y mover tierra a lo largo del trazado del camino a una línea de pendiente establecida durante la construcción o reconstrucción del camino. La nivelación es una de las tareas de la construcción de caminos, y es precedida por el desbroce y seguida por el recubrimiento. La nivelación también ser refiere al alisamiento mecánico del la calzada para mantener una superficie transitable pareja y de drenaje libre.

OBSTÁCULO – Ubicaciones a lo largo del trazado del camino que deben evitarse. Los obstáculos incluyen salientes rocosas, deslizamientos de tierras, taludes extremadamente empinados, ubicaciones de cruces de arroyos inadecuadas, áreas húmedas, lagos, etc.

OPERACIONES INVERNALES (OPERACIONES DE CLIMA HÚMEDO) – Generalmente se refiere a la explotación forestal y operaciones relacionadas a caminos forestales realizadas durante el período de operaciones de clima húmedo (generalmente del 15 de octubre al 15 de abril en California). El Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California requiere un plan de operaciones de clima húmedo para operaciones de temporada húmeda (invierno). Otras jurisdicciones pueden tener ordenanzas y restricciones estacionales similares.

PAREDES LATERALES Y DELANTALES – Las paredes laterales se utilizan donde los taludes laterales del canal adyacentes a la entrada son inestables, o donde la alcantarilla está sesgada al flujo normal del canal. Orientan el flujo, protegen la cara del relleno y reducen el potencial de taponamiento de la alcantarilla. Un delantal es un piso endurecido entre las paredes laterales, generalmente hechas de concreto, que reduce las velocidades de la entrada, la turbulencia y el potencial de taponamiento *(Consulte testero).*

PASO DE PECES – El movimiento sin impedimento de peces anádromos o residentes aguas abajo o arriba de un canal de arroyo en todas sus etapas de vida de agua dulce. A menudo se discute con respecto a los cruces de arroyo, donde los caminos cruzan canales de arroyo que son utilizados por peces y/u otros organismos acuáticos. Si el paso está bloqueado para una o más etapas de vida de un pez, cuando el pez pasaría de otra manera por la extensión del arroyo, la obstrucción se considera una barrera.

PECES ANÁDROMOS – Peces que nacen y se crían en agua dulce, se mudan al océano para crecer y madurar y regresan al agua dulce para reproducirse. El salmón, el salmón plateado y el sábalo con ejemplos. Aunque no sean anádromos, los peces residentes también pueden migrar aguas arriba y abajo por los canales de arroyos y pueden requerir diseños de paso de peces en cruces de arroyos.

PENDIENTE DE ROTACIÓN – Un deslizamiento de tierra que tiene un plano arqueado cóncavo hacia arriba, y cuyo movimiento es de rotación en vez de de traslación.

PENDIENTE DEL CAMINO – La pendiente de un camino a lo largo de su trazado.

PERÍODO DE OPERACIÓN INVERNAL – En California, el período entre el 15 de noviembre al 1 de abril, excepto para los fines de instalar camellones y vados ondulantes superficiales, en cuyo caso el período es del 15 de octubre al 1 de abril (para operaciones forestales).

PIPA DE LA ALCANTARILLA – El piso o el fondo de una alcantarilla de drenaje.

PLAN DE OPERACIONES INVERNALES – Un plan funcional desarrollado para describir cómo se realizarán las operaciones de uso de la tierra durante el período invernal. Los planes de operaciones invernales generalmente contienen información detallada sobre acciones de control y prevención de la erosión que se deben seguir para proteger el sitio contra precipitaciones y escorrentía pluvial.

PLATAFORMA – Todo lugar sobre o adyacente a un sitio de explotación forestal (generalmente en un camino) donde los troncos se recolectan y reúnen para ser transportados.

PLATAFORMAS – La superficie transitable (generalmente planchas de madera o placas de acero) de puentes de vagones plataforma y vigas de acero en "I" utilizados en caminos rurales y forestales. Usualmente las plataformas se atornillan y se pueden reemplazar cuando se desgastan.

POTENCIAL DE DESVÍO (PD) – UN cruce de arroyo tiene potencial de desvío si, cuando se tapona la alcantarilla, el arroyo retrocede y fluye camino o cuneta abajo, en vez de directamente sobre el cruce del relleno y de regreso al canal de drenaje natural

PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN – Prevenir la erosión antes de que haya ocurrido. La prevención de la erosión generalmente

es menos costosa y más eficaz que controlar la erosión una vez que ha comenzado. La prevención de la erosión está destinada a proteger un camino, inclusive sus estructuras de drenaje, taludes de corte y relleno, calzada y otras áreas contra los daños, y para proteger la calidad del agua.

PRODUCCIÓN DE SEDIMENTO – La cantidad de suelo, partículas de roca, materia orgánica, u otros escombros disueltos o suspendidos que se transportan a través de una sección transversal de arroyo en un período dado. Técnicamente, la producción consiste en carga disuelta, carga suspendida y carga del lecho.

PROFESIONAL CALIFICADO – Un profesional experimentado, a menudo certificado, que interpreta los procesos complejos físicos o biológicos y/o diseña caminos y estructuras de caminos. Pueden incluir ingenieros, geólogos, biólogos y otros especialistas en recursos o construcción

PROPORCIÓN (PENDIENTE) – Una manera de expresar el gradiente del talud como una proporción de distancia horizontal a una elevación vertical, como por ejemplo 3:1 (3 pies horizontal por cada 1 pie de elevación o caída vertical).

PUENTE DE VAGÓN PLATAFORMA – Un puente portátil construido con un vagón plataforma. Los puentes de vagón plataforma individuales pueden cubrir anchos de canales de hasta 80 pies.

PUNTOS DE CONTROL – Ubicaciones a lo largo del trazado del camino que controlan la posición del camino. Ejemplos de puntos de control incluyen salientes rocosas, el final de otro camino al que se debe unir, un collado en una cresta por la que debe pasar el camino, un lugar favorable de un cruce de arroyo, un deslizamiento de tierras que se debe evitar, etc.

QUE TIENE PECES – Un arroyo que soporta peces durante cierta parte del año.

RASGAMIENTO (CAMINO) – El proceso de triturar o aflojar suelo compactado (por ejemplo, senderos de huellas, caminos secundarios o plataformas) para asegurar una mejor penetración de las raíces de plántulas de árboles jóvenes y para aumentar la infiltración. También se llama decompactación *(Consulte escarificado).*

RECONSTRUCCIÓN (DE CAMINO) – La mejora o reconstrucción de un camino que está abandonado o sub estándar en uno o más elementos de su diseño *(Consulte reconstrucción del camino).*

RECONSTRUCCIÓN DEL CAMINO – Reparación o mejora de los caminos preexistentes que se han de restaurar o mejorar para hacerlos utilizables para el transporte de productos forestales, para operaciones rurales o tránsito residencial rural. A veces la reconstrucción se refiere a la reconstrucción del camino requerida cuando han ocurrido una o más fallas en el camino *(consulte falla del camino).*

RECUBRIMIENTO (CAPA SUPERFICIAL) – La capa superior de la superficie del camino, también llamada capa de desgaste. El agregado de roca y el pavimento son dos tipos de recubrimiento utilizados para tratar el camino a prueba del clima para el uso en la temporada húmeda.

RED DE CAMINOS – El patrón de todos los caminos en una propiedad, cuenca, ladera u otro área definida. La red de caminos generalmente incluye caminos troncales principales, caminos secundarios y caminos menos importantes.

RELACIÓN DE PENDIENTE – *Consulte proporción.*

RELLENO – El material que se coloca en áreas bajas, compactado y acumulado para formar la calzada o la plataforma.

RELLENO BLINDADO – Un tipo de cruce de arroyo donde el arroyo fluye sobre una calzada hondonada y por un terraplén blindado en vez de a través o debajo del relleno en una alcantarilla de otra estructura de drenaje. Los rellenos blindados se utilizan en cruces de arroyos relativamente pequeños y en lugares donde el mantenimiento del camino es infrecuente o no es posible durante la temporada húmeda.

RELLENO DE HENDIDURA – Un relleno fino que se coloca en paralelo a la ladera subyacente, en lugar de colocarse como cuñas utilizadas en las construcciones de corte y relleno tradicionales. No se recomienda el uso de rellenos de hendidura, y el transporte al sitio final de desechos se prefiere mucho más que la construcción de rellenos de hendiduras. Los rellenos de hendiduras no pueden compactarse en pendientes que superen el 35%. Al engrosarse, los rellenos de hendidura se hacen más susceptibles a los fallos. Los rellenos de hendidura son apropiados solo donde es imposible eliminar el material en otro lugar y donde el relleno está compuesto totalmente de roca gruesa. Los rellenos de hendiduras se "colocan" y nunca se construyen con el vertido lateral sin control.

RELLENO PERMEABLE – *Consulte manto de drenaje.*

RELLENO TRANSVERSAL – Un camino que está compuesto completamente de material de relleno; lo opuesto a un corte transversal. A veces los rellenos trasversales tienen una berma a lo largo de uno o ambos costados del camino, por ende contienen intencionalmente la escorrentía de la superficie del camino y la dirigen a un solo punto de descarga. Los rellenos transversales generalmente se encuentran en cruces de arroyos donde el relleno puede formar bermas a uno o ambos costados del camino para desconectar hidrológicamente la escorrentía del arroyo y descargarla camino abajo del cruce *(Consulte camino de relleno completo).*

RESIDUO (MATERIALES DE RESIDUO) – Material (suelo y escombros orgánicos) que no se utiliza ni necesita como parte funcional del camino o una plataforma. El material de residuo se genera durante las actividades de construcción, reconstrucción y mantenimiento del camino.

REVESTIMIENTOS DE LA ALCANTARILLA – *Consulte tecnologías sin zanja.*

RIBEREÑO – Las orillas y otros entornos adyacentes terrestres de lagos, cursos de agua, estuarios y áreas húmedas, donde el agua dulce transportada de la superficie y la subsuperficie brinda humedad al suelo para soportar vegetación mésica.

ROCA DE RÍO – Agregado (grava) que se excava del lecho del río. La roca de río generalmente es bien redonda y, a menos que se filtre, también contiene arena.

ROCA TRITURADA – Roca que se ha pasado por una trituradora mecánica para producir un rango más uniforme de tamaños de partículas angulares. La roca triturada es útil como material de recubrimiento de caminos.

SALIDA (SALIDA DE ALCANTARILLA) – La abertura aguas abajo en una estructura de drenaje o tubo donde el agua deja la estructura.

SEMBRADO EN SECO – Un método de esparcir semillas en la superficie del suelo. El sembrado en seco se puede acompañar con perforaciones (colocar la semilla en el suelo y cubrirla) o voleo (donde la semilla se esparce aéreamente sobre la superficie del suelo).

SERIE DE SUELOS – Un grupo de suelos desarrollado de un tipo particular de material principal que tiene horizontes desarrollados naturalmente que, excepto por la textura de la capa de la superficie, son similares en características de diferenciación y en la conformación del perfil.

SERVIDUMBRE (ACUERDO DE DERECHO DE VÍA) – Un acuerdo que define las condiciones bajo las cuales una parte puede usar un camino o caminos que son propiedad de otra persona. La servidumbre generalmente tiene una vida útil más extensa que el acuerdo, que se puede aplicar a un período de uso limitado.

SISTEMA EQUILIBRADO DE BANCOS (CORTE Y RELLENO EQUILIBRADO) – Un método de construcción de caminos utilizado en tierra de inclinación leve o moderada en la cual el material excavado durante la construcción del camino se utiliza para construir la calzada y rellenar los puntos bajos durante el trazado. En el sistema equilibrado de bancos, los volúmenes de corte son iguales a los de relleno y el camino a menudo se llama "medio banco" o camino de corte y relleno equilibrado.

SITIO ARQUEOLÓGICO – Un lugar geográfico que contiene los restos materiales de actividad humana prehistórica y/o histórica.

SITIO DE DEPOSICIÓN DE RESIDUOS – El lugar donde el material de residuo (escombros de madera y suelos excavados) se pueden colocar sin la amenaza de erosión acelerada o de iniciar la inestabilidad del talud. Los sitios de deposición de residuos incluyen la parte cortada de los caminos cerrados, la parte interior de plataformas y desvíos, y el gradiente plano o bajo de bancos naturales.

SITIO DE PRÉSTAMO (FOSO DE PRÉSTAMO) – Lugares en el paisaje donde se excava arena, grava, y/o roca para usar en actividades de construcción de caminos en otros lugares de la cuenca.. Los fosos de préstamo y las canteras de roca en las áreas silvestres de California pueden estar sujetos a la Ley de Minería Superficial y Reclamación (SMARA, por su sigla en inglés) que requiere a los propietarios de tierra desarrollar planes de reclamación del sitio para muchos sitios *(Consulte foso de rocas).*

SMARA – La Ley de Rehabilitación y Minería Superficial de California (SMARA) se aprobó y adoptó en 1975 y se actualizó en 2007. La Ley de Rehabilitación y Minería Superficial de California (SMARA) brinda una política integral de rehabilitación y minería de superficie para minimizar los impactos ambientales y asegurar que las tierras minadas se rehabiliten hasta una condición utilizable.

SOSTÉN – Una estructura gravitacional diseñada para resistir fuerzas laterales, típicamente en la case de un corte marginal

inestable o de una te con exceso de inclinación, potencialmente inestable. Generalmente está construido de enrocamiento de rocas grandes, gaviones u otras estructuras gravitacionales.

SUBBASE – La capa más baja de sección estructural del camino, colocada sobre la subrasante (materiales nativos) y por debajo de la base o la superficie. Normalmente consiste en un material grueso bien nivelado (grava de foso, grava natural o mezclas de grava/arena/limo) que tiene menor fuerza y durabilidad que los materiales de base del camino, pero que sin embargo pueden brindar soporte estructural a los caminos suprayacentes.

SUBDRENAJE (DRENAJE SUBSUPERFICIAL) – El flujo de agua debajo de la superficie del terreno (a través del suelo). A lo largo de caminos, se pueden utilizar técnicas de construcción específicas para asegurar que el drenaje subsuperficial no se vea impedido por la calzada o por el relleno del camino, y que el mal drenaje subsuperficial no dé como resultado inestabilidad del talud, o saturación persistente o daño de la calzada.

SUBDRENAJE (SUBDRENAJE EN TUBO) –
Consulte desagüe de piedra en zanja.

SUBRASANTE – Consiste en el material nativo debajo del camino construido, y es generalmente una porción bien compactada del material del dique natural directamente debajo de los materiales de base importados o los cimientos del camino. En algunos casos, el término también se refiere a material importado que se ha utilizado para construir un dique.

SUELO FAVORABLE – Terreno que es favorable para la construcción de caminos, generalmente consiste en taludes, bancos y crestas suaves y estables.

SUELOS EROSIONABLES – Suelos que son relativamente propensos a erosión por impacto de las gotas de lluvia y escorrentía de la superficie. Se sabe que los suelos granulares, no cohesivos (como los suelos derivados de dunas de arena o de granito descompuesto) son especialmente erosionables.

SUELOS INESTABLES – Se indican por las siguientes características: (1) suelos no consolidados, no cohesivos (con textura más gruesa que la arcilla) u escombros coluviales que incluyen arenas y gravas, fragmentos de roca o graníticos desgastados. Dichos suelos usualmente se asocian a un riesgo de deslizamientos poco profundos sobre pendientes de 65% o más, que tienen suelos no cohesivos de menos de 5 pies de profundidad en un área donde la precipitación supera las 4 pulgadas en 24 horas en un intervalo de recurrencia de 5 años. (2) Suelos que aumentan y disminuyen en volumen a medida que varía el contenido de humedad. Durante el clima seco, estos materiales se endurecen y se ponen tipo roca y muestran una red de rajaduras de encogimiento poligonal y una estructura de forma compacta que es el resultado de la desecación. Algunas rajaduras pueden tener más de 5 pies de profundidad. Cuando están mojados, estos materiales son muy pegajosos, deslucidos, brillantes y de fácil moldeado.

SUPERFICIE SOPORTANTE – La superficie transitable del camino. El recubrimiento con rocas es un método común de aumentar la capacidad de soportar cargas de la superficie del camino si los suelos de la subrasante son relativamente débiles.

SURCO – Un canal de erosión, que varía de tamaño desde un riachuelo a hasta 1 pie2 en el área transversal, que típicamente se forma donde se concentra precipitación y escorrentía de la superficie sobre terraplenes, cortes marginales y cunetas. Si el canal es más grande que 1 pie2 e de tamaño, se llama barranco.

TALLADO – Una serie de baches regulares que consisten en crestas y depresiones de poco espacio entre sí a través del camino provocadas por el tránsito vehicular en caminos no recubiertos y recubiertos con grava con poca cohesión de la superficie. A menudo se ven en áreas cálidas y secas y en caminos arenosos, de tierra o de grava. Los tallados se crean cuando los vehículos superan una velocidad crítica, o donde aceleran y levantan repetidamente materiales flojos. Empeoran con velocidades excesivas de vehículos y altos volúmenes de tránsito.

TALUD DE CORTE (CORTE MARGINAL) – La cara artificial o corte de talud en los suelos o rocas a lo largo del lado interior de un camino.

TÉCNICA DE MÚLTIPLES BANCOS – Un método de construcción de caminos utilizado en terreno de pendiente moderada o muy empinada en el cual se excavan dos o más bancos en la ladera nativa y luego se compacta el relleno en los bancos para brindar un banco estable al camino.

TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA DEL SUELO – Las técnicas de bioingeniería del suelo dependen en el uso de esquejes de plantas vivas para suministrar elementos estructurales básicos necesarios para estabilizar pendientes y márgenes, reforzar el

sustrato del suelo y reducir la erosión del suelo. Las técnicas incluyen colocación de capas de arbustos, fajinas (bardas), relleno de fajinas, barreras vivas, cercas de bardas y siembras de postes vivos *(consulte técnicas de ingeniería biotécnica).*

TECNOLOGÍAS DE EXCAVACIÓN SIN ZANJA – El uso de métodos de construcción para instalar o reparar infraestructura subterránea (alcantarillas) sin cavar una zanja ni abrir un corte de excavación. Las tecnologías de excavación sin zanja para reparación o reemplazo de alcantarillas incluyen revestimientos de alcantarillas, inserción a tracción y elevación de tuberías o apisonamiento, entre otras.

TELA DE FILTRADO – *Consulte geotextil.*

TELÉMETRO – Un instrumento portátil de campo utilizado para medir distancias inferiores a 1000 pies.

TERRAPLÉN – Esa parte de un relleno del camino entre el borde exterior del camino y la base del relleno, donde se une con la superficie natural del terreno.

TESTERO – Un muro vertical o en pendiente (biselado) que incluye la boca de la alcantarilla y brinda una transición entre el canal del arroyo y la boca. Los testeros se pueden construir con diversos materiales, y rocas, mampostería y concreto son los más comunes. Los testeros se pueden usar para una variedad de razones, que incluyen aumentar la eficacia de la boca, brindar estabilidad al dique, y brindar protección al dique contra la erosión *(Consulte paredes laterales).*

TEXTURA DEL SUELO – La proporción relativa de arena, limo y arcilla en un suelo; agrupadas en clases y subclases estándar en el Manual de Prospección de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

TOMA ELEVADA DE ALCANTARILLA – Un elevador vertical o tubo ascendente, del mismo diámetro o más pequeño que el de la alcantarilla, soldado en el lado superior de la alcantarilla justo aguas abajo de la entrada. Mientras que los elevadores generalmente están conectados al extremo de una entrada de alcantarilla con un codo de 90 grados, las tomas elevadas se sueldan en la parte superior de la alcantarilla mientras que la entrada de la alcantarilla permanece abierta. Las tomas elevadas se utilizan como entrada de alcantarilla de emergencia si la entrada de la alcantarilla principal se tapona con escombros o si se supera su capacidad.

TORRENTE DE ESCOMBROS – *Consulte flujo de escombros.*

TRANSFERENCIA DE FLUJO – Un método para calcular los flujos máximos para un arroyo no medido utilizando datos del flujo de una cuenca hidrológicamente similar y cercana que tiene un registro de medición de largo plazo. En general, es más probable que los datos del flujo del arroyo locales representen las características de drenaje de la cuenca que determinan los flujos máximos que las ecuaciones de regresión regionales u otras relaciones analíticas.

TRATAMIENTO A PRUEBA DE TORMENTAS DEL CAMINO – *Consulte tratamiento a prueba de tormentas.*

TRATAMIENTO A PRUEBA DE TORMENTAS; CAMINO TRATADO A PRUEBA DE TORMENTAS – Un camino tratado a prueba de tormentas es uno donde se han tomado medidas para mejorar o clausurar el camino como para minimizar el riesgo y la magnitud potencial de erosión y entrega de sedimento futuras. Generalmente consiste en reducir la conectividad hidrológica; identificar y tratar fallas potenciales del camino (en su mayoría fallos del terraplén) que podrían fallar y entregar sedimento a los arroyos; y reducir el riesgo de fallos del cruce de arroyo y desvío de arroyos *(Consulte Figura 134, Características de caminos tratados a prueba de tormentas).*

USO BENEFICIOSO – En el derecho de uso de agua, el uso razonable del agua para un fin coherente con las leyes y el mejor interés de la gente del estado. Dichos usos incluyen, pero no se limitan a, los siguientes: usos dentro del arroyo, fuera del arroyo y del agua subterránea, suministro doméstico, municipal e industrial del agua, minería, riego, agua para ganado, peces y vida acuática, fauna, pesca, recreación de contacto con el agua, atracciones estéticas y escénicas, energía hidráulica y navegación comercial.

VADO – Un lugar poco profundo con buena base donde un río o arroyo se puede cruzar en un vehículo. Un vado es en su mayoría un fenómeno natural, en contraste con un cruce de agua baja, que es un puente artificial que permite cruzar un río o arroyo cuando el agua está baja. Los vados pueden estar sin mejorar (cruce sobre el lecho del cauce natural que es rocoso o sobre el basamento rocoso) o mejorado (generalmente con el endurecimiento artificial del lecho del cauce). Un **vado endurecido** es un vado fortalecido por roca, concreto y otros materiales endurecidos construidos a través del lecho y los bancos de un arroyo vivo o seco que permite el paso de vehículos durante períodos de flujo bajo. Un vado normalmente es solo adecuado para caminos con

tránsito muy bajo y poco importante y se convierte en intransitable durante períodos de flujo moderado.

VADO CON ALCANTARILLA – Una estructura de cruce de arroyo, generalmente utilizada en arroyos perennes de poco gradiente o ríos pequeños, diseñada para permitir que el flujo de agua baja en el canal del arroyo pase por la estructura (por ejemplo, alcantarillas) debajo de una calzada endurecida (generalmente de concreto). Durante los períodos de agua alta o crecida, el flujo del arroyo pasa sobre la calzada y el cruce está cerrado al tránsito.

VADO CRÍTICO (VADO DE DESVÍO; CRUCE 1) – Un vado crítico es un vado en la calzada en un cruce de arroyo con alcantarilla, preferentemente en la línea bisagra camino abajo del relleno, que evita el desvío del arroyo. El vado está diseñado para actual como estructura de desborde si la alcantarilla principal se tapona y acumulara agua sobre el relleno. Aunque es parecido a un vado ondulante superficial, debe tener suficiente capacidad (ancho y profundidad) para transportar flujos de crecida desde el arroyo sin rebasarse y desviarse por el camino. Una solución alternativa es dar forma de vado a todo el relleno, centrado por la línea de bisagra.

VADO ENDURECIDO – *Consulte vado.*

VADO ONDULANTE SUPERFICIAL (VADO AMPLIO) – Vado poco profundo en el camino donde la pendiente se invierte durante una distancia corta y la escorrentía del camino se dirige en el vado o abrevadero hacia el exterior o el interior del camino. Los vados ondulantes superficiales son estructuras de drenaje utilizadas principalmente en caminos recubiertos con grava, con peralte hacia afuera, diseñadas para drenar la superficie del camino y construidas para seguir siendo eficaces y permitir el paso de vehículos motorizados a velocidad normal o levemente reducida.

VERTIDO LATERAL – El material de tierra sobrante que se empuja o vierte sobre el costado de caminos o plataformas.

ZONA DE PROTECCIÓN DE CURSO DE AGUA Y LAGO (WLPZ – CALIFORNIA) – Una franja de tierra, a lo largo de ambos lados de un curso de agua o alrededor de la circunferencia de un lago o manantial, donde se pueden requerir prácticas adicionales (o restricciones) para proteger la calidad y los usos beneficiosos del agua, peces y hábitat de fauna ribereña, otros recursos forestales y para controlar la erosión.

APÉNDICE A:

Procedimientos para calcular el tamaño de las alcantarillas para el flujo máximo de 100 años

A. INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado diferentes métodos para calcular la descarga máxima de inundación que puede esperarse de pequeñas cuencas forestales no medidas. Estos procedimientos son útiles para determinar el tamaño (diámetro) de alcantarilla que se debe instalar en un cruce de arroyo a ser construido o mejorado.

La determinación del tamaño (diámetro) adecuado de una alcantarilla requiere: 1) calcular de la descarga máxima del flujo del arroyo que podría producirse en cada cruce de arroyo durante las inundaciones a 100 años, y luego 2) determinar el tamaño de la alcantarilla que manejaría ese flujo usando el nomograma de tamaño de alcantarilla de la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 1965).

Puede consultar un resumen de los métodos seleccionados, con ejemplos de cálculos para calcular el flujo de crecida del Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California (CAL FIRE) en un documento interno denominado "Designing Watercourse Crossings for Passage of 100-year Flood Flows, Wood, and Sediment" (Cafferata y otros, 2004). El documento cubre técnicas como el Método racional, el Método de magnitud y frecuencia de la USGS y los Métodos de transferencia de flujo. Cada método tiene sus fortalezas y debilidades y se basa en mediciones de campo o mapas, información climática publicada y evaluaciones subjetivas de las condiciones de la cuenca fluvial.

Muchos de los métodos requieren datos de intensidad de precipitaciones que suelen estar disponibles en el sitio web de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA): http://dipper.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/ o sus departamentos forestales o de recursos hídricos estatales. También puede obtener datos sobre la frecuencia, duración e intensidad de las lluvias en los atlas de mapas publicados en línea o en bibliotecas públicas o de universidades. Solicite la asistencia de un profesional forestal estatal con competencia en su área, ya que los silvicultores suelen realizar este tipo de cálculos.

Se brinda una descripción de la metodología y un ejemplo de las tres técnicas para calcular el flujo de crecida de 100 años (Método racional, Método de magnitud y frecuencia de la USGS y Método de transferencia de flujo). Se recomienda utilizar dos o tres métodos diferentes en un área para comprar y verificar los resultados. La experiencia de campo puede utilizarse a modo de verificación. Recuerde que la mayoría de nosotros no conocemos por experiencia propia el flujo de crecida de 100 años y tendemos a sobrestimar la cantidad de agua que es transportada por los arroyos durante estos eventos extremos.

B. MÉTODO PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE ALCANTARILLA (EJEMPLOS)

MÉTODO 1: EL MÉTODO RACIONAL PARA CALCULAR LA DESCARGA DE INUNDACIÓN DE 100 AÑOS

El método más común para calcular la descarga de inundación de 100 años de pequeñas cuencas forestadas no medidas es el Método racional.

Este método se basa en la siguiente ecuación:

$$Q_{100} = CIA$$

En donde: Q_{100} = escorrentía máxima pronosticada para eventos de escorrentía a 100 años (en pies cúbicos por segundo)
C = coeficiente de escorrentía (porcentaje de lluvia que se convierte en escorrentía)
I = índice uniforme de intensidad de lluvias (pulgadas/hora)
A = área de drenaje (en acres)

Presunciones:

1. Las tormentas de diseño de 100 años cubren toda la cuenca con una intensidad de lluvias constante e uniforme hasta que se alcance la descarga de diseño en el cruce.
2. Las características de la cuenca fluvial de diseño son homogéneas.
3. Flujo superficial. Este método es menos preciso o predecible ya que el porcentaje de superficie impermeable en la cuenca fluvial se reduce.
4. El coeficiente de escorrentía (*C*) es constante en toda la cuenca fluvial.
5. El evento de tormenta a 100 años produce el flujo de crecida de 100 años.

Ventajas:

1. Se utiliza con frecuencia y es lo suficientemente flexible como para tener en cuenta las condiciones locales.
2. Fácil de usar si hay información de caída de agua disponible.

Desventajas:

1. La flexibilidad puede generar un mal uso o la mala interpretación de las condiciones locales.
2. El factor de precipitación "*I*" podría ser difícil de obtener en áreas remotas.
3. Menos preciso para cuencas fluviales que superan los 200 acres

Información necesaria:

A = área de la cuenca fluvial (acres)

C = coeficiente de escorrentía de la Tabla A-1

H = diferencia de elevación entre el punto más alto en la cuenca fluvial y el punto de cruce (pies)

L = largo del canal desde el inicio de la cuenca fluvial hasta el punto de cruce (millas)

TABLA A-1. Valores para Método racional (C) valores de coeficiente de escorrentía

Suelos	Uso de la tierra o tipo de tierra	Valor C
Suelos arenosos y con grava	Cultivados	0,20
	Pasturas	0,15
	Bosque	0,10
Suelos arcillosos y similares sin horizontes bloqueados	Cultivados	0,40
	Pasturas	0,35
	Bosque	0,30
Suelo de arcilla dura con un horizonte bloqueado poco profundo; suelo poco profundo sobre basamento rocoso	Cultivados	0,50
	Pasturas	0,45
	Bosque	0,40

TABLA A-2. Ejemplo de datos de frecuencia, duración e intensidad de lluvias para Eureka, California Servicio Nacional de Meteorología (NWS)

Tormenta de diseño (período de retorno)	Precipitación máxima para duración de lluvias indicada										
	5 min	10 min	15 min	30 min	1 hora	2 horas	3 horas	6 horas	12 horas	24 horas	C-año
RP 2	0,17	0,25	0,31	0,41	0,55	0,77	0,95	1,34	1,88	2,51	37,88
RP 5	0,23	0,34	0,41	0,55	0,74	1,04	1,28	1,81	2,54	3,38	47,93
RP 10	0,27	0,39	0,48	0,64	0,86	1,21	1,49	2,10	2,95	3,93	53,51
RP 25	0,32	0,46	0,56	0,75	1,00	1,42	1,74	2,45	3,44	4,59	59,83
RP 50	0,35	0,51	0,62	0,82	1,10	1,56	1,92	2,70	3,79	5,06	63,88
RP 100	0,38	0,55	0,67	0,90	1,20	1,70	2,09	2,95	4,13	5,51	67,71
RP 200	0,41	0,59	0,72	0,97	1,30	1,84	2,25	3,18	4,46	5,95	71,30
RP 500	0,45	0,65	0,79	1,06	1,41	2,00	2,46	3,47	4,86	6,49	76,06
RP 1000	0,48	0,69	0,84	1,13	1,51	2,14	2,63	3,70	5,20	6,93	78,94
RP 10000	0,58	0,83	1,01	1,35	1,80	2,55	3,13	4,42	6,21	8,28	88,75

I = índice uniforme de intensidad de lluvias. Obtenida de la información de frecuencia y duración de las precipitaciones para indicadores de lluvia locales como se muestra en la Tabla A-2.

Pasos:

1. Selección de valores de coeficiente de escorrentía (*C*) Muchas publicaciones diferentes le otorgan un rango de valores "*C*" a la fórmula racional; sin embargo, los valores indicados en la Tabla A-1 por Rantz (1971) parecen ser los más adecuados para los montes y bosques de Eureka, California.

2. Selección de un valor de intensidad (*I*) de lluvias: Al seleccionar un valor "*I*", se deben tener en cuenta dos factores: a) el tiempo de recorrido o tiempo de concentración (T_c) para que la escorrentía llegue al cruce y b) las condiciones de precipitación para la cuenca fluvial en cuestión.

   a. El tiempo de concentración T_c, puede calcularse utilizando la fórmula:

$$T_c = \left[\frac{11{,}9L^3}{H} \right]^{0{,}385}$$

   En donde: T_c = tiempo de concentración (en horas)
   L = largo del canal en millas desde el inicio de la cuenca fluvial hasta el punto de cruce
   H = diferencia de elevación entre el punto más alto en la cuenca fluvial y el punto de cruce (en pies) (donde se instalará la alcantarilla).

   (Nota: si en algún momento el T_c se calcula en menos de 10 minutos, los estudios sugieren que debería usar un valor predeterminado de 10 minutos)

   b. Índice uniforme de intensidad de lluvias.

Una vez que haya determinado el tiempo de concentración, ese valor se utiliza para determinar qué duración de lluvias debe utilizar (es decir, si T_c = 1 hora, debe usar una duración de precipitaciones de 1 hora a 100 años; si T_c = 4 horas, debe usar una duración de 4 horas a 100 años). Puede consultar tablas de duración de lluvias similares a la Tabla A-2 para las estaciones climatológicas en cada estado. Por ejemplo, puede obtener información sobre la frecuencia, duración e intensidad de las lluvias en la página web del Departamento de Recursos Hídricos de California en ftp://ftp.water.ca.gov/users/dfmhydro/Rainfall%20Dept-Duration-Frequency/. Contáctese con el departamento de recursos hídricos de su estado (o su equivalente) para obtener información sobre la frecuencia, duración e intensidad de las lluvias en su área.

Ejemplo: Método racional utilizado para calcular las tormentas de diseño de 100 años

1. Área de cuenca fluvial de cruce de arroyo (A) de ejemplo = 100 acres.

2. Coeficiente de escorrentía (C) = 0,30 (suelo de bosque arcilloso, de la Tabla A-1)

3. Calcule el tiempo de concentración (T_c)

$$T_c = \left[\frac{11{,}9L^3}{H} \right]^{0{,}385}$$

En donde,

L = 1,8 mi., H = 200 pies

$$T_c = \left[\frac{11{,}9(1{,}8)^3}{200} \right]^{0{,}385}$$

= 0,67 pulgadas

Según la Tabla A-2, un valor de 0,67 pulgadas corresponde a la intensidad de 15 minutos de un evento de tormenta de un período de retorno de 100 años.

4. Calcule la intensidad de las lluvias (I)

$$I = \left(\frac{0.67 \text{ pulg.}}{15 \text{ min}}\right) \times \left(\frac{x \text{ pulg.}}{60 \text{ min}}\right) = 2{,}68 \text{ pulg./hora}$$

5. Calcule el Q_{100}

$Q_{100} = CIA$
$Q_{100} = (0{,}3) \times (2{,}68) \times (100)$
= 80,4 pies cúbicos por segundo (cfs)

MÉTODO 2: EL MÉTODO DE MAGNITUD Y FRECUENCIA DE LA USGS PARA CALCULAR LA DESCARGA DE FLUJO DE 100 AÑOS

El Método de magnitud y frecuencia de la USGS se basa en un conjunto de ecuaciones empíricas derivadas para seis regiones en el estado de California para los flujos de crecida de diseño de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Estas ecuaciones fueron desarrolladas para los datos de precipitación y escorrentía recolectados de más de 700 estaciones de medición de arroyos en California (USGS, 2012). A los fines de este manual, solamente se muestra el conjunto de ecuaciones para el flujo de crecida de 100 años debajo:

Costa norte $Q_{100} = 48{,}5A^{0{,}866}p^{0{,}556}$

Sierra $Q_{100} = 20{,}6A^{0{,}874}p^{1{,}24}H^{-0{,}25}$

Región desértica $Q_{100} = 1.350A^{0{,}506}$

Costa central $Q_{100} = 11{,}0A^{0{,}84}p^{0{,}994}$

Costa sur $Q_{100} = 3{,}28A^{0{,}891}p^{1{,}59}$

Lahontan $Q_{100} = 0{,}713A^{0{,}731}p^{1{,}5}$

En donde: Q_{100} = escorrentía máxima pronosticada para eventos de tormenta a 100 años (pies cúbicos por segundo)
A = área de drenaje (millas cuadradas)
H = elevación media de la cuenca (pies)
P = precipitación media anual (pulgadas/año)

Presunciones:

1. La tormenta de diseño de 100 años cubre de manera uniforme grandes áreas geográficas.

2. Las características de la cuenca fluvial de diseño son homogéneas.

3. El evento de tormenta de 100 años produce el flujo de crecida de 100 años.

Ventajas:

1. Las ecuaciones se basan en un gran conjunto de ubicaciones de medición bien distribuidas, que incluyen lluvia con nieve.

2. Es fácil de usar.

3. La elevación media de la cuenca es fácil de determinar a partir de los mapas topográficos de la USGS.

4. Los datos de precipitación media anual ya están disponibles.

5. Las ecuaciones se actualizaron en el 2012.

Desventajas:

1. Generaliza amplias áreas geográficas y puede generar una sobrestimación y una subestimación a nivel de la cuenca fluvial local.

2. Es menos preciso para cuencas fluviales de menos de 100 acres. Las ecuaciones de regresión se basaron en datos para áreas de cuencas fluviales de mayor tamaño (>100 acres) y, por lo tanto, el uso de ecuaciones de regresión para cuencas fluviales más pequeñas sería como extrapolar el cálculo de Q_{100} por debajo del rango de datos utilizado para desarrollar la ecuación de regresión.

Información necesaria:

1. A = área de cuenca fluvial (acres)

2. P = precipitación media anual (pulgadas/año)

3. H = elevación media de la cuenca (pies)

Ejemplo: Método de magnitud y frecuencia de la USGS utilizado para calcular las tormentas de diseño de 100 años

1. Área geográfica = región de Sierra Nevada (por ej., valle de Mohawk en el condado de Nevada, California)

2. Área de cuenca fluvial de cruce de arroyo (A) de ejemplo = 445 acres o 0,7 millas cuadradas.

3. Precipitación media anual (P) = 65 pulgadas/año

4. Elevación media de la cuenca (H) = 4.112 pies

5. Calcule la Q_{100} para la región de Sierra:

$$Q_{100} = 20{,}6A^{0{,}874}p^{1{,}24}H^{-0{,}25}$$
$$Q_{100} = 20{,}6(0{,}7)^{0{,}874}65^{1{,}24}4.112^{-0{,}25}$$
$$Q_{100} = 334 \text{ pies cúbicos por segundo (cfs)}$$

MÉTODO 3: EL MÉTODO DE TRANSFERENCIA DE FLUJO PARA CALCULAR LA DESCARGA DE FLUJO DE 100 AÑOS

El flujo de crecida de diseño de 100 años también puede calcularse para los cruces de arroyos propuestos ubicados en o cerca de una cuenca fluvial hidrológicamente similar con una estación de medición a largo plazo. La descarga de 100 años se calcula ajustando la diferencia en el área de drenaje entre la estación medida y el sitio no medido usando la siguiente ecuación:

$$Q_{100} = Q_{100g}\left(\frac{A_u}{A_g}\right)^b$$

En donde: Q_{100u} = escorrentía máxima para un evento de tormenta a 100 años en un sitio no medido (pies cúbicos por segundo)
Q_{100g} = escorrentía máxima para un evento de tormenta a 100 años en un sitio medido (pies cúbicos por segundo)
A_u= área de drenaje en un sitio no medido (millas cuadradas)
A^g= área de drenaje en un sitio medido (millas cuadradas)
b= exponente para área de drenaje de la ecuación de Magnitud y Frecuencia de la USGS apropiada – por ejemplo el exponente (b) = 0,87 para la ecuación de Magnitud y Frecuencia de la USGS para la costa norte (ver Sección 2 anterior)

Presunciones:

1. Los sitios de arroyos no medidos y medidos tienen las mismas características geomórficas e hidrológicas.

2. Datos de medición de arroyos a largo plazo en el sitio medido.

Ventajas:

1. Es más preciso que otros métodos si la estación de medición del arroyo está cerca y los registros de descarga máxima del arroyo disponibles son precisos (Cafferata y otros, 2004).

2. Es fácil de usar.

3. Es mas probable que los datos locales reflejen las características de la cuenca de drenaje del sitio del cruce de arroyo propuesto (por ej., pendientes, geología, suelos y clima).

Desventajas:

1. Es menos preciso si el registro de datos de medición es de menos de 20 años.

2. Es menos preciso si se utiliza con cuencas fluviales medidas y no medidas que estén en diferentes lugares o tengan diferentes cuencas fluviales de diferentes condiciones y características.

Información necesaria:

1. A_u = área de drenaje en un sitio no medido (millas cuadradas)

2. A_g = área de drenaje en un sitio medido (millas cuadradas)

3. b = exponente para área de drenaje de la ecuación de Magnitud y Frecuencia de la USGS apropiada

Ejemplo: Método de transferencia de flujo utilizado para calcular las tormentas de diseño de 100 años

1. Área geográfica = costa norte (por ej., afluente no identificado en la costa norte)

2. Q_{100u} = 14.000 cfs

3. Área de cuenca fluvial de cruce de arroyo (A_g) medida de ejemplo = 54.000 acres o 84,4 millas cuadradas.

Área de cuenca fluvial de cruce de arroyo (A_u) no medida de ejemplo = 300 acres o 0,47 millas cuadradas.

4. b = 0,87 – exponente de área de la ecuación de Magnitud y Frecuencia de la USGS de la costa norte

5. Calcule el Q_{100}:

$$Q_{100} = Q_{100g}\left(\frac{A_u}{A_g}\right)^b$$

$$Q_{100} = 14.000 \text{ cfs}\left(\frac{0{,}47 \text{ sq mi}}{84{,}4 \text{ sq mi}}\right)^{0{,}.87}$$

Q_{100} = 153 pies cúbicos por segundo (cfs)

C. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE ALCANTARILLAS CON EL NOMOGRAMA DE CAPACIDAD DE ALCANTARILLA DE LA ADMINISTRACIÓN FEDERAL FEDERAL DE CARRETERAS

El Nomograma de Capacidad de Alcantarilla de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) se suele utilizar en todos los Estados Unidos como una herramienta para determinar el diámetro de alcantarilla recomendado según el flujo de diseño calculado y la relación de profundidad de la cuenca (testero/diámetro) (Figura A-1).

Una vez que se determina el flujo de crecida de diseño de 100 años utilizando uno o más de los métodos indicados anteriormente, los pasos para determinar el tamaño de alcantarilla adecuado son muy sencillos:

1. Determine el "tipo de entrada" de alcantarilla de entre los tres tipos que se ilustran en la Figura A-1. Generalmente, la mayoría de los caminos rurales tienen alcantarillas con entradas "salientes" (forma de cilindro). Otras alternativas son las entradas ingleteadas o biseladas y las alcantarillas con testeros.

2. Determine la "relación de profundidad de la cuenca" para el cruce de arroyo propuesto. La "relación de profundidad de la cuenca" es la relación de *HD*/*D* en donde *HD* es la profundidad del testero desde

la altura del relleno en donde el agua comienza a salir fuera del cruce (este podría ser el punto más bajo en el relleno o una zanja del camino adyacente hasta el fondo de la pipa de la alcantarilla (fondo de la alcantarilla) y *D* es el diámetro o la elevación de la entrada de la alcantarilla. No se recomienda diseñar una alcantarilla de cruce de arroyo con una relación de *HW/D* mayor a 1, si bien el relleno podría ser considerablemente mayor y se podría adaptar físicamente a un estanque de gran tamaño.[1]

3. Para determinar el tamaño de una alcantarilla de entrada saliente, coloque un borde recto que conecte la relación de "profundidad de la cuenca" de 1 en la escala de la "entrada saliente" a (escala de extrema derecha) a través de la descarga de flujo de diseño de 100 años calculada para el sitio del cruce de arroyo propuesto (ver escala media en el diagrama para la "descarga (*Q*) en cfs".

4. Lea el diámetro de alcantarilla necesario en la escala izquierda del nomograma.

5. Por ejemplo, un arroyo con Q_{100} = 200 cfs, diseñado con una alcantarilla con entrada saliente con una relación de profundidad de la cuenca = 1 requeriría un tubo de 72 de diámetro.

1Las normas de diseño vigentes recomendadas tienen el objetivo de que las alcantarillas se ajusten a la relación de "profundidad de la cuenca" de 1, donde se presume que la alcantarilla sobrepasa la capacidad si la profundidad del agua supera la entrada de la alcantarilla (*HW/D* = 1). Esta es una recomendación de diseño conservadora y protectora. Técnicamente, la mayoría de los rellenos de cruces de arroyos tienen espacio para mantener el agua más arriba, a veces mucho más arriba, de la parte superior de la alcantarilla, pero el uso de testeros altos para ajustar los flujos máximos es riesgoso ya que puede provocar un mayor riesgo de rebalses y fallas en los cruces. Como la mayoría de las alcantarillas se taponan y la excedencia se atribuye al taponamiento de la alcantarilla con escombros leñosos y sedimentos, en la actualidad se propone que las relaciones de diseño de *HW/D* propuestas sean menores a 1 (ver Sección "D" debajo para leer las sugerencias de "profundidad de la cuenca" para atender o contrarrestar los escombros leñosos y sedimentos).

D. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE ALCANTARILLAS PARA ATENDER EL FLUJO DE CRECIDA DE DISEÑO DE 100 AÑOS, LOS ESCOMBROS LEÑOSOS Y SEDIMENTOS

En general, el tamaño de las alcantarillas se ajusta únicamente para el flujo de crecida de diseño de 100 años. Algunos terratenientes o administradores de tierras buscan diseñar las alcantarillas de cruces de arroyos para atender los sedimentos y residuos orgánicos esperados además de cumplir con los requisitos para el pasaje de los flujos máximos de 100 años. Esto es muy importante en los canales de arroyos confinados y no confinados que transporten muchos escombros leñosos y sedimentos durante los flujos de crecida.

Una metodología propuesta para lograr esto consiste en el diseño del tamaño de la alcantarilla sobre la base de una relación de diámetro de testero a alcantarilla de 0,67 (*HW/D*), en lugar de la relación de *HW/D* de 1,0 que se aplica habitualmente (Cafferata y otros, 2004). Esto suele generar alcantarillas con un diámetro de 12 pulgadas, mayor a lo necesario para pasar el flujo de crecida máximo de 100 años. Otro método para reducir el potencial de taponamiento de las alcantarillas por sedimentos y residuos orgánicos es determinar el tamaño de las alcantarillas según el ancho del canal con crecida, ya sea usando alcantarillas ovales o con arco o usando alcantarillas redondas de gran tamaño que sea compatibles o mayores al ancho del canal con crecida promedio (Flanagan y Furniss, 2003). Esto suele utilizarse para el diseño de alcantarillas incrustadas para el paso de peces (NMFS, 2001). Un tercer método para tener en cuenta el potencial de taponamiento (y qué PWA se suele utilizar) es aplicar tratamientos secundarios, como entradas acampanadas o barreras de escombros, en cruces de arroyos con alcantarillas con posibilidades mayores a lo normal de sufrir taponamientos.

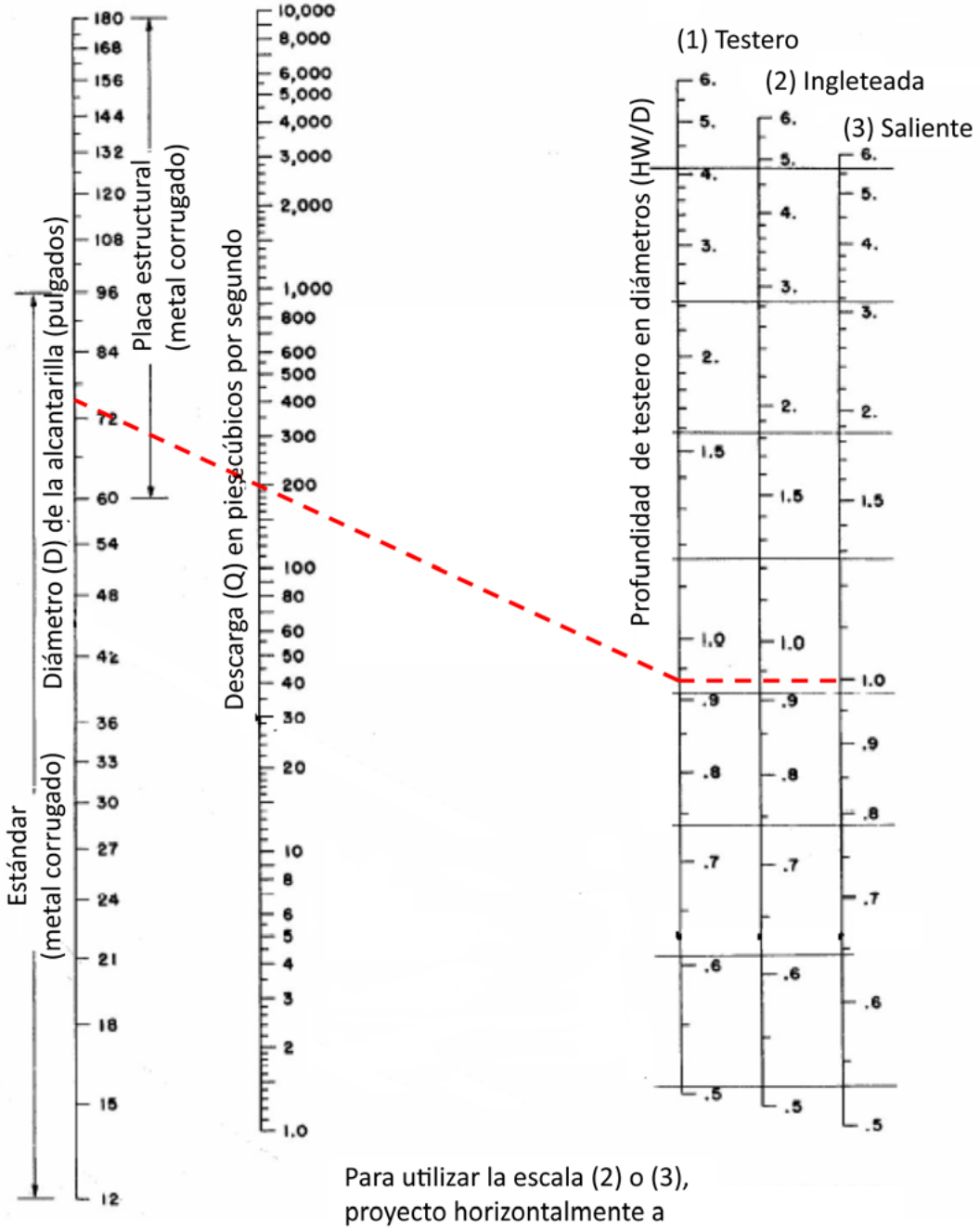


FIGURA A-1.
Nomograma de control de entrada de capacidad de alcantarilla de FHWA.

E. REFERENCIAS

Cafferata, P., Spittler, T., Wopat, M., Bundros, G., and Flanagan, S., 2004, Designing watercourse crossings for passage of 100 year flood flows, wood, and sediment, Departamento Forestal y Protección contra Incendios de California, Sacramento, CA. http://www.fire.ca.gov/ResourceManagement/PDF/100yr32links.pdf

Administración Federal de Carreteras, 1965, Hydraulic charts for the selection of highway culverts, HEC 5, Hydraulic Engineering Circular No. 5, Departamento de Comercio de los Estados Unidos. http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hec/hec05.pdf

Flanagan, S. A.; Furniss. M. J. 1997. Field indicators of inlet-controlled road-stream-crossing capacity. Gen. Tech. Rep. 9777 1807–SDTDC. San Dimas, CA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Centro Tecnológico y de Desarrollo San Dimas. 5 p.

Servicio Nacional de Pesquerías Marinas, 2011, Guidelines for salmonid passage at stream crossings, Departamento de Comercio, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

USGS, 2012, Methods for Determining Magnitude and Frequency of Floods in California, Based on Data Through Water Year 2006, US Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5113, 38 p. http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5113/

NOTAS:

APÉNDICE B:
Descripción general de los permisos necesarios para trabajos de construcción en o cerca de arroyos, humedales y otros cursos de agua

Las actividades de construcción en o cerca de arroyos, humedales y cursos de agua podría estar bajo la competencia y la autoridad regulatoria de las agencias federales, estatales o locales. La planificación, el diseño y la implementación de proyectos de construcción de caminos requieren de permisos, acuerdos u otras autorizaciones específicas y se deben respetar pautas federales y estatales desarrolladas para proteger a los peces, la vida silvestre, la vegetación nativa y la calidad del agua. Asegúrese de contactarse con sus agencias regulatorias locales para determinar qué permisos se requieren para las actividades de construcción en áreas sensibles, como arroyos, zonas ribereñas y humedales. También es importante entender las consecuencias si no se obtienen los permisos necesarios antes de las actividades de construcción. Las multas por incumplimiento de los procesos de obtención de permisos federales, estatales y locales pueden ser sustanciales y en algunos casos pueden superar el costo total del proyecto.

Este apéndice explica los requisitos de notificación necesarios en el estado de California para cualquier actividad de construcción que:

- desvíe u obstruya substancialmente el flujo natural de un río, arroyo o lago;
- modifique substancialmente o use material del lecho, canal o banco de un río, arroyo o lago; o
- deposite o elimine escombros, desechos u otro material que contenga pavimento destrozado, descascarado o tierra donde pueda pasar a cualquier río, arroyo o lago.

El artículo 1602: El Programa de Modificación de Lagos y Cauces es un acuerdo regulado por el Departamento de Peces y Vida Silvestre de California (CDFW) para proteger a los peces, la vida silvestre y las plantas nativas de California. El proceso de notificación del artículo 1602 se aplica a todos los ríos, arroyos y lagos perennes, intermitentes y fugaces del estado.

El artículo 1602 de la sección del Código de Pesca y Caza (artículos 1600–1616) establece:

1602. (a) Una entidad no podrá desviar ni obstruir substancialmente el flujo natural de un río, arroyo, o lago, ni cambiar o usar substancialmente el lecho, canal o banco de un río, arroyo o lago; o depositar o eliminar escombros, desechos u otro material que contenga pavimento destrozado, descascarado o tierra donde pueda pasar a cualquier río, arroyo o lago, salvo en los siguiente supuestos:

(1) Si el departamento recibe una notificación escrita que informe sobre la actividad del modo estipulado por el departamento La notificación debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

(A) Una descripción detallada de la ubicación del proyecto y un mapa.

(B) El nombre del río, arroyo o lago afectado, si corresponde.

(C) Una descripción detallada del proyecto que incluya, entre otras cosas, los planos y dibujos de construcción, si corresponde.

(D) Una copia de los documentos preparados en virtud de la División 13 (comenzando con la Sección 21000) del Código de Recursos Públicos

(E) Una copia de los permisos o acuerdos locales, estatales o federales aplicables que ya fueron emitidos.

(F) Cualquier otra información requerida por el departamento.

(2) Si el departamento determina que la notificación está completa en virtud del Capítulo 4.5 (comenzando con la Sección 65920) de la División 1 del Título 7 del Código de Gobierno, independientemente de que la actividad constituya un proyecto de desarrollo a los fines de ese capítulo.

(3) Si la entidad paga los costos aplicables, en virtud del artículo 1609.

(4) Si ocurre alguno de los siguientes eventos:

(A) (i) Si el departamento informa a la entidad, por escrito, que la actividad no afectará substancialmente a los peces y la vida silvestre existente y que la entidad podría comenzar la actividad sin un acuerdo, siempre y cuando la entidad realice la actividad del modo descripto en la notificación, inclusive cualquier medida en la notificación destinada a proteger los peces y la vida silvestre.

(ii) Cada región del departamento deberá registrar las notificaciones de las actividades que no requieran un acuerdo. El registro debe indicar la fecha en la que el departamento recibió la notificación, una breve descripción de la actividad propuesta y la ubicación de la actividad. Cada notificación debe conservarse en el registro por el plazo de un año. Cualquier persona podrá solicitar por escrito que la oficina regional le envíe el registro a esa persona en forma mensual por el plazo de un año. Cualquier solicitud realizada en virtud de esta cláusula puede renovarse en forma anual.

(B) Si el departamento determina que la actividad podría afectar substancialmente a los peces y la vida silvestre existente y emite un acuerdo definitivo a la entidad que incluye medidas razonables necesarias para proteger al recurso y la entidad realiza la actividad en virtud del acuerdo.

(C) Si un panel de árbitros emite un laudo definitivo a la entidad en virtud del párrafo (b) del artículo 1603 y la entidad realiza la actividad en virtud del acuerdo.

(D) Si el departamento no emite un borrador de acuerdo a la entidad dentro de los 60 días de la fecha desde que la notificación está completa y la entidad realiza la actividad del modo descripto en la notificación, inclusive cualquier medida en la notificación destinada a proteger los peces y la vida silvestre.

(b)(1) Si una actividad requiere mantenimiento de rutina y la operación de plantas de suministro de agua, drenaje, control de inundaciones o tratamiento y eliminación de residuos, no se requiere el envío de una notificación ni un acuerdo con el departamento luego de la notificación y el acuerdo inicial, salvo que el departamento determine:

(A) Que el trabajo que se describe en el acuerdo se ha modificado substancialmente.

(B) Que las condiciones que afectan a los peces y la vida silvestre se han modificado substancialmente y que dichos recursos se ven perjudicados por la actividad realizada en virtud del acuerdo.

(2) Este párrafo es aplicable únicamente si la notificación al departamento y el acuerdo con el departamento se realizaron antes del 1° de enero de 1977 y el departamento ha recibido una copia del acuerdo o alguna otra prueba de la existencia del acuerdo que sea satisfactoria para el departamento, si corresponde

(c) Que es ilegal que una persona viole alguna disposición de este capítulo.

El siguiente documento constituye el paquete de notificaciones suministrado en el sitio web del CDFW: http://www.dfg.ca.gov/habcon/1600/forms.html. El documento incluye (1) el proceso de notificación e instrucciones (2) el formulario de envío de notificaciones, (3) documentos adjuntos para actividades específicas, incluso extracción de grava/arena/rocas, tala de madera, desvío de agua y mantenimiento de rutina, (4) tabla de costos de notificación y (5) preguntas frecuentes y respuestas.

Una vez que se presenta la notificación, la CDFW determinará, dentro de los 30 días, si el paquete de notificación está completo y si debe firmar un Acuerdo de Alteración de Lagos o Lechos de Arroyos para la actividad propuesta. Deberá firmar un acuerdo si la actividad podría afectar substancialmente a los peces y la vida silvestre existente. En ese caso, la CDFW podría realizar una inspección en el sitio y luego presentar un acuerdo borrador al solicitante. El acuerdo borrador incluirá medidas para proteger a los peces y la vida silvestre durante la realización del proyecto. Una vez que reciba el acuerdo definitivo, podrá comenzar el proyecto que cubre el acuerdo, siempre y cuando haya obtenido las autorizaciones locales, estatales y federales necesarias. La mayoría de los estados y otras entidades regulatorias tienen procesos para la obtención de permisos similares al proceso de notificación del artículo 1602 de California para trabajar en y cerca de arroyos y lagos.

A. OTROS PERMISOS

Dependiendo de las actividades del proyecto que se proponen, además de un Acuerdo, el solicitante podría necesitar obtener otros permisos, acuerdos o autorizaciones de una o más agencias gubernamentales. En primer lugar, debe contactarse con los departamentos de planificación de la ciudad o el condado en el que se llevará a cabo el proyecto para determinar si se requiere algún permiso local para el proyecto.

Las agencias estatales y federales que se enumeran debajo, u otras en su área, también podrían tener autoridad para emitir permisos relacionados con el proyecto. En el caso de que no conozca los requisitos de permisos, debe contactarse con estas agencias.

B. AGENCIAS ESTATALES

- Comisión Costera
- Departamento de Conservación
- Departamento Forestal y Protección contra Incendios
- Departamento de Recursos Hídricos
- Junta de Reclamación/ Distrito
- Junta Regional de Control de la Calidad del Agua
- Comisión de Tierras del Estado
- Junta de Control de Recursos Acuíferos del Estado

C. AGENCIAS FEDERALES

- Servicio Nacional de Pesquerías Marinas; NOAA
- de los Estados Unidos Cuerpo de Ingenieros del Ejército
- de los Estados Unidos Servicio de Pesca y Fauna Silvestre
- de los Estados Unidos Servicio Forestal (caminos conjuntos)
- de los Estados Unidos Oficina de Gestión de Tierras (caminos conjuntos)

D. LEY DE CALIDAD AMBIENTAL DE CALIFORNIA

El Departamento debe cumplir con la Ley de Calidad Ambiental de California (CEQA) antes de poder emitir un Acuerdo definitivo. La emisión de un Acuerdo definitivo se produce cuando usted le entrega al Departamento el Acuerdo borrador firmado y el Departamento lo firma. Muchas veces, el Departamento recibe el Acuerdo borrador firmado de un solicitante antes de que la agencia líder haya cumplido con la CEQA. En dichos casos, el Departamento debe esperar a que la agencia líder cumpla plenamente con la CEQA para poder firmar el Acuerdo borrador y convertirlo en un Acuerdo definitivo.

En virtud de la CEQA, la "agencia líder" es la agencia gubernamental local o estatal que tiene la responsabilidad primaria de llevar a cabo o aprobar el proyecto. Todas las demás agencias locales o estatales con autoridad de aprobación discrecional son "agencias responsables". La agencia líder debe determinar en primer lugar si el proyecto está exento de la CEQA. Si el proyecto no está exento, la agencia líder debe preparar un documento ambiental, que será una declaración negativa, una declaración negativa mitigada o un informe de impacto ambiental. Una agencia líder tiene derecho al reembolso de todos sus costos relacionados con la CEQA. Si el Departamento actúa como agencia líder para el proyecto que cubre su Acuerdo borrador, le solicitará que realice un depósito inicial para cubrir sus costos iniciales relacionados con la CEQA. Además del depósito y de cualquier otro costo relacionado con la CEQA, deberá pagar los costos de notificación.

Si el Departamento es una agencia responsable, junto con el formulario de notificación debe presentar una copia de cualquier documento preparado por la agencia líder en virtud de la CEQA, si corresponde. También debe identificar a la agencia líder en el formulario de notificación (párrafo 14.D). El Departamento

No podrá firmar un Acuerdo definitivo hasta tanto no reciba y revise una copia de la Notificación de Determinación.

En virtud de la disposición 711.4 de la FGC, debe pagar un arancel de presentación a la agencia líder si el proyecto está sujeto a la

CEQA, salvo que se aplique alguna de la excepciones especificadas en la disposición 711.4(c) (2) o (3) o (d) (1) o (2).

Puede consultar los aranceles de CEQA de la disposición 711.4 de la FGC vigentes en www.leginfo.ca.gov/calaw.html. Además del arancel de presentación deberá pagar los costos de notificación.

Para obtener una descripción detallada de la CEQA, consulte la norma (artículos 21000 y siguientes del Código de Recursos Públicos [PRC]), las

Pautas de la CEQA (artículo 15000 y siguientes del título 14 del Código de Regulaciones de California [CCR]) que implementa la CEQA y los manuales y guías de la CEQA. Puede consulta la CEQA y las pautas de CEQA están disponibles en http://www.ceres.ca.gov/planning

APPENDIX C:

Junta Forestal y de Protección Contra Incendios de California Normas y Anexo Técnico 2013 Nro. 5: Directrices sobre desconexión hidrológica, drenaje del camino, minimización de desvíos potenciales y cruces de alto riesgo

La Junta Forestal y de Protección Contra Incendios de California (CAL FIRE) es responsable del desarrollo de las normas de práctica forestal y de exigir el cumplimiento de las Normas de Prácticas Forestales de California (CFPR), en virtud del Título 14, Capítulo 4, del Código de Regulaciones de California, e incluye regulaciones para actividades de tala de madera y construcción, mantenimiento y clausura de caminos en tierras de propiedad privada. Las CFPR tienen la intención de garantizar que la explotación forestal y la gestión forestal se realicen de manera tal que protejan los recursos públicos incluso los peces, la vida silvestre, los bosques y los arroyos. Las normas relativas a los caminos de explotación forestal, las plataformas y los cursos de agua en caminos de explotación forestal se organizan en el paquete de "Normas sobre caminos" de las CFPR y se actualizaron recientemente en el 2013.

Además del paquete de Normas sobre caminos, CAL FIRE desarrolló el "Anexo Técnico Nro. 5: Directrices sobre desconexión hidrológica, drenaje del camino, minimización de desvíos potenciales y cruces de alto riesgo", un documento que brinda pautas para Silvicultores Profesionales Registrados, Operadores Madereros Certificados, propietarios de terrenos madereros y personal de organismos para un drenaje y una desconexión hidrológica adecuados del camino de explotación. El documento brinda (1) una explicación de la conectividad y la desconexión hidrológica; (2) pautas para la ubicación adecuada de establecimientos y estructuras de drenaje, disipadores de energía, peralte hacia afuera de la superficie del camino y colocación de vados ondulantes superficiales; (3) una descripción del potencial de desviación y la correcta colocación de vados ondulantes superficiales; y (4) posibles enfoques para manejar cruces de alto riesgo.

El *Manual de caminos forestales y rurales* es compatible con las normas sobre caminos de CAL FIRE y con los objetivos de orientación estipulados en el Anexo Técnico Nro. 5. El manual también es compatible con la terminología de las CFPR, con la excepción del término "abandono". Según las CFPR, el abandono de un camino es lo que el manual denomina clausura de caminos. El manual también difiere levemente de las CFPR en el sentido que las CFPR utiliza un lenguaje generalizado con respecto a la construcción, la clausura y el mantenimiento de caminos. En estos casos, el Manual brinda más pautas detalladas y recomendaciones específicas compatibles con los objetivos de la Ley de Prácticas Forestales de Z'berg-Nejedly y las CFPR.

A. C-I. NORMAS SOBRE CAMINOS 2013

TÍTULO 14 DEL CÓDIGO DE REGULACIONES DE CALIFORNIA, ARTÍCULO 895,1. DEFINICIONES.

Camino abandonado significa un camino de explotación forestal en el cual se han aplicado medidas proactivas para su eliminación de la red de caminos permanente.

Abandono significa la implementación de medidas para eliminar de manera eficaz un camino, plataforma o curso de agua de explotación forestal existente de la red de caminos permanente.

Camino accesorio significa un camino de explotación forestal bajo la propiedad o el control del propietario maderero, propietario de terrenos madereros, operador maderero o proponente del plan que se utilizará para el transporte de troncos.

Berma significa un cordón, dique o montículo lineal de tierra, construido para controlar el agua y dirigir las aguas de escorrentía o que se haya desarrollado por actividades de nivelación del camino.

Bajío de muro de cabeza conectado es una característica geomórfica que consiste en una depresión cóncava con pendientes convergentes, en general con una inclinación del 65 por ciento o más, que se conecta a un curso de agua o lago mediante una depresión lineal continua y que ha sido esculpida con el tiempo geológico por deslizamientos de tierras poco profundos. El perfil de pendiente suele ser suave y no se quiebra con bancos, pero puede verse interrumpido por depósitos o marcas por un deslizamiento de tierras reciente. Puede haber agua subterránea y áreas húmedas en la base del bajío. La profundidad del suelo y del coluvio suelen ser mayores a la del eje del bajío y se afinan a ambos lados.

Vado crítico significa un vado o un punto bajo construido en una superficie de camino de explotación forestal en pendiente descendiente, o ascendente, de un cruce de un curso de agua de un camino de explotación forestal para prevenir que el desbordamiento del cruce drene por el camino y minimizar la erosión del relleno.

Coronamiento significa la creación de una superficie de camino con un perfil transversal convexo que drene la escorrentía a ambos lados del camino.

Camino desactivado significa un camino de explotación forestal que forma parte de una red de caminos permanentes en el cual se han implementado medidas para evitar el uso activo por parte de camiones de explotación forestal y vehículos con tracción en las cuatro ruedas de producción estándar.

Desactivación significa la implementación de las medidas necesarias para evitar el uso activo de un camino de explotación forestal, una plataforma o un curso de agua de un camino de explotación forestal existente.

Material excedente significa el material excavado que no se utiliza ni necesita como parte funcional del camino o plataforma. El material excedente es sinónimo de residuos.

Periodo de clima húmedo extendido significa el periodo que va del 15 de octubre al 1° de mayo.

Relleno significa el material que se coloca mecánicamente y se acumula en capas compactadas para formar una calzada o una superficie de plataforma. El relleno incluye el material colocado alrededor de alcantarillas y las estructuras de drenaje relacionadas en cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal.

Vado significa un cruce de un curso de agua de un camino de explotación forestal en donde la pendiente del camino se hunde en el canal del curso de agua.

Área de tala significa el área en el cual se talan y retiran árboles.

Desconexión hidrológica significa la eliminación de rutas directas de drenaje o de flujo superficial de escorrentía a un curso de agua o lago.

Peralte hacia adentro significa dar al camino de explotación forestal o a la superficie de la plataforma una forma tal que le permita drenar hacia un corte marginal o una cuneta interna.

Peralte hacia afuera significa dar a la superficie del camino una forma tal que le permita drenar hacia el borde externo del camino de explotación forestal o la plataforma.

Camino permanente significa un camino de explotación forestal que forma parte de una red de caminos permanentes y ha sido diseñado para su utilización durante todo el año. Este tipo de caminos tiene

una superficie que es adecuada para mantener una superficie operativa estable durante todo el año.

Red de caminos permanente significa los caminos permanentes, estacionales y temporales, y los caminos desactivados, incluso los caminos accesorios, que brindan la infraestructura necesaria para las operaciones madereras y la gestión forestal. Los caminos abandonados no forman parte de la red de caminos permanente.

Cruce de curso de agua permanente significa un cruce de curso de agua que permanecerá una vez que finalicen las operaciones madereras.

Periodo de mantenimiento estipulado significa el periodo de tiempo, que comienza con la presentación del informe de finalización del trabajo, siempre que el informe sea aprobado, durante el cual se deben mantener funcionales los controles de erosión que sean requeridos y construidos como parte de las operaciones madereras.

Camino público significa un camino abierto al público en general que: (a) forme parte del sistema de caminos estatal o del condado o (b) un camino en el cual una agencia pública tenga una servidumbre ilimitada y establecida en escritura.

Caminos reconstruidos significa los caminos existentes que deban ser restaurados o mejorados para ser utilizados para el transporte de productos forestales; el término "reconstruido" no incluye un trabajo de mantenimiento o rehabilitación del camino que no requiere un cambio substancial en el prisma original del camino.

Alrededores del camino significa la parte de la superficie del camino de explotación forestal que drena el flujo de agua superficial al cruce del curso de agua.

Mantenimiento del camino significa las actividades que no requieren un cambio substancial en el prisma del camino de explotación forestal para mantener superficies operativas estables, las instalaciones y estructuras de drenaje de caminos de explotación forestal en funcionamiento y los cortes marginales y las pendientes de relleno estables. Algunos ejemplos de mantenimiento del camino pueden incluir el recubrimiento con rocas de una superficie de camino; modelado o peralte hacia afuera localizado; la instalación y el mantenimiento de vados ondulantes superficiales y vados críticos; la restauración de la capacidad funcional de las cunetas internas, drenajes de intersección o alcantarillas; y la reparación de barreras de agua.

Prisma del camino significa todas las partes de un camino, incluso los bancos de corte, las cunetas, las superficies del camino, los acotamientos del camino y los rellenos del camino.

Camino estacional significa un camino de explotación forestal que forma parte de una red de caminos permanentes y no ha sido diseñado para su utilización durante todo el año. Este tipo de caminos tiene una superficie que es adecuada para mantener una superficie operativa estable durante el periodo de uso.

Vertido lateral significa el material de tierra sobrante que se empuja o vierte sobre el costado de caminos o plataformas.

Descarga de sedimentos significativa significa la erosión del suelo que es, o será, descargada a los cursos de agua o lagos en cantidades tales que viola los Requisitos de Calidad del Agua o genera un gran impacto adverso individual o acumulado para los usos beneficiosos del agua. Un indicador de Descarga de sedimentos significativa es un aumento visible en la turbidez para recibir aguas de Clase I, II, III o IV.

Sitio de erosión potencial o existente significativa significa un lugar en donde la erosión del suelo que es, o será, descargada a los cursos de agua o lagos en cantidades tales que viola los Requisitos de Calidad del Agua o genera un gran impacto adverso individual o acumulado para los usos beneficiosos del agua.

Camino temporal significa un camino de explotación forestal que se utilizará únicamente durante las operaciones madereras y que se desactivará o será abandonado una vez que finalicen las operaciones.

Camino a través de corte significa un tramo de un camino que está debajo del nivel del suelo adyacente a ambos lados del camino.

TÍTULO 14 DEL CÓDIGO DE REGULACIONES DE CALIFORNIA, ARTÍCULO 914.7 [934.7, 954.7]. OPERACIONES MADERERAS, PERÍODO INVERNAL.

Durante el período invernal:

(a) No se deben realizar tareas mecánicas de preparación del sitio y de tala de madera, salvo que se incorpore y se respete un plan operativo para el período invernal, o salvo que se cumpla con los requisitos de la sección (c). Los métodos de procesamiento con cable, helicóptero y globo están exentos.

(b) El plan operativo para el período invernal debe incluir las medidas específicas que se deben tomar en el período operativo invernal para evitar o reducir sustancialmente la erosión, el movimiento de suelos en los cursos de agua y la compactación del suelo como consecuencia de las operaciones madereras. Un plan operativo para el período invernal debe abordar los siguientes temas:

(1) Clasificación de peligro de erosión.

(2) Métodos mecánicos de preparación del sitio.

(3) Sistema de procesamiento (caminos de maquinaria construidos y cruces de cursos de agua para tractores).

(4) Período operativo.

(5) Sincronización de las instalaciones de control de erosión.

(6) Consideración de la forma de las precipitaciones, lluvia o nieve.

(7) Condiciones del suelo (condiciones de humedad del suelo, suelo congelado).

(8) Sistema de silvicultura—capa de terreno.

(9) Operaciones dentro de una WLPZ.

(10) Limitaciones para el uso de equipos.

(11) Áreas inestables conocidas.

(12) Caminos y plataformas de explotación forestal.

(c) En lugar de establecer un plan operativo para el período invernal, el silvicultor profesional registrado puede especificar las siguientes medidas en el THP:

(1) La operación de tractores o el uso de tractores para la construcción de caminos de explotación forestal, plataformas, cruces de cursos de agua, trazados, cortafuegos u otros caminos para tractores debe realizarse únicamente durante períodos secos, sin lluvia, y no debe realizarse sobre suelos saturados que podrían producir una descarga significativa de sedimentos.

CÓDIGO DE REGULACIONES DE CALIFORNIA, ARTÍCULO 914.8 [934.8, 954.8]. CRUCE DE CURSO DE AGUA DE CAMINO PARA TRACTORES

(d) Las instalaciones de cruces de cursos de agua de caminos para tractores deben ser retiradas y estabilizadas antes de que comience el período invernal en virtud de las disposiciones del Título 14 del Código de Regulaciones de California, artículos 923.9 [943.9, 963.9], secciones (p)(1)–(4), o según el plan operativo del período invernal. El silvicultor profesional registrado puede proponer una excepción, si está explicada y justificada en el plan y si el Director determina que cumple con los requisitos de este artículo.

CÓDIGO DE REGULACIONES DE CALIFORNIA, ARTÍCULO 915.1 [935.1, 955.1]. USO DE EQUIPOS PESADOS PARA LA PREPARACIÓN DEL SITIO.

(a) El uso de equipos pesados para la preparación del sitio debe cumplir con las disposiciones

establecidas en el Título 14 del Código de Regulaciones Federales, artículo 914.2 [934.2, 954.2].

(b) No se deben utilizar equipos pesados para la preparación del sitio en condiciones de suelo saturado que podrían producir una descarga de sedimentos significativa; o cuando no pueden operar con su propia energía debido a las condiciones de humedad.

ARTÍCULO 916.3 [936.3, 956.3]. LIMITACIONES GENERALES CERCA DE CURSOS DE AGUA, LAGOS, PANTANOS, PRADOS Y OTRAS ÁREAS HÚMEDAS

(c) El operador maderero no debe construir ni usar caminos para tractores en cursos de agua Clase I, II, III o IV, en la WLPZ, pantanos, prados húmedos y otras áreas húmedas, salvo que sea explicado y justificado por el silvicultor profesional registrado, y aprobado por el Director, excepto en los siguientes casos:

(1) En cruces de caminos para tractores preparados como se describe en el Título 14 del CCR, artículo 914.8(b) [934.8(b), 954.8(b)].

(2) En cruces de cursos de agua Clase III que estén secos al momento de su utilización.

(3) En cruces de caminos y para tractores nuevos y existentes aprobados como parte del proceso del Código de Pesca y Caza (F&GC, artículo 1600 y sig.).

ARTÍCULO 916.4 [936.4, 956.4]. PROTECCIÓN DE CURSOS DE AGUA Y LAGOS.

(a) El silvicultor profesional registrado o la persona designada supervisada debe realizar una evaluación de campo y mapear todos los lagos y cursos de agua Clase I, II, III y IV.

(1) Como parte de esta evaluación de campo, el silvicultor profesional registrado o la persona designada supervisada debe evaluar las áreas cercanas a, y las áreas con posible impacto directo a, los cursos de agua y lagos para identificar condiciones sensible, como por ejemplo, caminos existentes y propuestos, caminos de maquinaria y plataformas, bancos de cursos de agua inestables y erosionables, áreas inestables pendiente arriba, escombros, potencial de atascamiento, capacidad de flujo inadecuada, canales de migración, canales de desbordamiento, áreas propensas a crecidas y zonas ribereñas en donde los valores establecidos en el Título 14 del CCR, artículo 916.4 [936.4, 956.4, sección (b) se ven afectados.

ARTÍCULO 916.9 [936.9, 956.9]. PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DE LAS FUNCIONES BENEFICIOSAS DE LA ZONA RIBEREÑA EN CUENCAS FLUVIALES CON SALMÓNIDOS ANÁDROMOS ENUMERADOS.

Además de todas las demás Normas de Práctica Forestal, se deben aplicar los siguientes requisitos a cualquier cuenca fluvial con salmónidos anádromos enumerados. Los requisitos del Título 14 del Código de Regulaciones de California, artículo 916.9 [936.9, 956.9] preceden a otras secciones de las Normas de Práctica Forestal.

Alcance geográfico—Los requisitos para cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados difieren según la ubicación geográfica de la cuenca fluvial y las características geomórficas del curso de agua. Se establecen requisitos únicos para cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados en el caso de 1) cursos de agua en la zona costera anádroma con canales confinados, 2) cursos de agua con áreas propensas a crecidas o zonas de migración de canal y 3) cursos de agua con canales confinados ubicados fuera de la zona costera anádroma.

Las cuencas fluviales que no entran dentro de la definición de "cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados" no están sujetas a esta sección, excepto en los siguientes casos: Las disposiciones del Título 14 del Código de Regulaciones de California, artículo 916.9 [936.9, 956.9], secciones (k)–(q), también son aplicables a la planificación de cuencas fluviales inmediatamente

corriente arriba de, y contiguas a, cualquier cuenca fluvial con salmónidos anádromos enumerados con la finalidad de reducir los impactos adversos significativos de los sedimentos finos transportados. Los proyectos en otras cuencas fluviales corriente arriba que fluyen en cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados, que no tienen ninguna otra designación arriba, podrían estar sujetos a estas disposiciones sobre la base de una evaluación compatible con los requisitos de las evaluaciones de impacto acumulado de los artículos 898 y 912.9 [932.9, 952.9] del Título 14 del CCR y el Anexo a la Norma Técnica No. 2, Evaluación de impactos acumulados. Estos requisitos no se aplican a las cuencas fluviales corriente arriba, en las que los diques permanentes atenúan el transporte de sedimentos finos a cursos de agua corriente abajo con salmónidos anádromos enumerados.

(f) Cursos de agua Clase I

(1) Para los cursos de agua Clase I, en donde los peces están presentes siempre o en forma estacional o en donde el hábitat de los peces puede recuperarse, cualquier plan que involucre operaciones madereras dentro de la WLPZ debe contener la siguiente información:

(A) Especificaciones claras y exigibles de las operaciones madereras dentro de la WLPZ Clase I, incluso una descripción de cómo se debe realizar una perturbación o un trabajo de tala o eliminación de un tronco o árbol para cumplir con las disposiciones del Título 14 del CCR, artículo 916.2 [936.2, 956.2], sección (a) y artículo 916.9 [936.9, 956.9], sección (a).

(B) Documentación que indique cómo la tala propuesta en la WLPZ contribuirá a los objetivos de cada zona mencionada en el Título 14 del CCR, artículo 916.9 [936.9, 956.9], sección (c) y a otros objetivos mencionados en el Título 14 del CCR, artículo 916.9 [936.9, 956.9], sección (a) (1)–(8). La documentación debe incluir los exámenes, análisis y otros requisitos enumerados en el Título 14 del CCR, artículo 916.4 [936.4, 956.4], sección (a).

(3) Cursos de agua Clase I con áreas propensas a crecidas o zonas de migración de canal:

(E) Prácticas de gestión preferidas en la zona interna A y B de áreas propensas a crecidas

4. Evitar la concentración de desperdicios madereros y preparación del sitio: o la quema de escombros.

5. Delinear la zona en el suelo: Se deben marcar las ubicaciones de todas las zonas de la WLPZ en el suelo.

6. Evitar el uso de sitios de succión de agua: o permisos de alteración del arroyo.

7. Evitar perturbaciones al hábitat de áreas propensas a crecidas críticas: y escombros leñosos de gran tamaño.

(F) Zona externa:

(k) Limitaciones de uso del camino para tractores durante todo el año.

(1) No se deben utilizar caminos para tractores si las operaciones podrían generar una descarga de sedimentos significativa.

(l) Período de clima húmedo extendido—No se deben realizar operaciones madereras salvo que el plan aprobado incorpore un plan operativo completo para el período invernal en virtud del Título 14 del Código de Regulaciones de California, artículo 914.7 [934.7, 954.7], sección (b).

(1) Salvo que el plan operativo para el período invernal proponga operaciones durante un período de clima húmedo extendido con pocos antecedentes de humedad del suelo, no se deben construir, reconstruir ni utilizar caminos para tractores en pendientes que superen el 40 por ciento y dentro de los 200 pies de un curso de agua Clase I, II o III, medido desde el curso de agua o la línea de transición del lago.

(n) Tratamientos para estabilizar los suelos—Dentro de la WLPZ, y dentro de cualquier ELZ o EEZ designado para la protección de cursos de agua o lagos, el plan debe describir los tratamientos para estabilizar los suelos, minimizar la erosión del suelo y prevenir la descarga significativa de sedimentos de la siguiente manera.

(1)

(C) Cualquier otra área de suelo perturbado que amenace con descargar sedimentos a las aguas en cantidades que podrían generar una descarga de sedimentos significativa.

(2) Las medidas para el tratamiento de estabilización del suelo pueden incluir, entre otras cosas, la remoción, el acorazamiento con enrocamiento de protección, la replantación, la cobertura, la instalación de dispositivos comerciales de control de erosión según las especificaciones del fabricante o estabilizadores químicos del suelo.

ARTÍCULO 923 [943,963]. PROPÓSITO PARA LOS CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL, PLATAFORMAS Y CRUCES DE CURSOS DE AGUA DE CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL.

(a) Todos los caminos de explotación forestal, plataformas y cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal deben ser planificados, construidos, reconstruidos, utilizados, mantenidos, eliminados, abandonados y desactivados de manera tal que:

(1) Sean compatibles con las tareas de mejora y mantenimiento a largo plazo de los recursos forestales.

(2) Se adapte a los sistemas de procesamiento adecuados.

(3) Sean económicamente viables.

(b) Las tareas de planificación, construcción, reconstrucción, uso, mantenimiento, eliminación, abandono y desactivación deben realizarse teniendo en cuenta la seguridad y de manera tal que evite o reduzca de manera sustancial los efectos adversos sobre, entre otras cosas:

(1) Hábitat de peces y silvestre y especies de peces y vida silvestre enumeradas.

(2) Calidad del agua y usos beneficiosos del agua.

(3) Recursos del suelo.

(4) Sitios arqueológicos e históricos significativos.

(5) Calidad del aire.

(6) Recursos visuales.

(7) Peligro de incendio.

(c) El silvicultor profesional registrado puede proponer excepciones a las reglas de este Artículo, si son explicadas y justificadas en el plan y si el Director determina que no generan un impacto adverso significativo sobre el medio ambiente.

(d) También se pueden establecer excepciones a través de la aplicación del artículo 1600 y siguientes del Código de Pesca y Caza y debe ser una parte exigible del plan en virtud del Título 14 del CCR, artículos 1039, 1040, 1090.14, 1092.26 o 1092.27, según corresponda.

(e) Para cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y para la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados, todos los caminos de explotación forestal, plataformas y cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal se deben planificar, diseñar, construir y reconstruir, utilizar, mantener, abandonar, desactivar y eliminar en virtud del Título 14 del CCR, artículos 916.9 (a) y (c) [936.9 (a) y (c), 956.9 (a) y (c)].

(f) Las disposiciones del Artículo 12 [Artículo 11 para el Distrito Norte] aplicables en cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados no serán aplicables a un plan que esté sujeto a:

(1) Un Permiso de Toma Incidental válido emitido por la CDFW en virtud del Artículo 2081(b) del Código de Pesca y Caza que aborda la protección de salmónidos anádromos; o

(2) Una declaración federal de toma incidental o permiso de toma incidental que aborde la protección de salmónidos anádromos, sobre el cual se ha tomado una determinación de coherencia en virtud del Artículo 2081(b) del Código de Pesca y Caza; o

(3) Un plan de conservación comunitaria natural válido Toma Incidental válido que aborde la protección de salmónidos anádromos, aprobado por la CDFW, en virtud del artículo 2835 del Código de Pesca y Caza; o

(4) Un Plan de Conservación del Hábitat (HCP) válido que aborde la protección de salmónidos anádromos, aprobado en virtud del Artículo 10 de la Ley Federal de Especies en Peligro de Extinción de 1973; o

(5) Revisiones de proyectos, lineamientos o la toma de medidas preventivas de conformidad con un memorándum de entendimiento o de un acuerdo de planificación firmado entre el proponente del plan y la CDFW para la preparación de un plan de conservación comunitaria que aborde la protección de salmónidos anádromos.

ARTÍCULO 923.1[943.1, 963.1]. PLANIFICACIÓN DE CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS.

Los caminos de explotación forestal y las plataformas se deben planificar y ubicar dentro del contexto de un patrón de diseño sistemático que considera el artículo 923(b) del Título 14 del CCR, utiliza los caminos de explotación forestal y las plataformas existentes siempre que sea posible y adecuado y brinda acceso a actividades de protección de incendios y recursos.

(a) Los caminos de explotación forestal y las plataformas deben planificarse y ubicarse de manera tal que minimicen:

(1) Caminos duplicados y el millaje total del camino.

(2) La cantidad de cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal.

(3) Construcción y reconstrucción cerca de cursos de agua, lagos, pantanos, prados húmedos y otras áreas húmedas.

(4) Construcción y reconstrucción en áreas empinadas que llevan, sin aplanarse, a cursos de agua y lagos Clase I, II, III o IV.

(5) Construcción y reconstrucción en áreas inestables o en bajíos de muro de cabeza conectados.

(6) Construcción y reconstrucción cerca de sitios de nidificación de especies de aves exóticas, amenazadas o en peligro de extinción.

(7) Construcción y reconstrucción cerca de poblaciones de plantas exóticas, amenazadas o en peligro de extinción.

(8) Perturbación del suelo y el tamaño de los cortes y rellenos.

(9) El potencial de afectación de la hidrológica de la superficie, inclusive, entre otras cosas, la escorrentía de concentración o desviación o el drenaje del camino de explotación forestal o la superficie de la plataforma directamente a un curso de agua o lago.

(10) Necesidades de mantenimiento que sean compatibles con la clasificación del camino de explotación forestal y el uso del camino a largo plazo.

(b) No se debe planificar la construcción de caminos de explotación forestal o plataformas (i) dentro de los 150 pies de la línea de transición del curso de agua Clase I, (ii) dentro de los 100 pies de la línea de transición de un curso de agua Clase II en pendientes mayores al 30%, (iii) dentro de cursos de agua Clase I, II, III o IV, (iv) dentro de una WLPZ o (v) en pantanos, prados húmedos y otras áreas húmedas, excepto en los siguientes casos:

(1) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal existentes.

(2) En cruces de caminos y para tractores nuevos y existentes aprobados como parte del proceso del Código de Pesca y Caza (F&GC, artículo 1600 y sig.).

(3) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal de cursos de agua Clase III que estén secos al momento de su utilización.

(c) No se debe planificar la reconstrucción de caminos de explotación forestal o plataformas (i) dentro de cursos de agua o lagos Clase I, II, III o IV, (ii) dentro de una WLPZ o (iii) en pantanos, prados húmedos y otras áreas húmedas, excepto en los siguientes casos:

(1) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal existentes.

(2) En cruces de caminos y para tractores nuevos y existentes aprobados como parte del proceso del Código de Pesca y Caza (F&GC, artículo 1600 y sig.).

(3) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal de cursos de agua Clase III que estén secos al momento de su utilización.

(d) Los caminos de explotación forestal y las plataformas deben planificarse y ubicarse de manera tal que eviten las áreas inestables y los bajíos de muro de cabeza conectados. El Director puede aprobar una excepción si dichas áreas son inevitables y si el plan describe y justifica medidas específicas para el sitio que busquen minimizar la inestabilidad del talud en la construcción o reconstrucción de caminos de explotación forestal o plataformas.

(e) Como parte de la planificación y el uso de caminos de explotación forestal, plataformas y cruces de cursos de agua en el área de explotación forestal, el silvicultor profesional registrado o la persona designada supervisada deberá: (i) ubicar y mapear los sitios de erosión significativa potencial y existente y (ii) especificar los tratamientos posibles para mitigar los impactos adversos significativos del camino o la plataforma.

(1) El silvicultor profesional registrado deberá evaluar todos los caminos de explotación forestal y plataformas en el área de explotación forestal, incluso los caminos accesorios, para detectar evidencias de sitios de erosión significativa potencial y existente.

(2) Para los sitios de erosión significativa potencial y existente identificados en el artículo 923.1 [943.1, 963.1], sección (e) (1), del Título 14 del CCR, el silvicultor profesional registrado deberá tener en cuenta los siguientes factores claves como parte de los tratamientos necesarios en desarrollo:

(A) Tipo de camino (camino permanente, estacional o temporal), ubicación del camino, las rutas de transporte de camiones de carga esperadas y el uso del tránsito (por ej., volumen y temporada) de cada tramo de camino durante la duración del plan.

(B) Antigüedad del camino y el historial de transporte de sedimentos de los caminos existentes.

(C) Usos beneficiosos del curso de agua o lago y condiciones sensibles que pueden verse afectadas por el camino, incluso, entre otras cosas, la clasificación del curso de agua y la presencia de salmónidos anádromos enumerados.

(D) La pendiente de la ladera, la pendiente del camino de alrededores de cruces y la gradiente del canal del arroyo.

(E) La erosionabilidad del material de la ladera expuesta por el camino.

(F) El largo de la conectividad hidrológica de un tramo del camino, las propiedades físicas del tramo conectado y la presencia o ausencia de una franja de filtrado de sedimentos eficaz.

(G) Información específica del sitio sobre las condiciones y la ubicación de todas las fuentes existentes o potenciales de sedimentos incluso, entre otros: cruces de cursos de agua, alrededores de caminos, alcantarillas de alivio de cunetas, superficies de caminos, cortes de caminos, rellenos de caminos, cunetas internas, cortes transversales y plataformas.

(3) El silvicultor profesional registrado deberá presentar un listado de los sitios de erosión significativa existente y potencial identificados en el artículo 923.1 [943.1, 963.1], sección (e) (1), del Título 14 del CCR que tienen tratamientos viables con el plan. La lista debe incluir la siguiente información:

(A) Una mapa que muestra la/s ubicación/es de los sitios de erosión existentes y potenciales con un identificador único para cada sitio.

(B) Breve descripción de la situación actual del sitio de erosión existente o potencial significativo mapeado.

(C) Breve descripción de los tratamientos propuestos para el sitio de erosión existente o potencial significativo mapeado.

(D) Los puntos (B) y (C) anteriores pueden brindarse en forma tabular como parte del plan.

(4) El silvicultor profesional registrado deberá divulgar y mapear los sitios de erosión significativa existente y potencial identificados en el artículo 923.1 [943.1, 963.1], sección (e) (1), del Título 14 del CCR, que no tienen medidas de tratamiento viables.

(5) Cuando se propongan tratamientos viables para el sitio de erosión significativa existente o potencial, el silvicultor profesional registrado debe describir en el plan en el orden lógico de tratamiento.

(f) Para la selección de alternativas viables (ver capítulos 897 y 898 del Título 14 del CCR) durante la fase de planificación de los caminos de explotación forestal y plataformas, el silvicultor profesional registrado debe considerar la ubicación y el uso planificado de los caminos de explotación forestal y las plataformas y si dichos caminos de explotación forestal y plataformas serán abandonados o desactivados.

(g) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos

enumerados en el cual se propone la construcción o reconstrucción de un camino de explotación forestal o plataforma, el plan debe identificar:

(1) Cómo se adaptarán las operaciones propuestas al patrón de diseño sistemático.

(2) Qué medidas de mitigación de compensación son necesarias, si corresponde, incluso, entre otras, el abandono de caminos de explotación forestal y plataformas, para minimizar los posibles impactos adversos a las cuencas fluviales del sistema de caminos.

(h) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados, no se debe planificar la construcción o reconstrucción de caminos de explotación forestal o plataformas en la CMZ o Zona Central de cursos de agua Clase I, excepto los enumerados en los artículos 916.9(e)(1)(A)–(E) [936.9(e)(1)(A)–(E), 956.9(e)(1)(A)–(E)] o 916.9(v) [936.9(v), 956.9(v)] del Título 14 del CCR, o dentro de los 150 pies de una línea de transición de un curso de agua Clase I.

(i) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados dentro de la Zona interna A y B de áreas propensas a crecidas de cursos de agua Clase I, el silvicultor profesional registrado o el Director deben considerar las siguientes Prácticas de Gestión Preferidas para su inclusión en el plan:

(1) No se debe planificar la ubicación de caminos de explotación forestal y plataformas dentro de estas zonas.

(2) Cuando sea posible, se debe minimizar el uso de los caminos de explotación forestal y las plataformas existentes en el área propensa a crecidas.

(3) Las excepciones incluyen el uso de caminos y plataformas para cumplir con acciones tendientes a mejorar las condiciones del hábitat en virtud de los artículos 916.9(f) (3) (E) (1) [936.9(f) (3) (E) (1), 956.9(f) (3) (E) (1)] del Título 14 del CCR.

ARTÍCULO 923.2 [943.2, 963.2]. DISEÑO Y UBICACIÓN DE CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS

Los caminos de explotación y plataformas construidos y reconstruidos deben ser diseñados y estar ubicados de conformidad con su uso propuesto, sus requisitos de mantenimiento y el plan aprobado:

(a) Todos los caminos de explotación forestal y plataformas deben:

(1) Evitar o mitigar los impactos potenciales a la seguridad pública.

(2) Evitar áreas inestables y bajíos de muro de cabeza conectados en la medida de lo posible y minimizar actividades que puedan perjudicarlos.

(3) Minimizar el tamaño de los cortes y rellenos en la medida de lo posible.

(4) Tener peralte hacia afuera en la medida de lo posible y ser drenados con camellones y/o vados ondulantes superficiales en virtud de otras Normas de Práctica Forestal aplicables.

(5) Estar hidrológicamente desconectados de los cursos de agua y lagos en la medida de lo posible para minimizar el envío de sedimentos de la escorrentía del camino a un curso de agua y reducir el potencial de cambios hidrológicos que altere la magnitud y la frecuencia de envío de escorrentía a un curso de agua. Puede encontrar directrices sobre métodos de desconexión hidrológica en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(6) Incluir estructuras de drenaje adecuadas y las instalaciones necesarias para evitar la concentración y el desvío de escorrentía, para minimizar la erosión de las calzadas, las superficies de plataformas, las cunetas de drenaje, vertido lateral y rellenos, para minimizar el potencial de erosión del suelo y el transporte de sedimentos

y para evitar una descarga de sedimentos significativa. Puede encontrar directrices en virtud de esta sección de normas en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(7) Evitar cruces, o ubicaciones, a 100 pies o más de la distancia lineal de cualquier pendiente que supere el 65 por ciento o dentro de los 100 pies de los límites de una WLPZ en pendientes que superen el 50 por ciento que drenen hacia el curso de agua o lago zonificado. Cuando se propone la construcción o reconstrucción de un camino de explotación forestal o de una plataforma en estas áreas, se deben incorporar al plan medidas específicas para minimizar el movimiento de suelos y la descarga de escorrentía de la superficie concentrada. El Director podría renunciar a la inclusión de dichas medidas si el silvicultor profesional registrado puede demostrar que las depresiones de la pendiente, las vías de drenaje y otras características de retención y detención natural son suficientes para controlar el transporte superficial del material erosionado.

(b) El Director podría solicitar la eliminación de depósitos de material excedente si los depósitos están en una posición tal que afectan de manera adversa los usos beneficiosos del agua.

(c) El material excedente excavado durante la construcción del camino de explotación forestal y las plataformas no debe ser transportado a lugares donde podría generar una descarga de sedimentos significativa.

(d) Además de los requisitos de la sección (a) anterior, todos los caminos de explotación forestal a ser construidos o reconstruidos:

(1) Deben tener un ancho que no supere un carril compatible con el tipo más largo de equipo especificado para su uso en el camino de explotación forestal para su utilización en el camino de explotación forestal, con apartaderos de paso adecuados siempre que sea necesario para fines de seguridad, salvo que los contratos existentes con una agencia federal requieran dimensiones más anchas.

(2) Deben evitar las pendientes superiores al 20% o las pendientes superiores al 15% que tengan más de 500 pies continuos. Se pueden aprobar excepciones cuando no existe ningún otro acceso viable para la tala de madera o cuando el uso de una gradiente superior al 20% servirá para reducir la perturbación del suelo.

(e) Además de los requisitos de la sección (a) anterior, todas las plataformas a ser construidas o reconstruidas:

(1) Deben ser compatibles con el sistema de procesamiento y el sistema de carga a ser utilizados.

(2) No deben superar el medio acre.

(3) Deben evitar la construcción en pendientes superiores al 40 por ciento en donde la plataforma supera su tamaño en un cuarto de acre.

ARTÍCULO 923.3 [943.3, 963.3]. MAPEO E IDENTIFICACIÓN PARA CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS.

Las siguientes normas de mapeo e identificación deberán aplicarse a los caminos de explotación forestal y las plataformas:

(a) Para conocer los requisitos relacionados con caminos de explotación forestal y plataformas consulte los artículos 1034(x)(4)(A)–(E) y (5)(A)–(G), 1090.5(w)(4)(A)–(E) y (5)–(6), 1090.5(gg), 1090.7(n)(4)–(6) y 1092.09(l)(5)(A)1.–5. y (6)(A)–(G) del Título 14 de la CCR.

(b) El silvicultor profesional registrado debe identificar en el campo, para la utilización de la LTO, todos los caminos de explotación forestal y las plataformas a ser construidos o reconstruidos:

(1) En pendientes superiores al 65 por ciento para 100 pies lineales o más.

(2) En pendientes superiores al 50 por ciento para 100 pies lineales o más dentro de los 100 pies de los límites de una WLPZ que drena hacia el curso de agua o lago zonificado.

(c) Antes de la inspección previa a la tala, se debe marcar o identificar de algún modo en el suelo la ubicación de todos los caminos de explotación forestal a ser construidos o reconstruidos: se pueden incorporar excepciones, siempre y cuando sean explicadas y justificadas en el plan y aprobadas por el Director si la marcación es innecesaria como ayuda sustancial para examinar: (1) la compatibilidad entre la ubicación del camino de explotación forestal y los sistemas de procesamiento y silvicultura o (2) los posibles efectos adversos significativos de la ubicación de un camino de explotación forestal en los factores enumerados en el artículo 923(b) [943(b), 963(b)] del Título 14 del CCR.

ARTÍCULO 923.4 [943.4, 963.4]. CONSTRUCCIÓN Y RECONSTRUCCIÓN PARA CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS.

Los caminos de explotación y las plataformas deben ser construidos o reconstruidos de conformidad con el plan aprobado y los siguientes requisitos: si se realiza un cambio en la designación de la clasificación de un camino de explotación forestal después de la aprobación del plan, el cambio debe ser informado de conformidad con los artículos 1039, 1040, 1090.14, 1092.26 o 1092.27 del Título 14 del CCR, según corresponda.

(a) Los caminos de explotación y las plataformas deben estar hidrológicamente desconectados de los cursos de agua y lagos en la medida de lo posible para minimizar el envío de sedimentos de la escorrentía del camino a un curso de agua y reducir el potencial de cambios hidrológicos que altere la magnitud y la frecuencia de envío de escorrentía a un curso de agua. Puede encontrar directrices sobre métodos de desconexión hidrológica en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(b) No se deben construir caminos de explotación forestal o plataformas (i) dentro de los 150 pies de la línea de transición del curso de agua Clase I, (ii) dentro de los 100 pies de la línea de transición de un curso de agua Clase II en pendientes mayores al 30%, (iii) dentro de cursos de agua Clase I, II, III o IV, (iv) dentro de una WLPZ o (v) en pantanos, prados húmedos y otras áreas húmedas, excepto en los siguientes casos:

(1) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal existentes.

(2) En cruces de caminos y para tractores nuevos y existentes aprobados como parte del proceso del Código de Pesca y Caza (F&GC, artículo 1600 y sig.).

(3) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal de cursos de agua Clase III que estén secos al momento de su utilización.

(c) No se deben reconstruir caminos de explotación forestal o plataformas (i) dentro de cursos de agua o lagos Clase I, II, III o IV, (ii) dentro de una WLPZ o (iii) en pantanos, prados húmedos y otras áreas húmedas, excepto en los siguientes casos:

(1) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal existentes.

(2) En cruces de caminos y para tractores nuevos y existentes aprobados como parte del proceso del Código de Pesca y Caza (F&GC, artículo 1600 y sig.).

(3) En cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal de cursos de agua Clase III que estén secos al momento de su utilización.

(d) No se deben construir ni reconstruir caminos de explotación forestal o plataformas en áreas inestables o en bajíos de muros de cabeza conectados según las especificaciones del Plan.

(e) No se deben construir caminos de explotación forestal y plataformas con bancos salientes.

(f) Los árboles que tengan más de 12 pulgadas de diámetro a la altura del pecho y más del 25 por ciento de la superficie de la raíz expuesta por la construcción del camino de explotación forestal o la plataforma deben talarse junto con las operaciones madereras.

(g) En pendientes superiores al 40 por ciento, la capa orgánica del suelo debe ser eliminada antes de la colocación del relleno.

(h) No se debe enterrar material orgánico, como tocones desplazados, troncos de descarte, acumulaciones de palos y ramas, y árboles no comerciales, en rellenos de caminos de explotación forestal o plataformas. Se pueden colocar escombros leñosos o troncos de descarte y ramas pequeñas y estabilizar el pie del relleno para evitar que el suelo excavado se desplace pendiente abajo.

(i) No se deben agrupar desperdicios madereros y otros escombros de la construcción del camino en árboles residuales, que son necesarios para fines de silvicultura o vida silvestre, ni tampoco se deben colocar en lugares donde puedan descargarse a cursos de agua o lagos Clase I o II.

(j) En el caso de que los rellenos construidos superen los tres pies de espesor vertical, las pendientes del relleno deben tener una inclinación no mayor al 65 por ciento.

(k) No se deben construir o reconstruir caminos de explotación forestal o plataformas en suelos saturados que podrían producir una descarga de sedimentos significativa, salvo que la construcción pueda realizarse en puntos húmedos aislados que surjan de aguas subterráneas localizadas como manantiales, siempre y cuando se tomen medidas para evitar una descarga de sedimentos significativa.

(l) La construcción o reconstrucción de caminos de explotación forestal o plataformas no debe realizarse durante el período invernal, salvo que el plan aprobado incorpore un plan operativo completo para el período invernal en virtud del artículo 914.7 [934.7, 954.7] del Título 14 del CCR que aborde específicamente la construcción o reconstrucción del camino de explotación forestal o la plataforma.

(m) En pendientes superiores al 50 por ciento para más de 100 pies lineales, los rellenos que superen los cuatro pies de altura vertical en el acotamiento externo del camino de explotación forestal o la plataforma deben:

(1) Ser construidos en un banco excavado en el pie propuesto del relleno y del ancho suficiente como para compactar la primera capa.

(2) Ser compactados en capas de aproximadamente un pie del pie de la pendiente terminada o retenidos en una estructura de ingeniería.

(n) Los caminos de explotación forestal y plataformas aprobados para su construcción o reconstrucción a 100 pies o más de la distancia lineal de cualquier pendiente que supere el 65 por ciento o dentro de los 100 pies de los límites de una WLPZ en pendientes que superen el 50 por ciento y drenen hacia el curso de agua o lago zonificado.

(o) No se deben construir rellenos en pendientes superiores al 65 por ciento.

(p) En pendientes superiores al 65 por ciento, se debe minimizar el vertido lateral en la construcción de caminos de explotación forestal y plataformas en el mayor grado posible.

(q) El material excedente transportado de la construcción o reconstrucción del camino de explotación forestal o plataforma debe ser depositado y estabilizado de manera tal y en áreas tales como para evitar los posibles impactos adversos a lugares que puedan transportar una descarga de sedimentos significativa.

(r) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados, no se deben construir o reconstruir caminos de explotación forestal o plataformas

en la CMZ o Zona Central de cursos de agua Clase I, excepto los enumerados en el artículo 916.9 [936.9, 956.9], secciones (e)(1)(A)–(F) del Título 14 del CCR o en virtud del artículo 916.9 [936.9, 956.9], sección (v) del título 14 del CCR.

(s) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados se deben aplicar las siguientes reglas:

(1) En pendientes superiores al 50 por ciento que tienen acceso a un curso de agua o lago:

(A) Se deben identificar y describir disposiciones específicas para la protección del hábitat de los salmónidos en toda construcción de caminos de explotación forestal.

(B) En el caso de que la estabilidad del corte marginal no sea un problema, los caminos de explotación forestal pueden construirse como un corte de banco completo (sin relleno). Los desechos no utilizados en la construcción de un camino de explotación forestal deben ser eliminados en áreas estables con una pendiente menor al 30 por ciento de una WLPZ, EEZ, o ELZ designado para la protección del curso de agua o lago. El Director, junto con otras agencias responsables, podría renunciar a la inclusión de estas medidas si el silvicultor profesional registrado puede demostrar que las depresiones de la pendiente y otras características de retención y detención natural son suficientes para controlar el transporte superficial del material erosionado.

(C) Los caminos de explotación forestal pueden ser construidos con cortes y rellenos equilibrados:

(i) Si son adecuadamente diseñados o

(ii) Si los rellenos son eliminados y las pendientes se reconstruyen antes del período invernal.

(2) Durante el período de clima húmedo extendido, no se deben realizar operaciones madereras salvo que el plan aprobado incorpore un plan operativo completo para el período invernal en virtud del artículo 914.7(b) [934.7(b), 954.7(b)] del Título 14 del CCR. El plan operativo del período invernal debe abordar específicamente, cuando sea posible, la construcción y reconstrucción del camino de explotación forestal propuesto.

ARTÍCULO 923.5 [943.5,963.5]. CONTROL DE LA EROSIÓN PARA CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS.

Se deberán aplicar las siguientes normas de control de erosión a los caminos de explotación forestal y las plataformas:

(a) Todas las superficies de los caminos de explotación forestal y las plataformas deben ser adecuadamente drenadas mediante el uso del modelado de la superficie del camino de explotación forestal y la plataforma junto con la instalación de estructuras o instalaciones de drenaje y desconectarse hidrológicamente de los cursos de agua y lagos en la medida de lo posible. Puede encontrar directrices sobre métodos de desconexión hidrológica en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(b) Se deben instalar estructuras o instalaciones de drenaje en todos los caminos de explotación forestal y en todas las plataformas que se utilicen para operaciones madereras en una cantidad suficiente para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y para evitar la descarga de sedimentos significativa.

(c) Los drenajes de cunetas, las estructuras de protección necesarias asociadas y otras características asociadas con el drenaje de cunetas deben:

(1) Tener un tamaño adecuado para transportar escorrentía.

(2) Minimizar la erosión del camino de explotación forestal y las superficies de las plataformas.

(3) Evitar la descarga hacia un relleno desprotegido.

(4) Descargar a material resistente a la erosión

(5) Minimizar los posibles impactos adversos para la estabilidad de la pendiente.

(d) Los camellones y los vados ondulantes superficiales instalados en caminos de explotación forestal y plataformas deben planificarse y deben tener un tamaño suficiente, ser de una cantidad suficiente y estar ubicados de manera de evitar la recolección y descarga de la escorrentía concentrada a rellenos, suelos erosionables, áreas inestables y bajíos de muros de cabeza conectados.

(e) En el caso de que los caminos de explotación forestal o las plataformas no tengan un drenaje permanente y adecuado, y en el caso de que los camellones se utilicen para controlar la escorrentía de la superficie, se deben cortar en diagonal a un mínimo de seis pulgadas en la calzada firme y deben tener un dique firme y continuo de al menos seis pulgadas de altura inmediatamente adyacente al borde inferior del corte del camellón. En los caminos de explotación forestal que tienen superficies firmemente compactadas, los camellones pueden instalarse mediante métodos manuales y no requieren diques de seis pulgadas adicionales, siempre que la cuneta del camellón se construya de manera tal que esté al menos a seis pulgadas de profundidad y a seis pulgadas de ancho en el fondo y siempre que existan bastantes evidencias basadas en la pendiente, el material, la cantidad de lluvias y el período de uso en el cual los camellones construidos serán eficaces para desviar el flujo de agua de la superficie del camino de explotación forestal sin el dique.

(f) Las distancias entre los camellones no deben superar los siguientes estándares y deben tener en cuenta la clasificación de peligro de erosión y la gradiente del camino:

(g) En el caso de que se utilice el peralte hacia afuera y vados ondulantes superficiales para controlar la escorrentía de la superficie, la cuneta en la pendiente del camino de explotación forestal debe ser suficiente para capturar la escorrentía de la superficie del camino de explotación forestal. Se debe utilizar la inclinación de la pendiente de gradiente transversal, junto con el camino de explotación forestal o gradiente de plataforma y la clasificación de peligro de erosión estimada, para determinar el espaciado del vado ondulante superficial a fin de minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y evitar una descarga de sedimentos significativa. Puede encontrar directrices sobre el espaciado de vados ondulantes superficiales en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(h) Las instalaciones y estructuras de drenaje deben descargar en la vegetación, escombros leñosos o rocas siempre que sea posible. Cuando no haya materiales resistentes a la erosión, se deben instalar desperdicios

DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CAMELLONES

Clasificación de Peligro Estimado	Camino de explotación forestal 10 o menos	Gradiente en porcentaje 11–25	>25
	Pies	Pies	Pies
Extremo	100	75	50
Alto	150	100	75
Moderado	200	150	100
Bajo	300	200	150

madereros, rocas u otro material de disipación de energía debajo de la instalación de drenaje o la salida de la estructura de drenaje cuando sea necesario para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y para evitar la descarga de sedimentos significativa. Puede encontrar directrices sobre disipadores de energía para estructuras de drenaje en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(i) Cuando los caminos de explotación forestal y las superficies de las plataformas, los alrededores de caminos, las cunetas internas y las estructuras de drenaje no pueden desconectarse hidrológicamente, y cuando existe una descarga de sedimentos significativa real o potencial, los tratamientos necesarios y posibles para evitar la descarga se deben describir en el plan.

(j) Todos los caminos de explotación forestal y plataformas utilizados para operaciones madereras deben tener un drenaje adecuado hasta la finalización del uso para ese año o hasta el 15 de octubre, según lo que ocurra primero. Una excepción es que las instalaciones de drenaje y estructuras de drenaje no necesitan ser construidas en caminos de explotación forestal y plataformas en uso durante el período de clima húmedo extendido siempre que todas las instalaciones de drenaje y las estructuras de drenaje sean instaladas antes del inicio de las lluvias que generen flujo superficial.

(k) Cuando la construcción o reconstrucción del camino de explotación forestal o las plataformas se realiza durante el período de clima húmedo extendido, se deben instalar instalaciones de drenaje y estructuras de drenaje con las operaciones de construcción o reconstrucción.

(l) El suelo descubierto en caminos de explotación forestal o cortes de plataformas, rellenos, desechos transportados o vertido lateral que son creados o quedan expuestos por las operaciones madereras deben ser estabilizados en la medida que sea necesario para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y para evitar una descarga de sedimentos significativa. Los sitios a ser estabilizados incluyen, entre otros:

(1) Vertido lateral o relleno que supere los 20 pies en distancia de la pendiente desde el borde externo de un camino de explotación forestal o en una plataforma que tiene acceso un curso de agua o lago.

(2) Cortes y rellenos asociados con alrededores de cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal de aguas Clase I o II aguas Clase III donde se requiere un ELZ, EEZ, o una WLPZ.

(3) Áreas que superen los 800 pies cuadrados continuos dentro de una WLPZ.

(m) Las medidas de estabilización del suelo deben describirse en el plan en virtud del artículo 923.5(l) [943.5(l),963.5(l)] del Título 14 del CCR y pueden incluir, entre otras cosas, la remoción, el acorazamiento con enrocamiento de protección, la replantación, la cobertura, la siembra, la instalación de dispositivos comerciales de control de erosión según las especificaciones del fabricante o estabilizadores del suelo.

(n) Cuando la habilidad natural de cobertura del suelo dentro de una WLPZ es inadecuada para proteger los usos beneficiosos del agua al minimizar la erosión del suelo o al filtrar sedimentos, el plan debe especificar las medidas de protección para retener y mejorar la habilidad natural de cobertura del suelo para filtrar sedimentos y minimizar la erosión del suelo.

(o) Se deben implementar tratamientos de estabilización del suelo al finalizar las operaciones para el año de utilización o antes del período de clima húmedo extendido, según lo que ocurra primero. Una excepción es que las áreas descubiertas creadas durante el período de clima húmedo extendido deben ser tratadas antes del comienzo de las lluvias que generan un flujo superficial,

o dentro de los 10 días, según lo que ocurra primero, o según lo acordado con el Director.

(7) Se deben eliminar o estabilizar las concentraciones salientes o inestables de desperdicios madereros, escombros leñosos o suelo en el borde pendiente abajo o en la cara de plataformas cuando estén ubicados en pendientes superiores al 65 por ciento, dentro de los 100 pies de los límites de una WLPZ en pendientes que superen el 50 por ciento que drenen hacia el curso de agua o lago zonificado o cuando ello podría generar una descarga de sedimentos significativa. Los materiales eliminados no deben ser colocados en sitios de disposición que puedan generar una descarga de sedimentos significativa.

(q) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados se deben aplicar las siguientes reglas:

(1) Los caminos construidos y reconstruidos deben tener peralte hacia cuando sea posible y deben ser drenados con camellones y/o vados ondulantes superficiales.

(2 Además de las disposiciones enumeradas en el artículo 923.2(d)(2) [943.2(d)(2), 963.2(d)(2)] del Titulo 14 del CCR, todos los caminos de explotación forestal permanentes y estacionales con una pendiente del 15 por ciento o mayor que se extiende 500 pies continuos o más debe tener las medidas de control de erosión especificadas en el plan.

(3) Dentro de la WLPZ, y dentro de cualquier ELZ o EEZ designado para la protección de cursos de agua o lagos, el plan debe describir los tratamientos para estabilizar los suelos, minimizar la erosión del suelo y prevenir la descarga significativa de sedimentos de la siguiente manera:

(A) Además de los requisitos de las secciones (l)–(o), se requiere la estabilización del suelo para las siguientes áreas:

(i) Áreas que superen los 100 pies cuadrados continuos cuando las operaciones madereras hayan expuesto el suelo descubierto;

(ii) Caminos de explotación forestal perturbados y bancos y rellenos de corte de plataformas;

(iii) Cualquier otra área de suelo perturbado que amenace con provocar una descarga de sedimentos significativa.

(B) Cuando se utiliza un manto de paja, la cobertura de paja mínima debe ser del 90 por ciento y cualquier área tratada que haya sido reutilizada o tenga menos del 90 por ciento de cobertura de la superficie debe ser tratada nuevamente al finalizar las operaciones madereras.

(C) Cuando se aplica un manto de desperdicios madereros, un mínimo del 75% del área debe estar cubierta de desperdicios madereros en contacto con el suelo.

(D) Para áreas perturbadas fuera del período de clima húmedo extendido, el tratamiento debe ser completado antes del comienzo de cualquier lluvia que provoque flujo superficial en la superficie perturbada y pueda generar una descarga de sedimentos significativa.

(E) Para áreas perturbadas durante el período de clima húmedo extendido, el tratamiento debe ser completado antes de cualquier día en el que el Servicio Nacional de Meteorología pronostique una probabilidad de lluvias del 30 por ciento o

más o dentro de los 10 días de la perturbación, según lo que ocurra primero.

(F) Cuando la habilidad natural de cobertura del suelo es inadecuada para proteger los usos beneficiosos del agua al minimizar la erosión del suelo o al filtrar sedimentos dentro de un ELZ o EEZ designado para la protección de cursos de agua o lagos, el plan debe especificar las medidas de protección para retener y mejorar la habilidad natural de cobertura del suelo para filtrar sedimentos y minimizar la erosión del suelo.

ARTÍCULO 923.6 [943.6, 963.6]. USO DE CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS

Se deberán aplicar las siguientes normas de uso a los caminos de explotación forestal y las plataformas:

(a) Los caminos de explotación forestal y las plataformas deben utilizarse de una manera tal que sea compatible con su diseño y con las especificaciones de construcción.

(b) Los caminos de explotación forestal y las plataformas no deben utilizarse en ningún momento del año en el que las operaciones pueden generar una descarga de sedimentos significativa a cursos de agua o lagos, excepto en emergencias para proteger el camino, para reducir la erosión, para proteger la calidad del agua o en respuesta a necesidades de seguridad pública.

(c) Durante el período de clima húmedo extendido, el uso de transporte de troncos u otros equipos pesados se debe limitar a caminos de explotación forestal y plataformas que muestren una superficie operativa estable en virtud del inciso (b) anterior. No se deben utilizar caminos de explotación forestal y plataformas si los equipos no pueden operar con energía propia.

(d) Cuando se requieren permisos de quema en virtud del artículo 4423 del Código de Recursos Públicos, los caminos de explotación forestal y las plataformas que estén en uso deben mantener en condiciones transitables para camiones de bomberos.

(e) Las bermas junto al camino que impidan el drenaje del camino de explotación forestal, concentren el flujo superficial del camino de explotación forestal o lleven a una conexión hidrológica deben ser eliminadas o interrumpidas antes del comienzo del período invernal, con la excepción de las bermas necesarias para el control de la erosión.

(f) Los caminos temporales deben ser bloqueados o cerrados de algún modo para vehículos con tracción en las cuatro ruedas de producción estándar antes del período invernal o hasta finalizar su utilización según las especificación de un plan operativo para el período invernal aprobado en virtud del artículo 914.7(b) [934.7(b), 954.7(b)] del Título 14 del CCR.

(g) La utilización de caminos de explotación forestal y plataformas para el transporte de troncos o el uso de otros equipos pesados durante el período invernal deben producirse en una superficie operativa estable y, cuando sea necesario, ser cubiertos con rocas a una profundidad y en una cantidad suficiente como para mantener dicha superficie. Se prohíbe el uso e caminos que no estén hidrológicamente desconectados y que muestren condiciones de suelo saturado. El silvicultor profesional registrado puede proponer excepciones si los lugares son divulgados y justificados en el THP, en virtud del artículo 923 (c) del Título 14 del CCR, y aprobados por el Director.

(h) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados se deben aplicar las siguientes reglas:

(1) Los caminos de explotación forestal o plataformas no deben utilizarse dentro del CMZ de un curso de agua Clase I, excepto los enumerados en el artículo 916.9 916.9 [936.9, 956.9] sección (e) (1) (A)–(F) del Título 14 del CCR o en virtud del artículo 916.9(v) [936.9(v), 956.9(v)] del Artículo 14 del CCR.

(2) Cuando sea posible, se debe minimizar el uso de los caminos de explotación forestal y las plataformas existentes ubicados dentro de las Zonas Internas A y B de áreas propensas a crecidas. Las excepciones incluyen el uso de caminos y plataformas para cumplir con acciones tendientes a mejorar las condiciones del hábitat en virtud de los artículos 916.9 916.9(f) (3) (E) (1) [936.9(f) (3) (E) (1), 956.9(f) (3) (E) (1)] del Título 14 del CCR.

(3) El transporte de troncos en caminos de explotación forestal y plataformas se debe limitar a los caminos que estén hidrológicamente desconectados de cursos de agua, en la medida de lo posible, y muestren una superficie operativa estable en virtud del inciso (b) anterior. El silvicultor profesional registrado puede proponer excepciones si los lugares son divulgados y justificados en el THP, en virtud del artículo 923 (c) del Título 14 del CCR, y aprobados por el Director.

(4) Junto con el uso del transporte de troncos, todos los alrededores de caminos a cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal deben ser tratados para el control de la erosión cuando sea necesario para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y para evitar una descarga de sedimentos significativa a cursos de agua y lagos.

(5) Junto con el uso del transporte de troncos, todas las superficies recorridas en una WLPZ y ELZ o EEZ designados para la protección de cursos de agua o lagos deben ser tratados para el control de la erosión cuando sea necesario para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y para evitar una descarga de sedimentos significativa a cursos de agua y lagos.

(6) No se deben realizar operaciones madereras durante el período de clima húmedo extendido, salvo que el plan aprobado incorpore un plan operativo completo para el período invernal en virtud del artículo 914.7(b) [934.7(b), 954.7(b)] del Título 14 del CCR que aborde específicamente, cuando corresponda, el uso del camino de explotación forestal o la plataforma propuestos.

ARTÍCULOS 923.7, 943.7, 963.7 MANTENIMIENTO Y VIGILANCIA DE CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS

Se deberán aplicar las siguientes normas de mantenimiento y vigilancia a los caminos de explotación forestal y las plataformas:

(a) Los caminos de explotación forestal y las plataformas deben ser vigilados y mantenidos durante las operaciones madereras y durante todo el período de mantenimiento estipulado para garantizar la desconexión hidrológica de los cursos de agua y lagos, en la medida de lo posible, minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y evitar una descarga de sedimentos significativa.

(b) Los caminos de explotación forestal que se utilicen en combinación con actividades de almacenamiento deben mantenerse durante todo el tiempo de utilización, incluso si se extiende más allá del período de mantenimiento estipulado.

(c) Durante las operaciones madereras, las superficies de tránsito del camino en el área de explotación forestal deben ser tratadas cuando sea necesario para evitar la pérdida excesiva de materiales de la superficie del camino por métodos como recubrimiento de rocas, regado, pavimentación, tratamiento químico o la instalación de dispositivos comerciales de control de erosión según las especificaciones del fabricante.

(d) Se prohíbe la nivelación repetida de los caminos de explotación forestal o plataformas para obtener una superficie de tránsito más seca antes de la reincorporación de las bermas resultantes a la superficie del camino.

(e) Las instalaciones de drenaje y las estructuras de drenaje, incluso las estructuras de protección

necesarias asociadas, se deben mantener para permitir el libre flujo de agua y minimizar la erosión del suelo y la inestabilidad de los taludes. Las instalaciones y estructuras de drenaje deben ser reparadas, reemplazadas o instaladas, según sea necesario, para proteger la calidad y los usos beneficiosos del agua.

(f) Los tratamientos de estabilización del suelo en caminos de explotación forestal o cortes de plataformas, rellenos y vertido lateral deben ser mantenidos, cuando sea necesario, para reducir el potencial de inestabilidad de los taludes, minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y evitar una descarga de sedimentos significativa.

(g) No se deben utilizar equipos pesados en una WLPZ para fines de mantenimiento durante condiciones de clima húmedo, salvo en emergencias para proteger el camino, reducir la erosión, proteger la calidad del agua o en respuesta a necesidades de seguridad pública.

(h) Cuando existan evidencias de una descarga de sedimentos significativa a lo largo de un camino de explotación forestal o plataforma utilizado para operaciones madereras, se deben implementar medidas adicionales para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y evitar una descarga de sedimentos significativa.

(i) El período de mantenimiento estipulado para los controles de erosión en caminos de explotación forestal y plataformas y estructuras de drenaje asociadas, incluso caminos de explotación forestal y plataformas accesorios, abandonados y desactivados debe ser de al menos un año. El Director debe estipular un período de mantenimiento que se extienda hasta tres años en virtud del artículo 1050 del Título 14 del CCR.

(j) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados, el período de mantenimiento estipulado para caminos desactivados o abandonados debe ser de un año, salvo que el Director indique lo contrario en virtud del artículo 1050 del Título 14 del CCR. El período de mantenimiento estipulado para caminos de explotación forestal y plataformas asociadas, incluso caminos accesorios, debe ser de tres años.

(k) Todos los caminos de explotación forestal, incluso los caminos abandonados, desactivados y accesorios, las plataformas y las estructuras de drenaje asociadas utilizadas para operaciones madereras deben ser vigilados según sea necesario para cumplir con el artículo 1050 del Título 14 del CCR. Se deben realizar inspecciones de vigilancia cuando el acceso sea posible durante el período de mantenimiento estipulado, una cantidad de veces suficiente durante el período de clima húmedo extendido, especialmente después de grandes tormentas invernales y al menos una vez al año para evaluar el funcionamiento de las instalaciones y estructuras de drenaje. El Departamento también debe realizar inspecciones de vigilancia al menos una vez durante el período de mantenimiento estipulado para evaluar las condiciones del camino y las plataformas.

(1) Las inspecciones deben incluir la verificación de las instalaciones y estructuras de drenaje para detectar signos de socavación, taponamiento, desbordamiento, pérdida de funciones y envío de sedimentos a cursos de agua o lagos Clase I, II o III. Si existen signos de envío de sedimentos o posible envío de sedimentos, y la implementación de medidas correctivas viables podría reducir el potencial de descarga de sedimentos significativa, se deben implementar medidas adicionales cuando sea posible.

(2) Las inspecciones realizadas en virtud de los requisitos de la Junta Regional de Control de la Calidad del Agua de California pueden utilizarse para satisfacer los requisitos de inspección de esta sección.

(l) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados, la succión de agua para operaciones madereras debe:

(1) Cumplir con los artículos 1600 y sig. del Código de Pesca y Caza. Las operaciones madereras realizadas en virtud de un Contrato Marco para Operaciones Madereras del artículo 1600 del Código de Pesca y Caza que incluyen la succión de agua pueden ser una prueba de que dicha cobertura cumple con el articulo 923.7(l) del Título 14 del CCR.

(2) Describir las condiciones del sitio de succión de agua y la actividad de succión de agua propuesta en el plan, incluso:

(A) Una descripción general de las condiciones y la succión de agua propuesta;

(B) La clasificación del curso de agua;

(C) Los parámetros del proyecto, incluso los meses en los cuales se propone el uso del sitio; el volumen total estimado necesario por día; índice de succión instantánea máxima estimada y tiempo de llenado; y divulgación de otras actividades de succión de agua en la misma cuenca fluvial;

(D) El área de drenaje estimada (acres) por encima del punto de desvío;

(E) El caudal sin impedimentos estimado, la tasa de bombeo y la duración de la succión,

(F) Una discusión sobre los efectos en el hábitat acuático corriente abajo de los sitios de succión de operaciones de bombeo simples u operaciones de bombeo múltiple en el mismo lugar y en otros lugares en la misma cuenca fluvial;

(G) Una discusión de las alternativas y medidas propuestas para evitar los efectos adversos sobre los peces y la vida silvestre, como reducir el diámetro de la manguera; usar tanques alimentados por gravedad en lugar de bombeo para camiones; reducir la entrada instantánea o diaria en un lugar; describir asignaciones para tiempo de recarga; usar otros paliativos de polvo; y succión de agua en sitios alternativos;

(H) Los métodos que se utilizarán para medir el caudal de base antes de las operaciones de succión de agua y las condiciones que generan el caudal que será medido durante la operación.

(3) Todas las actividades de succión de agua para operaciones madereras están sujetas a cada uno de los requisitos debajo, salvo que el Departamento de Pesca y Caza modifique el requisito en el Acuerdo de Alteración de Lagos o Lechos de Arroyos que autorizó la operación de succión, salvo indicación en contrario debajo:

(A) Todas las tomas de agua deben ser filtradas para evitar el impacto de peces juveniles contra la malla. Los siguientes requisitos son aplicables a las mallas y a la succión de agua en aguas Clase I:

(i) Las aberturas en placa perforada o mallas metálicas de alambre tejido no deben superar las 3/32 pulgadas (2,38 milímetros). Las aberturas ranuradas en mallas metálicas con cuña no deben superar las 1/16 pulgadas (1,75 milímetros).

(ii) La superficie de la malla debe tener al menos 2,5 pies cuadrados de aberturas sumergidas en agua.

(iii) El operador de bombeo debe inspeccionar, limpiar y mantener las mallas en forma regular para garantizar el funcionamiento adecuado cada vez que se succione agua.

(iv) La velocidad de aproximación (agua que se mueve

a través de la malla) no debe superar los 0,3 pies/segundo.

(v) La tasa de desvío no debe superar los 350 galones por minuto.

(B) Los alrededores y las funciones de drenaje asociadas a los lugares de succión dentro de una WLPZ o zona de canal se deben pavimentar con rocas u otro material adecuado para minimizar la generación de sedimentos.

(C) Se deben instalar barreras para el transporte de sedimentos, como bardas de paja, troncos, fardos de paja o cercas de sedimentos, fuera de la marca de agua normal para evitar el envío de sedimentos al curso de agua y limitar la intrusión de los camiones.

(D) Los camiones de succión de agua estacionados en lechos del cauce, llanuras o dentro de una WLPZ deben utilizar bandejas colectoras u otros dispositivos, como mantos adsorbentes o absorbentes, barreras laminadas u otros materiales, cuando sea necesario para evitar la contaminación del suelo y el agua con el aceite de motores o la pérdida de líquido hidráulico.

(E) Los flujos de desviación para cursos de agua Clase I deben tener un volumen suficiente para evitar el drenado del curso de agua y mantener la vida acuática corriente abajo y deben cumplir con las siguientes reglas:

(i) Los flujos de desviación en el arroyo de origen durante la succión deben ser de al menos 2 pies cúbicos por segundo.

(ii) La tasa de desvío no debe superar el 10 por ciento del flujo superficial.

(iii) La reducción del volumen del estanque no debe superar el 10 por ciento.

(F) El operador de bombeo debe mantener un cuaderno que registre cada vez que se succione agua, la fecha, el tiempo de bombeo total, la tasa de bombeo, el tiempo de inicio, el tiempo de finalización y el volumen desviado. Los registros deben ser archivados en el Departamento Forestal y de Protección contra Incendios al finalizar las operaciones estacionales y se deben mantener en el registro del plan. Este requisito debe ser modificado en el plan aprobado que cubre la succión de agua, con la aprobación del Departamento de Pesca y Caza.

(G) Antes de comenzar cualquier operación de succión de agua, el silvicultor profesional registrado y el operador de bombeo debe realizar una revisión de campo previa a las operaciones para discutir las medidas de succión de agua en el plan o en el Acuerdo de Alteración de Lagos o Lechos de Arroyos.

ARTÍCULO 923.8[943.8, 963.8]. ABANDONO Y DESACTIVACIÓN DE CAMINOS DE EXPLOTACIÓN FORESTAL Y PLATAFORMAS.

Todos los caminos de explotación forestal y las plataformas que se proponen para la eliminación de la red de caminos permanente deben ser abandonados. Todos los caminos temporales y las plataformas que deben permanecer como parte de la red de caminos permanente deben ser desactivados en forma anual antes del período invernal o hasta finalizar las operaciones madereras según las especificaciones del plan operativo para el período invernal aprobado en virtud del artículo 914.7(b) [934.7(b), 954.7(b)] del

Título 14 del CCR. Los demás caminos de explotación forestal y plataformas cuya desactivación se propone deben cumplir con las normas especificadas en este artículo. Cuando se requiere o se propone el abandono o la desactivación, el plan debe describir las medidas específicas para evitar una descarga de sedimentos significativa aplicables a los siguientes requisitos generales:

(a) Todos los caminos de explotación forestal y las plataformas abandonados y desactivados deben quedar en una condición tal que brinden una función de drenaje y control de la erosión a largo plazo y sin mantenimiento.

(b) El suelo expuesto por operaciones de abandono o desactivación debe ser retirado o estabilizado según sea necesario para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos.

(c) Los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal, otras estructuras de drenaje y rellenos asociados deben ser eliminados y estabilizados en virtud del artículo 923.9 [943.9, 963.9], secciones (p)(1)–(4), del Título 14 del CCR.

(d) Los caminos de explotación forestal que serán abandonados o desactivados deben ser bloqueados antes del período invernal, o hasta finalizar las operaciones madereras según las especificaciones del plan operativo para el período invernal aprobado en virtud del artículo 914.7(b) [934.7(b), 954.7(b)] del Título 14 del CCR, de modo tal que los vehículos con tracción en las cuatro ruedas de producción estándar no puedan pasar por el punto de cierre al momento del abandono o la desactivación. Si se abandonará un camino de explotación forestal, el diseño del bloqueo se debe describir en el plan.

ARTÍCULO 923.9 [943.9, 963.9]. CRUCES DE CURSOS DE AGUA [TODOS LOS DISTRITOS]

Las estructuras de drenaje de los cruces de cursos de agua en caminos de explotación forestal deben ser planificados, construidos, reconstruidos y mantenidos o eliminados según las normas establecidas en este artículo.

(a) La planificación y el uso de cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal debe incluir la evaluación y documentación de sitios de erosión significativa existentes y potenciales en virtud del artículo 923.1(e) [943.1(e), 963.1(e)] del Título 14 del CCR.

(b) La cantidad de cruces se debe reducir al mínimo posible. Los cursos de agua de caminos de explotación forestal existentes deben utilizarse siempre que sea posible y adecuado.

(c) Todas las nuevas estructuras e instalaciones de drenaje en cursos de agua que soportan peces o especies acuáticas enumeradas deben permitir el paso ilimitado de todas las etapas de la vida que estén presentes y deben permitir el movimiento natural del cabalgamiento para formar un lecho continuo a través del cruce. Dichas estructuras e instalaciones deben describirse completamente en el plan con la claridad y el detalle suficientes como para permitir la evaluación por parte del equipo de revisión y el público, brindar instrucciones a la LTO para la implementación y proporcionar normas exigibles para el inspector.

(d) En las cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados, se debe brindar una descripción de todos los cruces de cursos de agua Clase I permanentes existentes, en donde haya presencia de peces en todo momento o en forma estacional o en donde se pueda recuperar el paso de peces. Cuando se determine que las condiciones del cruce actual pueden afectar el paso de peces en cualquier etapa de vida, el silvicultor profesional registrado debe divulgar esas condiciones en el plan y proponer medidas, si es posible, para abordar estas condiciones, sujeto a la revisión y determinación del Director.

(e) La ubicación de todos los nuevos cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal permanentes construidos y reconstruidos, y de los cruces temporales, incluso los cruces que serán abandonados o desactivados, debe mostrarse en un mapa. Si la estructura es una alcantarilla destinada al uso permanente, el plan debe especificar el diámetro

mínimo de la alcantarilla y los métodos utilizados para determinar el diámetro de la alcantarilla.

(1) Antes de la inspección previa a la tala, se debe marcar o identificar de algún modo en el suelo la ubicación de todos los caminos de explotación forestal a ser construidos o reconstruidos: se pueden incorporar excepciones, explicadas y justificadas en el plan y aprobadas por el Director, si la marcación es innecesaria como ayuda sustancial para examinar los posibles efectos adversos de la ubicación del cruce en los factores enumerados en el artículo 923(b) [943(b), 963(b)] del Título 14 del CCR.

(f) Todos los cruces de cursos de agua permanentes que sean construidos o reconstruidos deben adaptarse al flujo de crecida de 100 años estimado, incluso los escombros y las cargas de sedimentos.

(g) Todas las alcantarillas utilizadas para la construcción y el reemplazo de cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal deben instalarse en la pendiente del curso de agua natural, o lo más cerca posible de la misma. Las alcantarillas deben estar alineadas con el canal del curso de agua, en la medida de lo posible, y deben tener el largo adecuado para evitar la erosión del relleno.

(h) Los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal no deben descargar agua en el relleno erosionable u otro material erosionable sin la instalación de disipadores de energía y otras estructuras de protección necesarias.

(i) Los rellenos para cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal deben compactarse bien en capas de aproximadamente un pie durante la instalación. La cara de los rellenos del cruce no pueden ser superiores al 65 por ciento (1.5:1, horizontal a vertical). El material excavado y los bancos de corte que surjan como consecuencia de la construcción o reconstrucción y tengan acceso a un curso de agua deben ser vueltos al ángulo original del canal para evitar deslopes, minimizar la erosión del suelo y evitar una descarga de sedimentos significativa.

(j) Se deben incorporar vados críticos a la construcción o reconstrucción de los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal utilizando alcantarillas, excepto cuando la desviación del desborde se realice mediante otros métodos estipulados en el plan.

(k) Los cruces de cursos de agua y rellenos y alrededores asociados deben ser construidos y mantenidos para evitar el desvío del desborde de arroyos camino abajo y para minimizar la erosión del relleno en el caso de que se obstruya la estructura de drenaje. Los métodos para mitigar o abordar el desvío de los desbordes de arroyos en cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal deben indicarse en el plan.

(l) Las estructuras de protección necesarias asociadas con los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal, como paredes laterales, muros de cabeza con armadura rocosa y bajadas ancladas deben tener un tamaño adecuado para transmitir la escorrentía, minimizar la erosión de los rellenos de los cruces y evitar una descarga de sedimentos significativa. Las rocas utilizadas para estabilizar las salidas de los cruces deben tener un tamaño adecuado para resistir el movimiento, con el rango de dimensiones de rocas requerido que se describe en el plan.

(m) Se deberán aplicar las siguientes normas de drenaje a los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal:

(1) Se debe proporcionar un drenaje adecuado de la superficie en los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal mediante el modelado de la superficie del camino de explotación forestal, junto con la instalación de instalaciones de drenaje, drenajes de cunetas u otras estructuras de protección necesarias para desconectar hidrológicamente al camino del cruce en la medida de lo posible.

(2) En virtud del artículo 923.5(a)–(i) [943.5(a)–(i), 963.5(a)–(i)] del Título 14 del CCR, se deben instalar instalaciones de drenaje y drenaje de cunetas junto a los cruces de cursos de agua

de caminos de explotación forestal, cuando sea necesario, para desconectar hidrológicamente, en la medida de lo posible, el acercamiento del camino de explotación forestal al cruce, a fin de minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y evitar una descarga de sedimentos significativa durante y después de la finalización de las operaciones madereras. Puede encontrar directrices sobre desconexión hidrológica en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(3) Se deben localizar las estructuras de drenaje instaladas que estén adyacentes a cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal para evitar la descarga de escorrentía concentrada a rellenos, suelos erosionables, áreas inestables y bajíos de muros de cabeza conectados, en la medida de lo posible.

(n) Cuando se acumula un volumen significativo de sedimentos de un cruce de un curso de agua de un camino de explotación forestal que se propone para su reconstrucción o eliminación, se deben eliminar los sedimentos almacenados o estabilizados, en la medida de lo posible, como se describe en el plan y según las condiciones de los acuerdos del artículo 1600 de la CDFW requeridos, según corresponda.

(o) Cuando los rellenos del cruce sobre las alcantarillas son largos, o cuando las estructuras de drenaje de los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal y los dispositivos de control de erosión históricamente tienen un alto índice de fallas, dichas estructuras de drenaje y dispositivos de control de erosión deben tener un tamaño superior al habitual, ser diseñados para recibir poco mantenimiento, ser reforzados o eliminados antes de la finalización de las operaciones madereras o según las especificaciones del plan. Puede encontrar directrices sobre cómo reducir el potencial de cruces de cursos de alto riesgo en el Anexo a la Norma Técnica Número 5 de la Junta.

(p) Todos los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal respecto de los cuales el proponente del plan proponga su eliminación, incluso los cruces temporales y los caminos abandonados o desactivados, deben ser eliminados como se describe en el plan y se deberán aplicar las siguientes normas:

(1) Los rellenos deben ser excavados para formar un canal que esté lo más cerca posible de la pendiente y la orientación del curso de agua natural y que sea lo suficientemente ancha como para que pueda eliminarse el canal natural, observado corriente arriba y corriente abajo del cruce del curso de agua del camino de explotación forestal.

(2) El material excavado y los bancos de corte que surjan en consecuencia no deben superar el 65 por ciento (1.5:1, horizontal a vertical) desde el borde externo del canal construido para evitar deslopes y minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y evitar una descarga de sedimentos significativa. El suelo expuesto ubicado entre el cruce del curso de agua y la instalación de drenaje o el divisor hidrológico más cercano, según lo que esté más cerca, incluso los bancos de corte y el material excavado, deben estabilizarse mediante sembrado, cubrición, acorazamiento de rocas, replantación u otro tratamiento adecuado para evitar la erosión del suelo y la descarga de sedimentos significativa.

(3) Cuando no sea posible eliminar un cruce de un curso de agua de un camino de explotación forestal o su relleno asociado según las normas anteriores, el plan debe identificar cómo se prevendrá la erosión del suelo y la descarga de sedimentos significativa.

(4) Todos los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal propuestos para eliminación deben ser eliminados al finalizar su utilización, antes del período invernal o según las especificaciones del acuerdo del artículo 1600 de la CDFW aplicables, según lo que ocurra primero, o según lo especificado en el plan.

(q) Los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal no deben ser construidos o

reconstruidos en condiciones de suelo saturado o cuando dichas actividades podrían provocar una descarga de sedimentos significativa.

(r) Los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal Temporales deben ser eliminados y estabilizados antes del período invernal o según lo especificado en el plan.

(s) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, y contiguas a, cualquier curso de agua con salmónidos anádromos enumerados en el cual se propone la construcción o reconstrucción durante el período de clima húmedo extendido, no se deben realizar operaciones madereras salvo que el plan aprobado incorpore un plan operativo completo para el período invernal en virtud del artículo 914.7(b) [934.7(b), 954.7(b)] del Título 14 del CCR que aborde específicamente dicha construcción o reconstrucción.

(t) Se deberán aplicar las siguientes normas de estabilización a los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal:

(1) Las medidas de estabilización del suelo deben describirse en el plan y pueden incluir, entre otras cosas, la remoción, el acorazamiento con enrocamiento de protección, la replantación, la cobertura, la siembra, la instalación de dispositivos comerciales de control de erosión según las especificaciones del fabricante o estabilizadores químicos.

(2) El suelo descubierto en rellenos o vertido lateral asociados con cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal que se crea o queda expuesto por las operaciones madereras debe ser estabilizado en la medida que sea necesario para minimizar la erosión del suelo y el transporte de sedimentos y para evitar una descarga de sedimentos significativa. Las medidas de control de erosión para la superficie desplazada de caminos y superficies de plataformas se especifican en los títulos 923.5 [943.5, 963.5] y 923.7 [943.7, 963.7]. Los sitios a ser estabilizados incluyen, entre otros, vertido lateral o relleno que supere los 20 pies en distancia de la pendiente desde el borde externo de la superficie del camino en un cruce de un curso de agua de un camino de explotación forestal.

(3) Se deben implementar tratamientos de estabilización del suelo al finalizar las operaciones para el año de utilización o antes del período de clima húmedo extendido, según lo que ocurra primero. Una excepción es que las áreas descubiertas creadas durante el período de clima húmedo extendido deben ser tratadas antes del comienzo de las lluvias que generan un flujo superficial, o dentro de los 10 días, según lo que ocurra primero, o según lo acordado con el Director.

(4) En cuencas fluviales con salmónidos anádromos enumerados y en la planificación de cuencas fluviales inmediatamente corriente arriba de, o contiguas a, cualquier cuenca fluvial con salmónidos anádromos enumerados, el plan debe describir los tratamientos para estabilizar los suelos, minimizar la erosión del suelo y prevenir una descarga de sedimentos significativa dentro de la WLPZ, y dentro de cualquier ELZ o EEZ designado para la protección de cursos de agua o lagos, de la siguiente manera:

(A) Además de los requisitos del artículo 923.9(p) (1)–(3) [943.9(p) (1)–(3), 963.9(p) (1)–(3)] del Título 14 del CCR, se requiere la estabilización del suelo para las siguientes áreas:

(i) Áreas que superen los 100 pies cuadrados continuos cuando las operaciones madereras hayan expuesto el suelo descubierto;

(ii) Bancos de corte y rellenos de cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal perturbados;

(iii) Cualquier otra área de suelo perturbado que amenace con provocar una descarga de sedimentos significativa.

(B) Cuando se utiliza un manto de paja, la cobertura de paja mínima debe ser del 90 por ciento y cualquier área tratada que haya sido reutilizada o tenga menos del 90 por ciento de cobertura de la superficie debe ser tratada nuevamente al finalizar las operaciones madereras.

(C) Cuando se aplica un manto de desperdicios madereros, la cobertura de desperdicios madereros en contacto con el suelo debe ser como mínimo del 75 por ciento.

(D) Para áreas perturbadas fuera del período de clima húmedo extendido, el tratamiento debe ser completado antes del comienzo de cualquier lluvia que provoque flujo superficial en la superficie perturbada y pueda generar una descarga de sedimentos significativa.

(E) Para áreas perturbadas durante el período de clima húmedo extendido, el tratamiento debe ser completado antes de cualquier día en el que el Servicio Nacional de Meteorología pronostique una probabilidad de lluvias del 30 por ciento o más o dentro de los 10 días de la perturbación, según lo que ocurra primero.

(u) Los cruces de cursos de agua de caminos de explotación deben ser vigilados y mantenidos durante las operaciones madereras y durante todo el período de mantenimiento estipulado, según sea necesario, para cumplir con el artículo 1050 del Título 14 del CCR. El período de mantenimiento estipulado se especifica en el artículo 923.7(i)–(j) [943.7(i)–(j), 963.7(i)–(j)] del Título 14 del CCR. Se deben realizar inspecciones de vigilancia, cuando el acceso sea posible durante el período de mantenimiento estipulado, una cantidad de veces suficiente durante el período de clima húmedo extendido, especialmente después de grandes tormentas invernales y al menos una vez al año para evaluar el funcionamiento del cruce del curso de agua. El Departamento también debe realizar inspecciones de vigilancia, al menos una vez durante el período de mantenimiento estipulado, para evaluar las condiciones del cruce del curso de agua.

(1) Las inspecciones deben incluir la verificación de los cruces de cursos de agua para detectar signos de socavación, taponamiento, desbordamiento, pérdida de funciones y envío de sedimentos a cursos de agua o lagos Clase I, II o III. Si existen signos de envío de sedimentos o posible envío de sedimentos, y la implementación de medidas correctivas viables podría reducir el potencial de descarga de sedimentos significativa, se deben implementar medidas adicionales cuando sea posible.

(2) Las inspecciones realizadas en virtud de los requisitos de la Junta Regional de Control de la Calidad del Agua de California pueden utilizarse para satisfacer los requisitos de inspección de esta sección.

(v) Los cruces de cursos de agua de caminos de explotación deben ser mantenidos del modo en que hayan sido diseñados, construidos o reconstruidos durante las operaciones madereras y durante todo el período de mantenimiento estipulado. Los cruces que se utilicen en combinación con actividades de almacenamiento deben mantenerse durante todo el tiempo de utilización, incluso si se extiende más allá del período de mantenimiento estipulado.

B. JUNTA FORESTAL, ANEXO A LA NORMA TÉCNICA NRO. 5

DIRECTRICES SOBRE DESCONEXIÓN HIDROLÓGICA, DRENAJE DE CAMINOS, MINIMIZACIÓN DE DESVÍOS POTENCIALES Y CRUCES DE ALTO RIESGO

Propósito

El propósito de este anexo a la norma técnica es brindar directrices a los Silvicultores Profesionales Registrados (RPF), Operadores Madereros Registrados (LTO), propietarios de terrenos madereros y personal de organismos sobre desconexión hidrológica de segmentos de caminos y drenaje de caminos de explotación forestal, en virtud de las Normas de Práctica Forestal del artículo 923 *y sig*. [943 *y sig*., 963 *y sig*.] del Título 14 del CCR. Los caminos de explotación forestal no pueden estar completamente desconectados de los cursos de agua en todos los lugares. Este anexo brinda ayuda para comprender dónde se necesita realizar la desconexión y dónde las observaciones de campo específicas del sitio indican que existe una combinación de áreas claves e indicadores de problemas que generan sitios de erosión significativa existentes o potenciales. La información contenida en este anexo ha sido diseñada para combinarse con la evaluación específica del sitio de las condiciones del camino de explotación forestal en el campo.

La Parte I de este anexo presenta una introducción al concepto de desconexión hidrológica, un método para evaluar la conectividad hidrológica existente y las medidas de tratamiento disponibles para lograr la desconexión hidrológica. La Parte II contiene pautas sobre la ubicación adecuada de las instalaciones y estructuras de drenaje, la instalación de disipadores de energía, el peralte hacia afuera de la superficie del camino y la colocación de vados ondulantes superficiales. La Parte III describe el potencial de desviación en cruces de cursos de agua y la importancia de la instalación de vados críticos. La Parte IV describe los cruces con mayor riesgo de fallas y potenciales acercamientos que pueden utilizarse para reducir el riesgo de sufrir fallas catastróficas. La Parte V finaliza con una tabla y varias figuras que ilustran los conceptos discutidos en el texto del anexo.

I. Desconexión hidrológica

Como lo define el artículo 895.1 del Título 14 del CCR, desconexión hidrológica significa la eliminación de rutas directas de drenaje o de flujo superficial de escorrentía a un curso de agua o lago. El objetivo de la desconexión hidrológica es minimizar el envío de sedimentos y el cambio hidrológico derivado de la escorrentía del camino que es transportado a un curso de agua (Consulte la Figura 1). La desconexión hidrológica se logra mediante la creación de una superficie del camino y la configuración del drenaje que desvíen el agua para que descargue del camino en un lugar donde no pueda fluir directamente al curso de agua. La desconexión hidrológica puede lograrse mediante el desvío de la escorrentía del camino a franjas de filtrado eficaces. Las franjas de filtrado deben tener una alta capacidad de infiltración y una vegetación densa u obstrucciones (por ej., escombros leñosos, residuos madereros) para disipar la energía, facilitar la infiltración y resistir o evitar la erosión y la canalización. La conectividad hidrológica aumenta el potencial de los segmentos del camino de transportar sedimentos derivados del camino y químicos del camino, incluso fugas, a un curso de agua. Cuando los caminos están conectados a cursos de agua, esto aumenta de manera efectiva la densidad del drenaje de la cuenca fluvial, produciendo cambios hidrológicos que pueden alterar la magnitud y la frecuencia del envío de escorrentía a los cursos de agua. La proporción de prismas del camino que están hidrológicamente conectados depende mucho de la ubicación del camino, el diseño del camino, el mantenimiento del camino, la topografía local, la geología y factores que controlan la cantidad de escorrentía del camino (por ej., la cantidad de precipitaciones anuales).

Los caminos hidrológicamente conectados pueden transportar agua y sedimentos a través de cunetas internas que drenan a un cruce de un curso de agua; mediante una estructura o instalación de drenaje del camino conectada (por ej., alcantarilla de drenaje de cunetas, vado ondulante superficial, camellón o cuneta interna inicial que transporta escorrentía a un canal de un curso de agua); o mediante escorrentía directa de la superficie de tránsito del camino a un curso de agua en cruces de caminos (Ver Figura 1). **En**

el oeste de los Estados Unidos, los cruces de cursos de agua de caminos representan la mayoría del largo de un camino conectado, seguido de barrancos formados por escorrentía concentrada en la estructura de drenaje o las salidas de las instalaciones. Las evidencias de conexión entre una estructura o instalación de drenaje de un camino se brindan mediante: (1) la indicación del flujo superficial entre la salida de la estructura de drenaje y un canal definido o un área propensa a crecidas; (2) un canal que se extiende desde un canal que se extiende de una salida de una estructura de drenaje del camino a la línea de marea alta de un canal definido o un área propensa a crecidas; (3) un depósito de sedimentos que alcanza la línea de marea alta de un canal definido o un área propensa a crecidas; (4) observación de agua túrbida que llega al curso de agua durante eventos de escorrentía; o (5) signos de ensanchamiento del canal y/o incisión debajo de una estructura de drenaje provocada por aumentos de flujo.

Los principales mecanismos para reducir la conectividad hidrológica son: (1) la instalación de una instalación o estructura de drenaje de "desconexión" cerca del cruce del curso de agua; (2) el aumento de la frecuencia de espaciado de la alcantarilla (de alivio) de drenaje de cunetas para caminos con cunetas internas; (3) la conversión de caminos en corona o con peralte hacia adentro y cunetas internas, en caminos con peralte hacia afuera con vados ondulantes superficiales; (4) eliminar o quebrar las bermas externas en caminos en corona o con peralte hacia afuera para facilitar un drenaje eficaz; (5) la aplicación de tratamientos para disipar la energía, dispersar los flujos y minimizar la erosión en las salidas de drenaje de caminos no conectados a cursos de agua; y (6) evitar la concentración de flujos en áreas inestables. En particular, es importante que la distancia entre un cruce de un curso de agua y la primera pendiente hacia arriba sea adecuada y que la estructura o instalación de drenaje del camino tenga un tamaño adecuado, ya que esta distancia tiene una gran influencia sobre el volumen de agua y el envío de sedimentos a un curso de agua.

No todos los segmentos de caminos están conectados hidrológicamente y la desconexión hidrológica completa no es posible en la mayoría de los caminos. Por ejemplo, los segmentos de caminos con peralte hacia adentro y con una cuneta interna suelen incluir un segmento que se conecta entre un curso de agua y la primera instalación o estructura de drenaje del camino ubicada pendiente arriba del cruce del curso de agua (Ver Figura 2). Las probabilidades de conectividad generalmente se reducen rápidamente a medida que aumenta la distancia entre el camino y el curso de agua. Los caminos con bajo potencial de transporte también incluyen segmentos de caminos en terrenos planos que no tienen intersección con canales de cursos de agua. Para todos los segmentos de caminos existentes en los que podría haber conexión hidrológica, el artículo 923.1(e) [943.1(e), 963.1(e)] del Título 114 del CCR requiere que se realice una evaluación para identificar qué segmentos deben estar desconectados y cómo se producirá la desconexión.

A. Áreas claves para evaluar la conectividad hidrológica

Cuando se evalúa la conectividad hidrológica de los caminos de explotación forestal, se debe prestar especial atención a la identificación de segmentos de caminos con una gran cantidad de cruces de cursos de agua y a los segmentos de caminos ubicados cerca de cursos de agua (por ej., menos de 200 pies). Las áreas claves a tener en cuenta en este contexto incluyen, entre otras:

- Segmentos de caminos con una estructura o instalación de drenaje de caminos con salidas cerca de cursos de agua.
- Segmentos de caminos con peralte hacia adentro o en corona con cunetas internas.
- Segmentos de caminos en corona o con peralte hacia afuera con bermas externas.
- Caminos o pendientes de cunetas empinados (por ej., más del 7%).
- Caminos en gradientes de laderas empinadas (por ej., más del 40%).
- Caminos ubicados en posiciones de laderas bajas (en contraposición a posiciones de pendiente media o ladera alta).

- Segmentos de caminos con cortes o incisiones que tienen dificultades para drenar adecuadamente.
- Áreas con una inestabilidad de ladera relativamente alta (por ej., terreno "melange" franciscano).
- Áreas con alta cantidad e intensidad de precipitaciones o altos niveles de escorrentía por deshielos (por ej., zona de lluvia sobre nieve transitoria y estacional).
- Segmentos de caminos con superficies propensas a la erosión (por ej., suelos no cohesivos como suelos graníticos descompuestos) o formación de surcos significativos por el uso intensivo.
- Segmentos de caminos con uso en clima húmedo.
- Áreas con poca dureza de la superficie o cobertura de vegetación (por ej., áreas recientemente quemadas) o suelos compactados con baja capacidad de infiltración.
- Caminos no pavimentados que se nivelan en forma regular.
- Cunetas internas que se nivelan en forma regular.
- Caminos con altos volúmenes de tráfico (por ej., caminos principales en una red de caminos, en contraposición a caminos secundarios y de poco uso).
- Caminos con problemas de mantenimiento (por ej., segmentos de caminos con estructuras de drenaje dañadas o taponadas) o limitaciones con respecto a la titularidad o el control (por ej., caminos públicos, caminos privados no accesorios, caminos con uso no autorizado).

B. Indicadores de problemas significativos existentes o potenciales

Los indicadores de problemas significativos existentes o potenciales en las condiciones de drenaje del camino existente incluyen, entre otros:

- Evidencias de ingreso directo de sedimentos a un curso de agua o a un área propensa a crecidas de superficies de caminos o estructuras e instalaciones de drenaje (por ej., sedimento estancado, depósitos de sedimentos, envío de escorrentía túrbida de estructuras de drenaje durante eventos de lluvia).
- Socavación o degradación de la cuneta debido a cunetas no drenadas excesivamente largas con alcantarillas (de alivio) de drenaje de cunetas poco frecuentes u otras estructuras o instalaciones de salida. Esta condición también puede ser el resultado de deficiencias en el diseño (por ej., espaciado no perturbado para la gradiente de una cuneta empinada), prácticas inadecuadas de prevención de la erosión (por ej., falta de acorazamiento) o cunetas ubicadas en áreas de suelos erosionables.
- Barrancos u otra evidencia de erosión en superficies de caminos o debajo de salidas de instalaciones o estructuras de drenaje de caminos, incluso alcantarillas (de alivio) de drenaje de cunetas, con transporte o alta probabilidad de transporte a un curso de agua.

Asimismo, si la escorrentía de un camino o una cuneta está conectada hidrológicamente a un curso de agua, los siguientes factores aumentan el riesgo del envío de sedimentos a un curso de agua:

- Existencia o alto potencial de hundimiento o erosión de cortes marginales en cunetas internas.
- Camino pavimentado nativo que muestra signos de erosión.
- Camino pavimentado nativo compuesto de tipos de suelos erosionables (por ej., suelos graníticos).
- Camino con riachuelos, barrancos o surcos en cercanías de cruces.
- Alcantarillas (de alivio) de drenaje de cunetas u otras estructuras de drenaje de caminos taponadas en forma significativa con sedimentos o pequeños escombros leñosos.
- Alcantarillas (de alivio) de drenaje de cunetas u otras estructuras de drenaje de caminos con

capacidad reducida debido a daños o deficiencias (por ej., entradas aplastadas o torcidas, vados aplanados debido a la nivelación del camino).

- Menor integridad estructural de alcantarillas (de alivio) de drenaje de cunetas, camellones u otras estructuras de drenaje de caminos (por ej., corrosión excesiva de las tuberías, camellones quebrados o segmentos de caminos con surcos).

C. Diseño y medidas de tratamiento para lograr una desconexión hidrológica

Las medidas de tratamiento para caminos de explotación forestal existentes son necesarias cuando las observaciones de campo específicas del sitio indican que existe una combinación de áreas claves e indicadores de problemas que generan sitios de erosión significativa existentes o potenciales. Los caminos propuestos y construidos deben ser diseñados para lograr una desconexión hidrológica en la medida de lo posible. Se aplican restricciones y requisitos adicionales en virtud del artículo 923.4(a) [943.4(a), 963.4(a)] del Título 14 del CCR a los caminos nuevos o reconstruidos, mientras que los artículos 923.5(a) [943.5(a), 963.5(a)] y 923.6(g) y (h)(3) [943.6(g) y (h)(3), 963.6(g) y (h)(3)] del Título 14 del CCR son aplicables a los caminos existentes.

Las medidas para desconectar hidrológicamente los segmentos de caminos de explotación forestal incluyen, entre otros:

- La instalación de una instalación o estructura de drenaje de un camino lo más cerca posible del cruce del curso de agua. Típicamente, esta distancia es de 30 a 100 pies por encima del cruce (Consulte la Figura 2), pero puede ser de hasta 200 pies o más sobre la base del diseño del drenaje del camino o las condiciones específicas del sitio. Por ejemplo, la distancia desde el cruce del curso de agua hasta la instalación o estructura de drenaje del camino puede basarse en la ubicación donde la capacidad de almacenamiento de la franja de filtrado sea mayor (por ej., vegetación más densa y cobertura del suelo). Tenga en cuenta que este espaciado puede ser más cercano que la distancia máxima especificada en el artículo 923.5(f) [943.5(f), 963.5(f)] del Título 14 del CCR, o según sea necesario en virtud del artículo 923.5(g) [943.5(g), 963.5(g)] del Título 14 del CCR. Según el diseño de drenaje del camino, la instalación o estructura de drenaje del camino puede ser una alcantarilla (de alivio) de drenaje de cunetas, un vado ondulante superficial, un camellón u otra instalación o estructura eficaz. Los diseños o instalaciones de drenaje de la superficie que concentran escorrentía (por ej., superficies de caminos en corona o con peralte hacia adentro) requieren más distancia de almacenamiento entre la salida del drenaje y el curso de agua que aquellos con escorrentía dispersa (por ej., superficies de caminos con peralte hacia afuera).

- La instalación de instalaciones o estructuras de drenaje de caminos adicionales por encima de la instalación o estructura de drenaje de caminos más cercana al cruce del curso de agua que tengan un tamaño y una ubicación adecuados en virtud del artículo 923.5(b) y (c) [943.5(b) y (c), 963.5(b) y (c)] del Título 14 del CCR. El espaciado máximo de los camellones para caminos se especifica en el artículo 923.5(f) [943.5(f), 963.5(f)] del Título 14 del CCR. El espaciado adecuado para los vados ondulantes superficiales se discute en la Sección II.C. de este Anexo a la Norma Técnica.

- La instalación de drenajes de cunetas con un espaciado suficiente para minimizar la socavación, evitar la excedencia de la capacidad hidráulica del drenaje de la cuneta y la erosión en las salidas del drenaje. El silvicultor profesional registrado debe tener en cuenta la experiencia local, los conocimientos y las condiciones específicas del sitio (por ej., hidrología, suelo y material geológico presente) para la ubicación y el espaciado de los drenajes de cunetas. El espaciado de los drenajes de cunetas debe ajustarse en respuesta a: (1) capacidad de filtrado deficiente o áreas potencialmente inestables (en la siguiente sección se enumeran factores adicionales) y (2) proximidad a un curso de agua. Cerca de un curso de agua, el espaciado del drenaje de una cuneta debe ser menor, de modo tal que las pequeñas cantidades de flujo vayan hacia la línea de la cuneta, brindado un factor de seguridad aún mayor para condiciones de alto flujo y posibles fallas de las instalaciones de drenaje. La Tabla 1 muestra un ejemplo de pautas de espaciado de drenajes de cunetas (de alivio) (ver

Sección IV de esta anexo). En la preparación de THP, NTMP y PTHP, los silvicultores profesionales registrados pueden desarrollar y utilizar otras pautas de espaciado que coincidan más con las condiciones del campo en donde se proponen sus planes. Por ejemplo, el silvicultor profesional registrado puede observar el largo del camino necesario para iniciar una erosión de surcos significativa y utilizar esas observaciones para ajustar las pautas de espaciado a las condiciones locales.

- En general, si se utilizan alcantarillas (de alivio) de drenaje de cunetas, se recomienda que sean de al menos 18 pulgadas de diámetro para reducir la posibilidad de taponamientos debido al suelo y a pequeños escombros leñosos.

- La elevación del cruce levemente por encima de la pendiente del camino para garantizar que el cruce (por ej., puentes o acercamientos de caminos relativamente planos) no sirven como punto bajo para la escorrentía de la superficie del camino (Ver Figuras 2 y 7). Cuando sea aplicable, esto no alivia la necesidad de la instalación de un vado crítico para mitigar posibles desvíos.

- La instalación de bermas externas para reducir la conectividad hidrológica en donde fluyen en forma directa a un área de descarga más adecuada.

Muchos segmentos de camino tendrán una pequeña parte de su largo conectada, incluso después de la implementación de los artículos 923.2(a)(5) [943.2(a)(5), 963.2(a)(5)], 923.5(a) [943.5(a), 963.5(a)], y 923.6(g) y (h)(3) [943.6(g) y (h)(3), 963.6(g) y (h)(3)] del Título 14 del CCR. Asimismo, se podría requerir el tratamiento de los alrededores de caminos para segmentos de caminos conectados cerca de cursos de agua en virtud del artículo 923.5(i) [943.5(i), 963.5(i)] del Título 14 del CCR.

II. Drenaje del camino, disipación de energía, peralte hacia afuera y vados ondulantes superficiales

A. Ubicaciones de las instalaciones y estructuras de drenaje

Además de las estructuras e instalaciones de drenaje ubicadas: (1) para desconectar la pendiente hacia arriba del drenaje del camino de cursos de agua y (2) a un intervalo (espaciado) suficiente para evitar las concentraciones de volumen y la erosión asociada, como se discutió anteriormente, se deben tener en cuenta otros factores para la colocación de las estructuras e instalaciones de drenaje en el campo. Para ayudar a identificar los sitios más adecuados para una estructura o instalación de drenaje, se deben tener en cuenta los siguientes criterios. Estos criterios deben ser evaluados y ponderados adecuadamente sobre la base de las condiciones específicas del sitio, de modo de aumentar la eficacia de la estructura o instalación de drenaje y evitar o minimizar posibles problemas. Los silvicultores profesionales registrados deben mantener o restaurar patrones de drenaje natural en la medida de lo posible, y a la vez tener en cuenta los factores que se mencionan debajo. Las estructuras e instalaciones de drenaje deben colocarse:

- De manera tal de evitar la concentración de flujo en áreas inestables o potencialmente inestables, como deslizamientos de tierra activos, suelo de megabrechas, muros de cabeza cóncavos o terraplenes empinados.

- De manera tal de descargar a pendientes divergentes (convexas) a planas, cuando sea posible, para permitir una mejor dispersión e infiltración (Ver Figura 3).

- Antes de divisiones hidrológicas para evitar que el agua de una cuenca hidrológica se mezcle con, y pueda impactar a, otra cuenca hidrológica no acondicionada para recibir los flujos adicionales.

- Sobre roturas en la pendiente del camino que van de una gradiente baja a una gradiente alta para eliminar el agua del camino antes de que tome velocidad y tenga mayor poder erosivo en el segmento del camino empinado pendiente abajo.

- Para drenar el agua subterránea localizada o emergente, los manantiales y las áreas húmedas presentes en el prisma del camino.

B. Instalación de disipadores de energía para estructuras e instalaciones de drenaje

Cuando la topografía natural, la textura de la superficie del suelo y la vegetación son inadecuadas para disipar la energía del agua que fluye, los disipadores de energía (por ej., desperdicios madereros, armadura rocosa, desviadores de flujo, bajadas ancladas, etc.) deben colocarse en salidas de las estructuras e instalaciones de drenaje para dispersar los flujos y promover la infiltración, en virtud de los requisitos del artículo 923.5(h) [943.5(h), 963.5(h)] del Título 14 del CCR. El uso y la selección de un disipador de energía adecuado deben basarse en las condiciones del campo y en función del flujo, las características de erosión de los suelos, la gradiente de la pendiente, la dureza y la cobertura de la pendiente y la distancia a un curso de agua receptor. Los disipadores de energía eficaces que se utilizan habitualmente en los bosques incluyen, entre otros:

- Capa de terreno de vegetación densa.
- Desperdicios madereros "compactados" con equipos pesados (idealmente) o en forma manual.
- Recubrimiento de roca natural. Generalmente compuesto de rocas locales compatibles que tengan un rango de tamaños de roca y una magnitud suficiente como para resistir el movimiento de la escorrentía del camino.
- Cuencas de aquietamiento adecuadamente ubicadas y mantenidas y de un tamaño apropiado.

C. Peralte hacia afuera de caminos de explotación forestal e instalación de vados ondulantes superficiales

Caminos con peralte hacia afuera con un ángulo leve de la superficie del camino hacia el borde externo (Ver Figura 4). Esta configuración permite que la escorrentía de la superficie del camino drene de manera dispersa sobre el terraplén en suelos de bosques no perturbados. Como se define en el artículo 895.1 del Título 14 del CCR, peralte hacia afuera significa dar a la superficie del camino una forma tal que le permita drenar hacia el borde externo del camino de explotación forestal o la plataforma.

Los vados ondulantes superficiales suelen construirse en caminos con peralte hacia afuera para garantizar un drenaje adecuado de la superficie del camino. Como se define en el artículo 895.1 del Título 14 del CCR, un vado ondulante superficial es una instalación de drenaje que se construye para seguir siendo eficaz y permitir el paso de vehículos motorizados a velocidad reducida.

En una superficie de tránsito de un camino con peralte hacia afuera se considera que el camino está hidrológicamente desconectado si la escorrentía es transportada de manera eficaz en lugar de ser llevada a la superficie del camino, las bermas externa no restringen la escorrentía y el prisma del camino no limita el curso de agua. Se deben instalar vados ondulantes superficiales en los caminos con peralte hacia afuera para garantizar que el flujo de la superficie sea desviado fuera de la superficie del camino en situaciones en las que el peralte hacia afuera por sí solo no sería eficaz para evitar la concentración de flujo o la erosión del relleno (Ver Figura 5). En general, los caminos con peralte hacia afuera y vados ondulantes superficiales no son adecuados para caminos con una gradiente superior al diez por ciento (10%) debido a la inclinación de las pendientes cercanas al vado que serían necesarias y a la dificultad para drenar de manera eficaz la superficie del camino. La cantidad máxima de peralte hacia afuera posible depende del tipo de tráfico que tendrá el camino (por ej., camiones de plataformas bajas, camiones de transporte de troncos, camionetas) y de la pavimentación del camino. Los caminos con peralte hacia afuera no son adecuados en todas las situaciones por cuestiones de seguridad, momento de utilización o tráfico esperado (por ej., uso en invierno en zonas donde nieva).

El espaciado de los vados ondulantes superficiales debe realizarse en virtud del artículo 923.5(g) [943.5(g), 963.5(g)] del Título 14 del CCR. Al igual que la ubicación de las alcantarillas de drenaje de cunetas (de alivio), la ubicación de los vados ondulantes superficiales debe ser modificada según la capacidad de almacenamiento del sitio en los lugares de instalación propuestos y la evasión del flujo

concentrado en áreas inestables. El espaciado de los vados ondulantes superficiales depende de: (1) la pendiente del camino, la erosionabilidad del suelo y el área de la superficie del camino que drena a la zanja y (2) la proximidad a un curso de agua. Cerca de un curso de agua, el espaciado del vado ondulante superficial debe ser menor, de modo tal que las pequeñas cantidades de flujo vayan hacia cada vado, brindado un factor de seguridad aún mayor para condiciones de alto flujo y posibles fallas de las instalaciones de drenaje. El silvicultor profesional registrado debe tener en cuenta la experiencia local y los conocimientos del suelo y el material geológico presente para determinar la ubicación y el espaciado de los vados ondulantes superficiales. La Tabla 1 muestra un ejemplo de pautas generales de espaciado de un vado ondulante superficial. En la preparación de THP, NTMP y PTHP, los silvicultores profesionales registrados pueden desarrollar y utilizar otras pautas de espaciado que coincidan más con las condiciones del campo en donde se proponen sus planes.

III. Potencial de desviación en cruces de cursos de agua e instalación de vados críticos

El potencial de desviación en cruces de cursos de agua suele asociarse a grandes tormentas y puede ser una fuente significativa de erosión y sedimentos. Los cruces de cursos de agua pueden desviarse si el desbordamiento en la entrada de una alcantarilla taponada desvía el curso de agua hacia el camino en lugar de desviarlo sobre el cruce y devolverlo al canal natural del curso de agua. Los flujos desviados pueden crear una erosión excesiva, en donde los flujos erosionan las superficies no canalizadas y superan la capacidad de canal de los canales no originales. Hay potencial de desviación en los caminos que tienen una pendiente ascendente continua a lo largo del cruce o cuando las pendientes descendentes de los caminos están lejos del cruce en al menos una dirección (Ver Figura 6). El artículo 923.10(k) [943.10(k), 963.10(k)] del Título 14 del CCR de las Normas de Práctica Forestal requiere que se aborde el potencial de desviación en caminos de explotación forestal construidos (nuevos) y existentes; desde 1990 hay requisitos similares. Como lo especifica el artículo 923.10(j) [943.10(j), 963.10(j)] del Título 14 del CCR, los vados críticos deben incorporarse en la construcción o reconstrucción de los cruces de cursos de agua de caminos de explotación forestal utilizando alcantarillas, excepto cuando la desviación del desborde se realice mediante otros métodos estipulados en el plan. El vado crítico debe ser construido en el punto en el cual el potencial de erosión y la pérdida de relleno sean mínimos (Ver Figura 7).

IV. Cruces con mayor riesgo de fallas y mayor riesgo ambiental

Algunos cruces de cursos de agua tienen un mayor riesgo relativo de sufrir fallas debido al paisaje en el cual se instalan (por ej., áreas propensas a flujos de escombros o deslizamiento); o debido a la falta de acceso o lejanía estacional, situaciones en las cuales se limita la eficacia del mantenimiento de emergencia. Asimismo, los cruces que utilizan rellenos más grandes de lo normal para lograr elevaciones de la superficie de tránsito suelen tener un mayor riesgo ambiental en caso de sufrir fallas debido a los grandes volúmenes de relleno que podrían ingresar a los cursos de agua pendiente abajo. En estos casos, se recomienda o requiere (artículo 923.11(i) [943.11(i), 953.11 (i) del Título 14 del CCR] que dichos cruces tengan un tamaño mayor al normal, sean diseñados para un bajo mantenimiento, reforzados o eliminados antes de finalizar las operaciones madereras. Como se explica en el libro *Designing Watercourse Crossings for 100-year Flood Flows, Wood and Sediment* (Cafferata y otros, 2004), si no se utilizan cruces temporales, los vados de rocas o los cruces con relleno blindado de rocas suelen ser la mejor alternativa para las alcantarillas en cursos de agua pequeños a medianos en áreas en las que se dificulta el mantenimiento durante el invierno o hay un mayor flujo de escombros; lo mismo se aplica a áreas propensas a flujos de tierra u otros tipos de deslizamientos de tierras. En general, los vados (incluso los vados de superficie nativa, de rocas, los rellenos blindados y los vados con ventilación) son más adecuados para transportar flujos, sedimentos y escombros de manera eficaz en paisajes inestables y áreas con malos accesos que los cruces de alcantarillas para tareas de vigilancia y mantenimiento de emergencia. Cuando se utilicen alcantarillas y los rellenos sean de gran tamaño, Cafferata y otros (2004) recomiendan que el diámetro de la alcantarilla se aumente en 6 pulgadas cada 5 pies de relleno por encima de la alcantarilla en el lado de la descarga del cruce. El mayor diámetro de la alcantarilla reduce el riesgo de fallas al permitir que haya más espacio

para el transporte de flujos, sedimentos y escombros y es relativamente menos costoso que el reemplazo de un cruce con fallas. Los cruces pueden ser reforzados mediante el uso de rocas de gran tamaño diseñadas para resistir el movimiento durante los flujos altos para alinear las caras del relleno y mediante la incorporación de grandes vados críticos para permitir el paso del flujo en el caso de que la alcantarilla se tapone. Los cruces temporales suelen generar el menor riesgo ambiental ya que el flujo no tiene impedimentos luego de la eliminación de los cruces.

V. Tabla y Figuras

La siguiente tabla y las siguientes figuras se brindan a modo de ejemplo para ilustrar los conceptos de diseño. No tienen la intención de servir como estándares de rendimiento predeterminados.

Tabla 1.

Puede encontrar un ejemplo de pautas de espaciados de alcantarillas de alivio de cunetas y vados ondulantes superficiales en la Publicación 8262 de la Universidad de California, *Rural Roads: A Construction and Maintenance Guide for California Landowners* (Kocher y otros, 2006, adoptado de Keller y Sherar 2003). Tenga en cuenta que el espaciado de los vados ondulantes superficiales y las alcantarillas de alivio de cunetas debe ser en función de la proximidad a un curso de agua, con un menor espaciado cerca del canal.

Pendiente del camino (%)	Erosionabilidad del suelo	
	Suelos poco o no erosivos	Suelos erosivos
0–3 %	400’	250’
4–6 %	300’	160’
7–9 %	250’	130’
10–12 %	200’	115’
12+	160’	100’

Nota: (1) **Suelos con poca erosión** = suelos rocosos gruesos, con grava y algo de arcilla

(2) **Suelos con mucha erosión** = suelos finos, friables, cienos, arenas finas

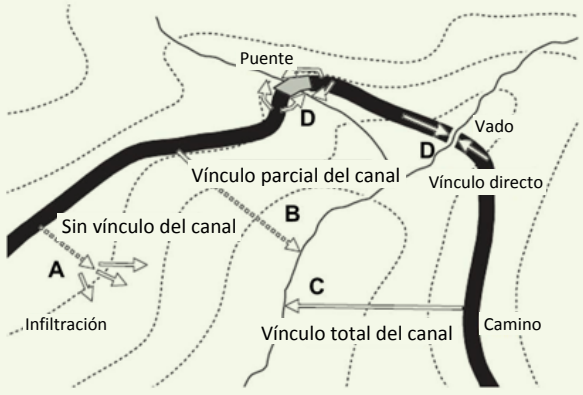


FIGURA 1. *El rango de conectividad hidrológica (vínculo) de un camino. Idealmente, la escorrentía del camino se drena a una franja de filtrado eficaz, en donde la escorrentía se dispersa hacia el suelo del bosque (A). Los caminos pueden conectarse parcialmente cuando una parte de la escorrentía y los sedimentos llegan al curso de agua (B). Se puede producir una conectividad hidrológica plena cuando la escorrentía del camino genera canales o barrancos (C) o drena indirectamente a cursos de agua en cruces de caminos (D). Figura adaptada de Croke y Hairsine, 2006.*

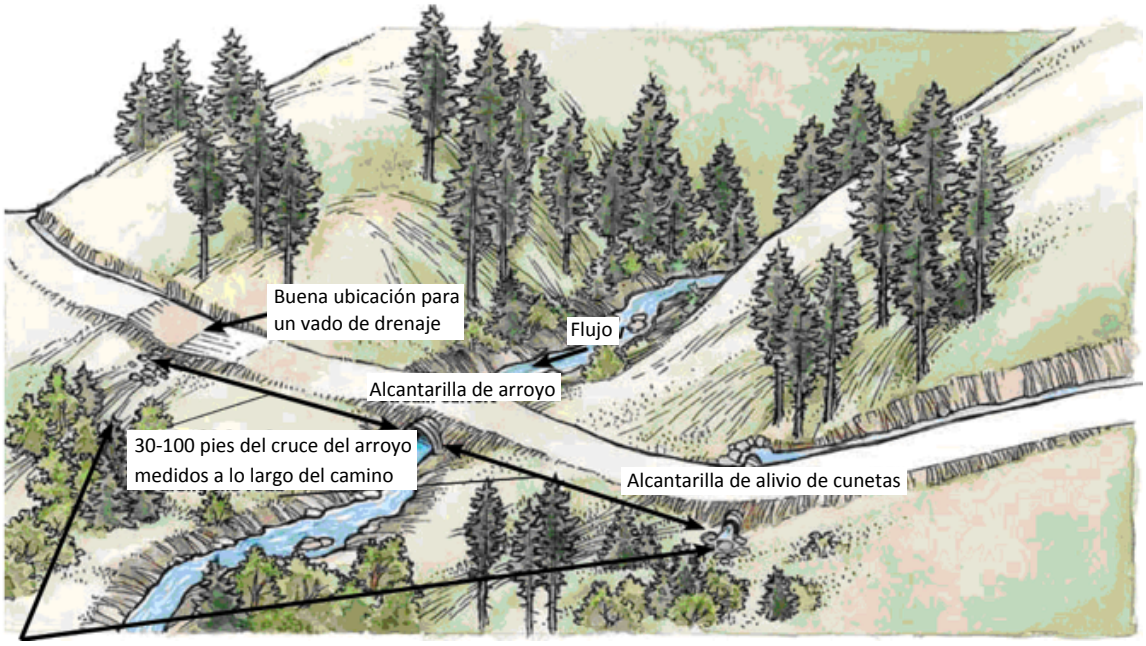


FIGURA 2. *Diagrama que muestra la implementación de estructuras o instalaciones de drenaje de caminos para limitar el envío de sedimentos a un curso de agua. Observe la ausencia de un vado crítico aparente en el cruce (modificado de Oregon Forest Resources Institute, 2011, segunda edición, 2011, utilizado con autorización).*

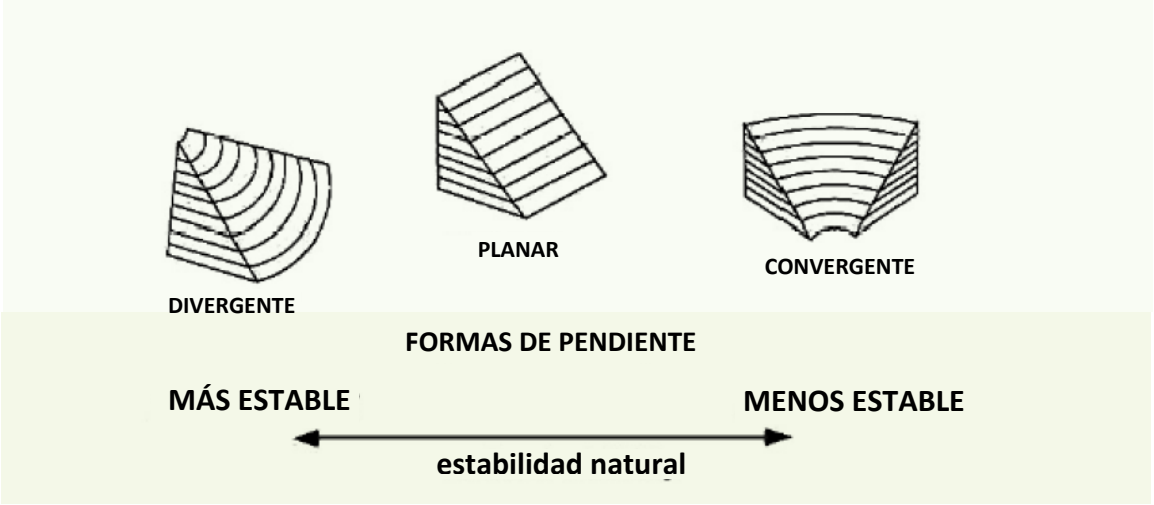


FIGURA 3. *Tres principales formas de pendiente; el agua debe ser descargada a pendientes divergentes (convexas) a planares cuando sea posible (de WFPB 2004).*

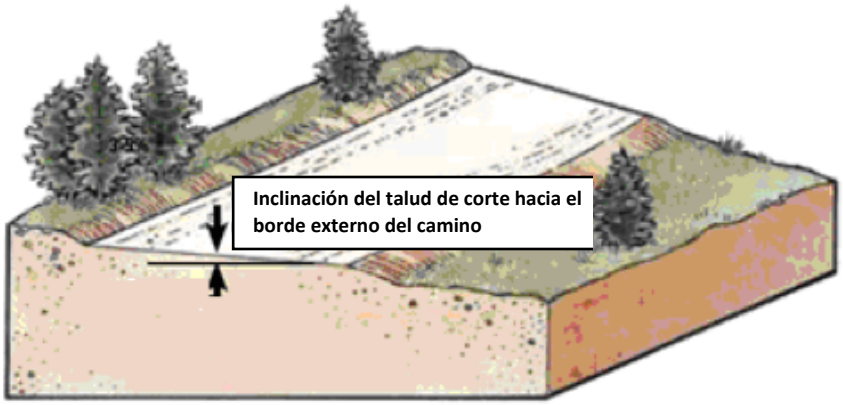


FIGURA 4. *Diagrama que muestra un camino con peralte hacia afuera típico (modificado de Oregon Forest Resources Institute 2011, segunda edición, utilizado con autorización).*

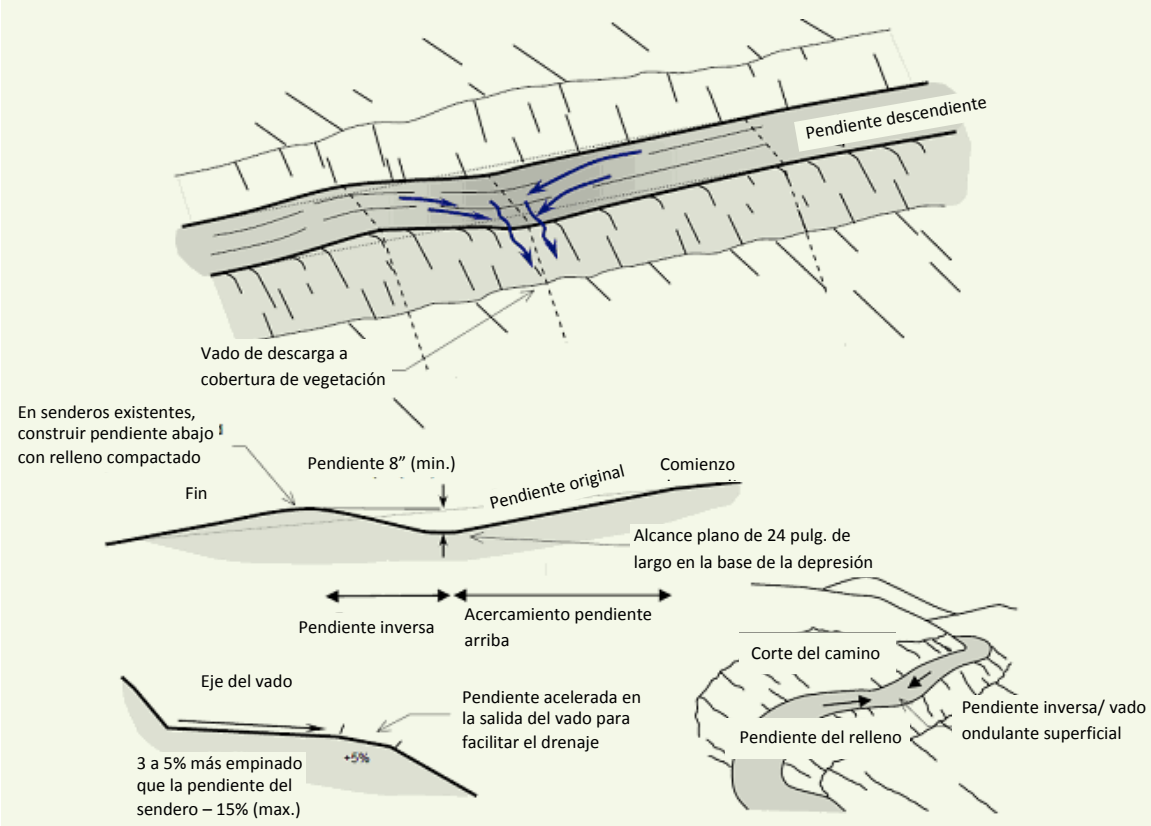


FIGURA 5. *Ejemplo de especificaciones de vado ondulante superficial (diagrama modificado brindado por Tim Best, CEG).*

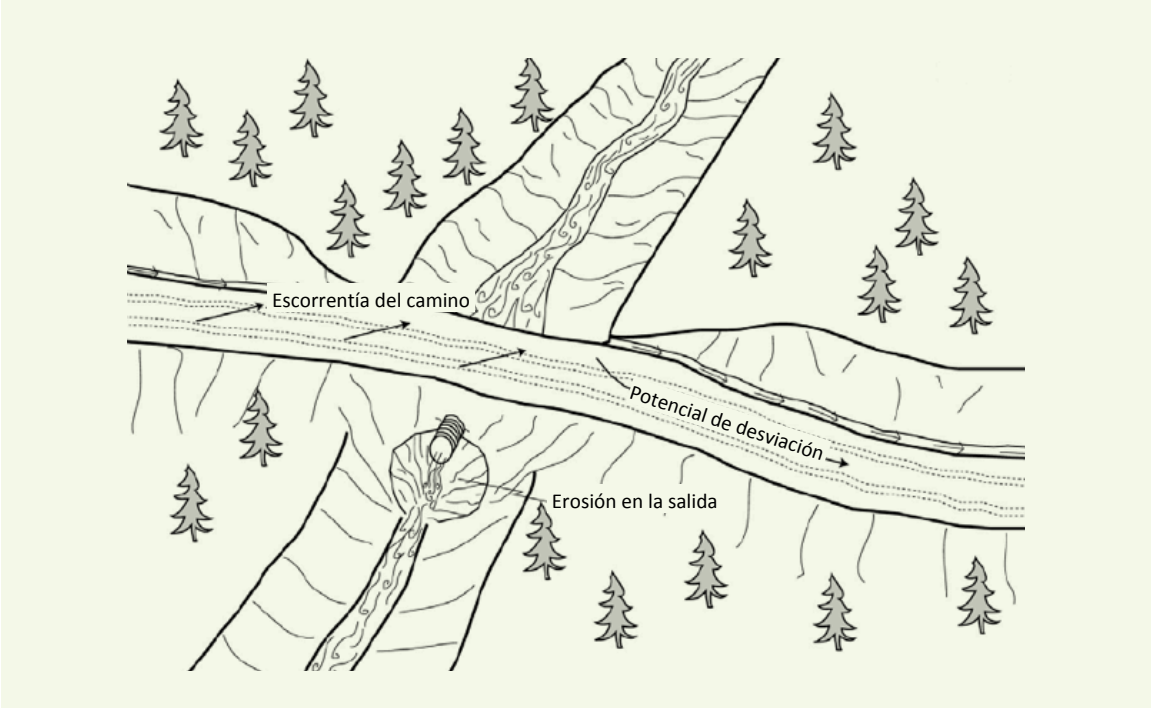


FIGURA 6. *Diagrama que ilustra el potencial de desviación a un cruce de un curso de agua (de DFG 2006).*

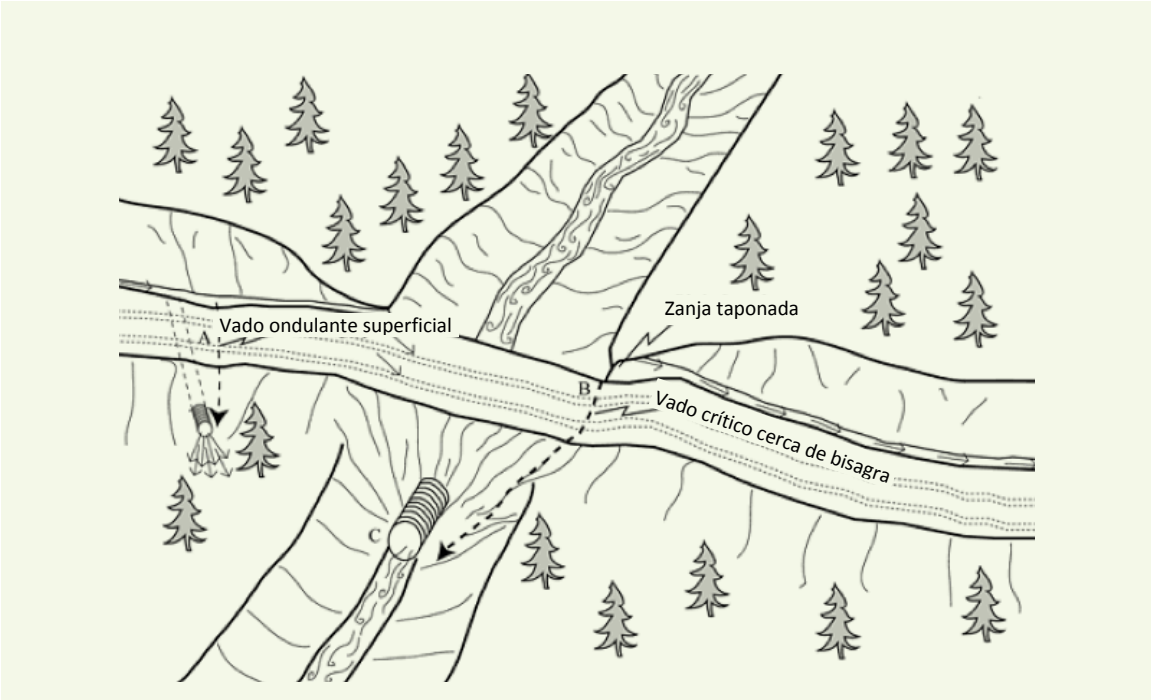


FIGURA 7. *Ilustración de un vado crítico instalado en un cruce de un curso de agua para eliminar el potencial de desviación (de DFG 2006). El vado crítico debe ser construido en el punto en el cual el potencial de erosión y la pérdida de relleno sean mínimos.*

NOTES:

APÉNDICE D:
Método de la vara y diseño de curvas

A. DISEÑO DE CURVAS HORIZONTALES

Se describen dos procedimientos simples. El primero, el método de la estaca central, ha sido descripto en el texto del Manual. El segundo, un procedimiento de vara, se describe debajo. El método de la estaca central se limita a terrenos con poca inclinación y buena visibilidad, mientras que el último es más adecuado para sitios difíciles.

1. MÉTODO DE LA VARA

Las curvas simples pueden ser fijadas en el suelo con una vara y una cinta. Utilizando una distancia de demarcación de 25 o 50 pies, consulte la Tabla D-1 para obtener el largo de vara adecuado para el radio mostrado. La Figura D-1 muestra el proceso.

a. Ajustes necesarios de topografía y pendiente

La descripción del diseño de curvas presume que el área es plana. Pero esto no sucede en la mayoría de los casos. Por lo tanto, las mediciones del largo requieren ajustes para compensar las pendientes.

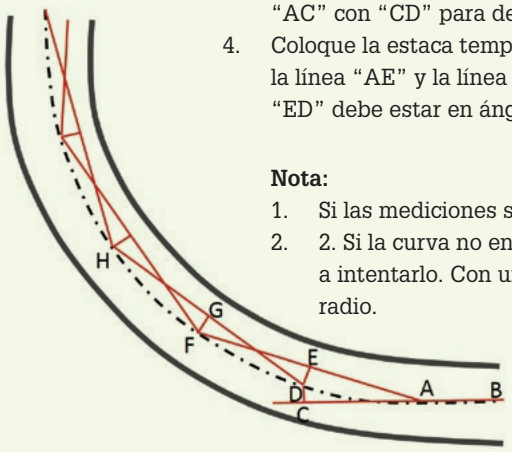
Cuando la distancia que se mide es corta, la cinta puede mantener el nivel. Para largos mayores, mida la distancia por segmentos, en cada nivel. Cuando la distancia sea mayor a la conveniente para el

TABLA D-1. Largo de vara para radio de curva según distancia de la estaca

Radio de la curva (pies)	Distancia de la estaca (pies)	
	25 pies	50 pies
50	6,71	-
60	5,5	26,8
80	4,1	17,6
100	3,2	13,4
150	2,1	8,6
200	1,6	6,4
250	1,3	5,1
300	1,1	4,2
350	0,9	3,6
400	0,8	3,1
600	0,5	2,1
800	0,4	1,6
1.000	0,3	1,3

[1]Convierta lasas décimas de pie a pulgadas multiplicando 12 x el decimal que se muestra en la tabla. Por ejemplo, 6,7 pies; 0,7 x 12 = 8,4 o 8; 6 pies 8 pulgadas.

FIGURA D-1.
Método de vara y diseño de curvas



Método de vara y diseño de curvas

1. Utilizando la Tabla D-1, seleccione una demarcación y un largo de estaca adecuados y marque su vara.
2. Coloque la estaca "A" al comienzo de la curva y extienda la línea recta "BA", la distancia de demarcación elegida a la estaca temporaria "C".
3. Utilizando la vara marcada, coloque la estaca "D" en ángulo recto a la línea "AC" con "CD" para determinar el largo de la vara. Jale de la estaca "C".
4. Coloque la estaca temporaria "E" para que tenga la misma distancia que la línea "AE" y la línea "ED" tenga la misma distancia que la línea "CD"; "ED" debe estar en ángulo recto con respecto a "AE".

Nota:

1. Si las mediciones son congruentes, se generará una leve curva.
2. 2. Si la curva no entra, acorte o alargue la distancia de la vara y vuelva a intentarlo. Con una vara más corta podrá obtener una curva de mayor radio.

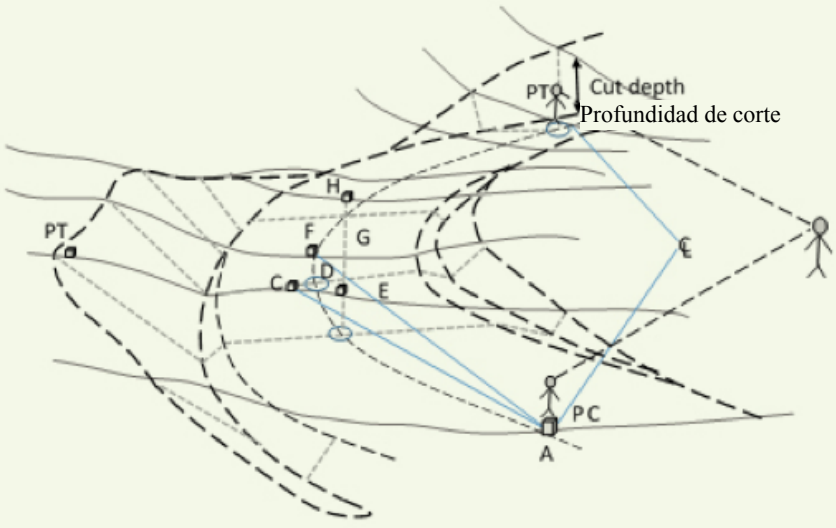
método de nivelación, ajuste el largo de pendiente medido utilizando la Tabla 13 (ver Capítulo III).

La pendiente puede realizarse alrededor de la curva mediante el trazado de una línea con la pendiente deseada para la distancia de la curva. En general, esta estará alejada de la línea central del camino debido a la topografía. Si esto sucede, trace una línea de nivel en el punto de tangencia (PT), donde termina la curva (ver Figura D-2).

b. Curvas cerradas

Cuando no se pueden alcanzar dos puntos de control a la máxima pendiente en una sola dirección, se requieren curvas cerradas. Se colocan en el punto en el cual una pendiente invierte la dirección en un talud. Encuentre la ubicación de una curva cerrada generando

FIGURA D-2.
Diseño de curva y desplazamiento de la pendiente hacia adelante.



la mayor pendiente permitida colina abajo desde el control más alto hasta un lugar adecuado para el giro.

Los buenos sitios para curvas cerradas son áreas con poca pendiente lateral en donde se puede construir el bucle con la menor excavación posible. Busque bancos de gradiente bajo o lomas planas y anchas para elegir los sitios adecuados.

Una vez que localice la curva cerrada, invierta el curso del cable y continúe colina abajo para determinar si necesita giros adicionales. Se debe mantener la máxima pendiente hasta localizar todas las curvas cerradas. Se pueden realizar algunos ajustes para garantizar que la curva llegue a los dos puntos de control.

Las curvas cerradas suelen requerir un gran movimiento de tierras. Por este motivo, se debe realizar una comparación entre los controles de cruces y el trabajo agregado para instalar una curva cerrada.

Reduzca la pendiente de los tramos rectos dentro y fuera de la curva cerrada. Esto ayudará a mantener la pendiente a lo largo de la curva. La curva en sí misma no debe tener una pendiente superior al 8 por ciento, preferentemente debe ser un porcentaje mucho menor.

No se debe realizar una excavación mayor a la necesaria de la ladera para formar el relleno en la parte inferior de la curva cerrada. Para esto, se debe compensar el centro de la curva hasta excavar aproximadamente la mitad de la curva.

Para construir una curva cerrada, haga lo siguiente:

1. Marque la intersección de las dos líneas de pendiente, estaca 1, Figura D-3.

2. Biseccione el ángulo de la intersección y coloque la estaca 2 en la línea del radio de la curva, distancia del punto de intersección (PI).

3. A lo largo de la línea que biseciona el ángulo, coloque una estaca 3 en su recorrido donde una línea en ángulo recto igual al diámetro de la curva toca las dos líneas de la pendiente. Coloque las estacas a 3'.

4. Desde el cable superior, corra una nueva línea de pendiente hacia la curva desde el pie de la estaca 3 a aproximadamente 2 por ciento menos que la pendiente del cable. Cuando esta nueva línea alcance la extensión de una línea en ángulo recto de la estaca 2, coloque una nueva estaca 4.

5. Mida la distancia del radio a lo largo del ángulo recto desde la estaca 4 y coloque una nueva estaca 5 para el centro de la curva.

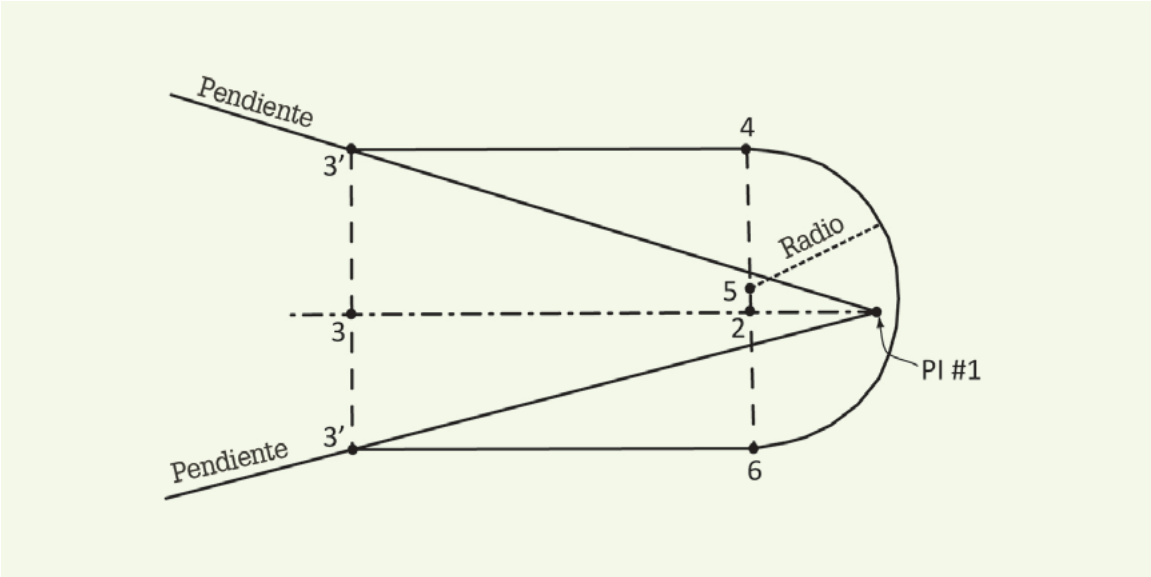


FIGURA D-3.
Cómo configurar una curva cerrada.

6. Marque una curva usando la estaca central 5 hasta alcanzar nuevamente la línea en ángulo recto extendida desde la estaca 2. Coloque una estaca 6.

7. Desde la estaca 7, trace una línea de pendiente que alcance la estaca los 3 pies a lo largo del lado inferior de la curva.

8. Nota: Las distancias medidas son horizontales (correctas para pendiente, Tabla 13 (Capítulo III). Construcción en ángulo recto, Figura D-4. Bisección de un ángulo, Figura D-5.

FIGURA D-4.
Construcción en ángulo recto

Construcción en ángulo recto

Pasos:

1. Coloque la estaca "A".
2. Coloque las estacas "B" y "C" a la misma distancia de la estaca "A".
3. Coloque la estaca "D" para que esté a la misma distancia que las estacas "BC", "CD" y "DB".
4. La línea "AD" está en ángulo recto con respecto a la línea "BC".

Alternativas:

1. Trace un triángulo con las mediciones que se muestran en pies.
2. Sostenga el hombro de los brazos en alto en forma recta. Alinee los brazos extendidos con la línea de prospección. Ahora adelante los abrazos hasta que toquen las puntas de los dedos. La línea de visión sobre las puntas de los dedos debe estar aproximadamente en ángulo recto.

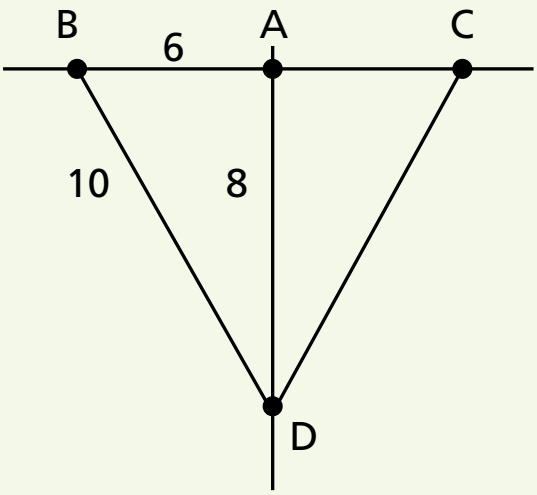
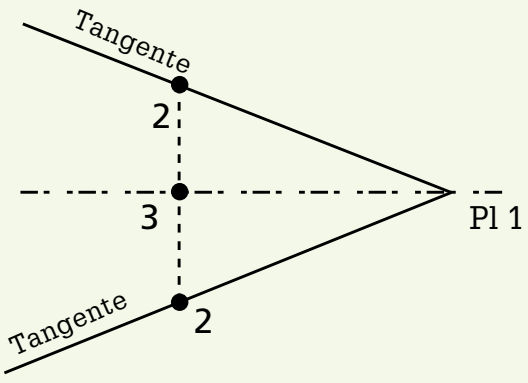


FIGURA D-5.
Bisección de un ángulo



Bisección de un ángulo

Pasos:

1. Coloque la estaca "1" en el punto de intersección.
2. Mida la misma distancia a lo largo de las tangentes y coloque la estaca "2".
3. En el medio de las dos estacas, en línea recta, coloque la estaca "3".
4. La línea entre las estacas "1" y "3" bisecciona el ángulo.

APÉNDICE E:
CÁLCULO DEL LARGO DE LAS ALCANTARILLAS

A. CÓMO DETERMINAR LOS LARGOS DE ALCANTARILLAS NECESARIOS

Se puede utilizar el siguiente procedimiento[1] simplificado para determinar los largos de las alcantarillas necesarios para instalar un nuevo cruce de arroyo o un drenaje de alivio de cuneta. Consulte el siguiente diagrama (Figura E-1) para ver las ubicaciones y distancias específicas descritas en el procedimiento paso a paso. Junto con las instrucciones paso a paso de la Tabla E-1 encontrará un ejemplo completo.

Ejemplo 1: Cómo convertir la distancia horizontal a la distancia del talud
44 pies de distancia horizontal equivalen a 52,4 pies de distancia del talud en una pendiente del 65%.

distancia horizontal	×	factor de corrección	=	distancia del talud
(44 pies)	×	(1,19)	=	52,4 pies

Ejemplo 2: Cómo calcular el largo de una alcantarilla para un camino de 14 pies de ancho que cruza un arroyo con una gradiente del 55%. La profundidad del relleno interno estimada, por encima de la entrada del cmp, será de 6 pies y la profundidad del relleno por encima de la salida será de 13 pies.

Paso 1: Profundidad estimada del relleno en la entrada de la alcantarilla (Finlet) = 6 pies
Paso 2: C = 1,5 x 6 = 9 pies
Paso 3: Si el camino tiene 14 pies de ancho, entonces ½ (14) = 7 pies
La estaca A (la ubicación de la entrada de la alcantarilla) debe colocarse en el suelo a una distancia de (9 + 7) = *16 pies horizontales pendiente* arriba del canal del arroyo desde la línea central marcada del camino. Según la Tabla E-2, 16 pies horizontalmente en una pendiente del 55% equivale a **18,2 pies** de distancia del talud (16 pies x 1,14 = 18,2 pies).
Coloque la estaca de entrada (A) a 18,2 pies pendiente arriba del canal desde la línea central del camino.
Paso 4: Profundidad estimada del relleno en la salida de la alcantarilla (F_{outlet}) = 13 pies
Paso 5: C = 1,5 x 13 = 20 pies
Paso 6: Si el camino tiene 14 pies de ancho, entonces ½ (14) = 7 pies
La estaca B (la ubicación de la salida de la alcantarilla) debe colocarse en el suelo a una distancia de (13 + 20) = 33 pies horizontales pendiente abajo del canal del arroyo desde la línea central marcada del camino. Según la Tabla E-2, 33 pies horizontalmente en una pendiente del 55% equivale a **37,6 pies** de distancia del talud (33 pies x 1,14 = 37,6 pies).
Coloque la estaca de salida (B) a 37,6 pies pendiente abajo del canal desde la línea central del camino.
Paso 7: Largo de alcantarilla necesario = 18,2 pies + 37,6 pies = 55,8 pies o aproximadamente 56 pies.

Se deben agregar aproximadamente 4 pies (2 pies en la entrada y 2 en la salida) a este largo para garantizar que la entrada y la salida de la alcantarilla tengan una extensión suficiente por encima de la base del relleno.

Largo final de la alcantarilla a ser solicitado y enviado al sitio = 56 pies + pies = 60 pies

1 Método para calcular los largos de alcantarilla necesarios descriptos en la USDA (1981).

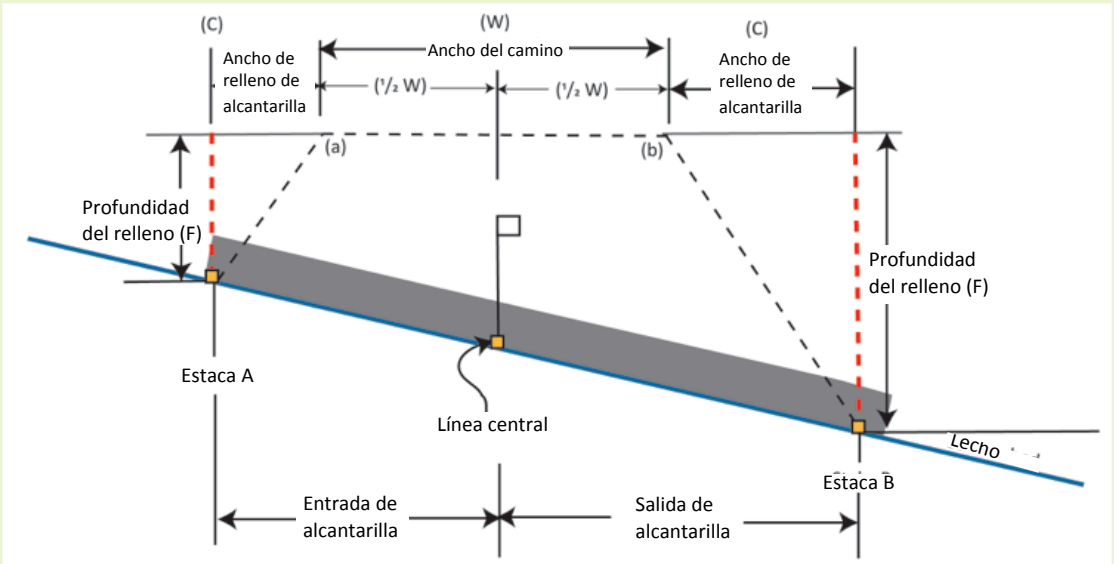


FIGURA E-1. *Cómo determinar los largos de alcantarillas*

TABLA E-1. Pasos para calcular los largos de alcantarillas

Paso	Para hacer esto…
1	Calcule la profundidad del relleno (F) en la superficie de tránsito en el interior del camino por encima de la entrada de la alcantarilla (punto "a").
2	Luego se calcula el ancho adicional (C) debido al relleno como 1½ veces la profundidad del relleno (F) (suponiendo que todos los terraplenes tienen una inclinación de 1½ : 1)
3	Agregue la mitad del ancho del camino (½ W) y el ancho del relleno (C). Mida esta distancia horizontalmente corriente arriba desde la línea central del camino y coloque la estaca en la ubicación A. La distancia horizontal debe ser convertida a la distancia de la pendiente antes de que pueda ser eliminada en el suelo. La conversión de la distancia horizontal a la distancia del talud (distancia en el suelo) es simple si se utiliza la Tabla E-2.
4	Repita los pasos 1 a 3 del área de salida de la alcantarilla del cruce y coloque la estaca en la ubicación B.
5	Mida el largo de la pendiente entre las estacas A y B. Esta medición, más 4 pies adicionales de largo (2 pies en la entrada y 2 pies en la salida más allá del borde de los terraplenes interno y externo, respectivamente), es el largo de alcantarilla necesario para la instalación.

TABLA E-2. Factores de corrección de pendiente para convertir una distancia horizontal a una distancia de talud

Laderas o gradiente del canal del arroyo (%)	Factor de corrección (multiplicador)	Laderas o gradiente del canal del arroyo (%)	Factor de corrección (multiplicador)
10	1,00[1]	45	1,10
15	1,01	50	1,12
20	1,02	55	1,14
25	1,03	60	1,17
30	1,04	65	1,19
35	1,06	70	1,22
40	1,08	75	1,25

[1]para una pendiente de 10% o menos, no se necesita factor de corrección

APÉNDICE F:
Cálculo de los volúmenes de relleno de cruces de arroyos para mejoras y clausuras

Para determinar la magnitud de un proyecto de mejora o clausura de un cruce de arroyo, es importante que pueda determinar con precisión el volumen del relleno que deberá eliminar o rellenar. Conocer el tamaño del relleno del cruce del arroyo le permitirá determinar mejor el costo total del proyecto, el tipo de equipo necesario y el tipo y tamaño de materiales necesarios para el proyecto (por ej., tamaño del enrocamiento de protección, diámetro y largos de alcantarillas, etc.). Las geometrías de los cruces de arroyos de caminos pueden ser bastante complejas, dependiendo de las condiciones del sitio; por ello, es importante que utilice un método sistemático y repetible para determinar los volúmenes de relleno de cruces de arroyos. Estos son tres métodos básicos para calcular los volúmenes de relleno de cruces de arroyos, del menos preciso al más preciso:

1. Uso de mediciones de campo del largo, ancho y profundidad promedio. (En donde, (Largo x Ancho × Profundidad)/27 = volumen (yarda^3);

2. Toma de mediciones de campo sistemáticas y uso de ecuaciones de geometría plana y cómputos de área final para calcular el volumen; y

3. Uso de estudios de campos simples y de un programa informático especializado (por ej., AutoCAD) para realizar cálculos de volumen.

Dos métodos sistemáticos que no requieren programas informáticos ni estudios de campo detallados son el método de PWA/CDFW que se describe en "Capítulo X: Inventario de erosión pendiente arriba y guía de control de sedimentos" (Weaver y otros, 2006) del libro California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual (Flosi y otros, 2006) y el método del Servicio Forestal de los Estados Unidos mencionado en "Methods for inventory and environmental risk assessment of road drainage crossings" (Flanagan y otros, 1998). El método de PWA/CDFW se basa en una serie de mediciones de campo de largos de pendiente, ángulos de pendiente y ancho del camino y del canal. Esta información se utiliza para calcular el volumen de relleno del cruce del arroyo usando una serie de cálculos de área de doble terminal. El método permite calcular los tres tipos de cruces de arroyos de caminos típicos (Figura F-1).

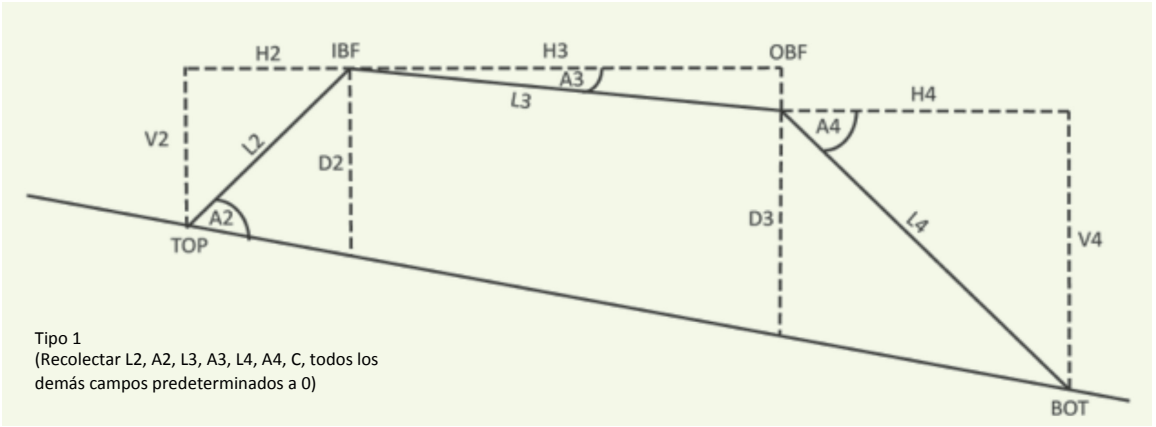
El método de la USFS para el cálculo del relleno de cruces de arroyos implica un cálculo más simple que utiliza las mediciones de campo del largo de pendiente, los ángulos de pendiente y el ancho del camino y del canal (Tabla F-2 y Figura F-2). La limitación del método de la USFS es que solamente permite realizar cálculos de un tipo o geometría de cruce de arroyo de camino. Si bien este tipo de cruce de arroyo es el más común, existen muchas otras formas de cruces de arroyos de caminos que predominan en los sistemas de caminos (Figura F-1). Esto podría resultar en una subestimación o sobrestimación del volumen de relleno del cruce de arroyo y, en consecuencia, en un cálculo poco fiable para determinar el costo total del proyecto, los tiempos de los equipos del proyecto o los tipos y tamaños de materiales necesarios.

De los dos tipos de métodos de cálculo de volumen, el método de PWA/CDFW es más preciso y confiable para el diseño de proyectos de construcción de caminos. Este método no requiere más información de campo que el método de la USFS y es más complejo computacionalmente pero permite realizar cálculos más precisos y específicos para el sitio del volumen de relleno de cruces de arroyos. **Recuerde que cuanto más precisos sean los cálculos de volumen, más precisos serán sus cálculos del costo del proyecto y los materiales necesarios.**

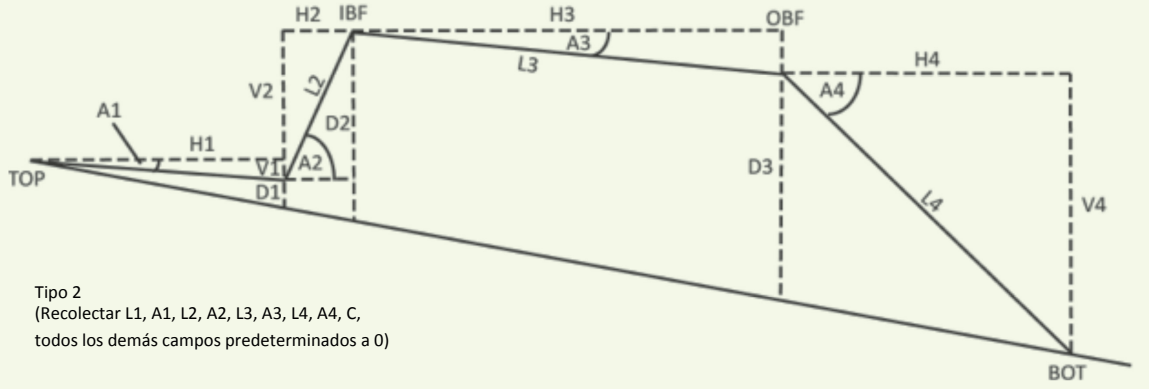
TABLA F-1. Método 1: Datos de campo recolectados del método de PWA/CDFW de cálculo del volumen del relleno de cruces de arroyos. (Weaver y otros, 2006). La información cubre tres geometrías de cruces de arroyos y cada cálculo de volumen figura al final de la tabla. En primer lugar se determina la geometría general del relleno (Tipo 1, 2 o 3); luego se recolectan los datos apropiados. Ver la Figura F-I para obtener la descripción diagramática de la ubicación de cada variable utilizada en el cálculo del volumen. Todas las distancias se indican en pies y los ángulos en grados: H=distancia horizontal; V=distancia vertical; D = profundidad; L=largo de pendiente; A=ángulo (grados)

Método 1: Cálculo de variable de cruce de arroyo de PWA/CDFW		
Horizontal componentes	H1 = L1(cosA1) = _____ pies * (cos (_____°) = _____ pies	
	H2 = L2(cosA2) = _____ pies * (cos (_____°) = _____ pies	
	H3 = L3(cosA3) = _____ pies * (cos (_____°) = _____ pies	
	H4 = L4(cosA4) = _____ pies * (cos (_____°) = _____ pies	
Vertical componentes	V1 = L1(senoA1) = _____ pies * (seno (_____°) = _____ pies	
	V2 = L2(senoA2) = _____ pies * (seno (_____°) = _____ pies	
	V3 = L1(senoA3) = _____ pies * (seno (_____°) = _____ pies	
	V4 = L1(senoA4) = _____ pies * (seno (_____°) = _____ pies	
Velocidad de caída	F = (V1 + V2 + V3 + V4)/(H1 + H2 + H3 + H4) = (_____+_____+_____+_____)/(_____+_____+_____+_____) = _____ pies	
Profundidad	D1 = V1 – (F*H1) = _____ - (_____*_____) = _____ pies	
	D2 = (V1 + V2) – (F*(H1 + H2)) = (_____ + _____) - (_____*(_____ + _____) = _____ pies	
	D3 = (V1 + V2 + V3) – (F*(H1 + H2 + H3)) = (_____ + _____ + _____) - (_____*(_____ + _____ + _____) = _____ pies	
Sección transversal Área (n=1 para una relación de pendiente 1:1; n = 2 para una relación de pendiente 2:1, etc.)	XSA1 = C * D1 + $(D1)^2$ = (_____*_____) + n * (_____)2 = _____ pies	
	XSA2 = C * D2 + $(D2)^2$ = (_____*_____) + n * (_____)2 = _____ pies	
	XSA3 = C * D3 + $(D3)^2$ = (_____*_____) + n * (_____)2 = _____ pies	
Cálculo del volumen del cruce de arroyos para cada tipo de cruce		
Cruce tipo 1	Vol TOP a IBF	T2 = 1/3 * (XSA2 * H2) = 1/3 * (_____*_____) = _____$pies^3$
	Vol IBF a OBF	T3 = 1/3 * ((XSA2+XSA3) * H3) = 1/3 * ((_____+_____)*_____) = _____$pies^3$
	Vol OBF a BOT	T4 = 1/3 * (XSA3 * H4) = 1/3 * (_____*_____) = _____$pies^3$
Cruce tipo 2	Vol TOP a IBF	T1 = 1/3 * (XSA1 * H1) = 1/3 * (_____*_____) = _____$pies^3$
	Vol IBT a IBF	T2 = 1/3 * ((XSA1+XSA2) * H2) = 1/3 * ((_____+_____)*_____) = _____$pies^3$
	Vol IBF a OBF	T3 = 1/3 * ((XSA2+XSA3) * H3) = 1/3 * ((_____+_____)*_____) = _____$pies^3$
	Vol OBF a BOT	T4 = 1/3 * (XSA3 * H4) = 1/3 * (_____*_____) = _____$pies^3$
Cruce tipo 3	Vol TOP a OBF	T3 = 1/3 * (XSA3 * H3) = 1/3 * (_____*_____) = _____$pies^3$
	Vol OBF a BOT	T4 = 1/3 * (XSA3 * H4) = 1/3 * (_____*_____) = _____$pies^3$
Cálculo de volumen total	T(t) = (T1 + T2 + T3 + T4)/27 = (_____ + _____ + _____ + _____)/27 = _____$yarda^3$	

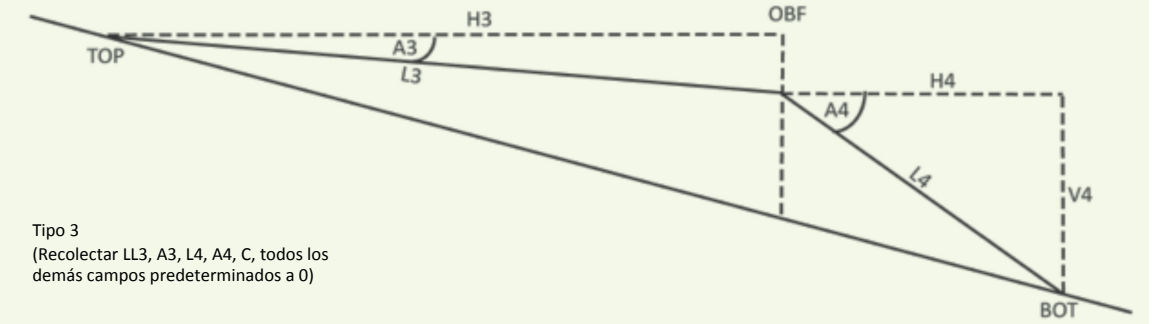
De: Weaver y otros, 2006



Tipo 1
(Recolectar L2, A2, L3, A3, L4, A4, C, todos los demás campos predeterminados a 0)



Tipo 2
(Recolectar L1, A1, L2, A2, L3, A3, L4, A4, C, todos los demás campos predeterminados a 0)



Tipo 3
(Recolectar LL3, A3, L4, A4, C, todos los demás campos predeterminados a 0)

FIGURA F-1.
Datos de campo recolectados del método de PWA/ CDFW de cálculo del volumen del relleno de cruces de arroyos (Weaver y otros, 2006).

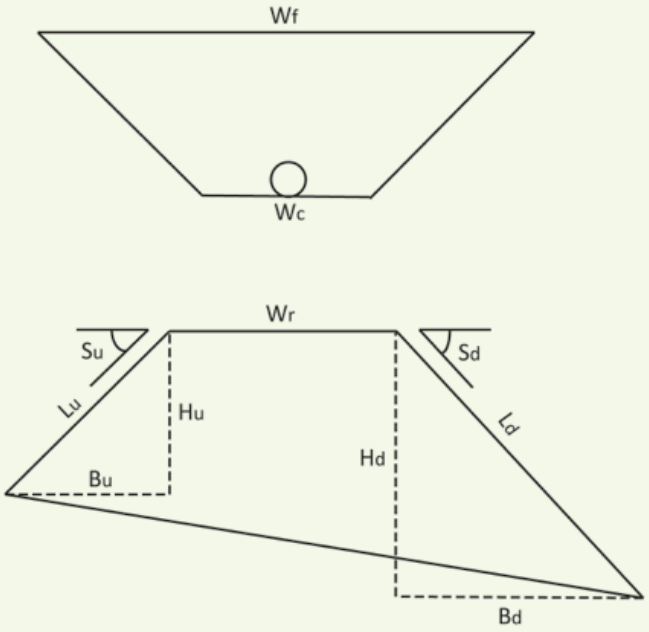
Datos de campo

Largo de cono de sedimentos (L1): _____ pies
Largo del terraplén interno (L2): _____ pies
Largo del lecho del camino (L3): _____ pies
Largo del terraplén externo (L4): _____ pies
Ancho del canal (C): _____ pies
Pendiente (en grados) del cono de sedimentos (A1): ___ °
Pendiente (en grados) del terraplén interno (A2): _____ °
Pendiente (en grados) del lecho del camino (A3): _____ °
Pendiente (en grados) del terraplén interno (A4): _____ °

TABLA F-2. Método 2: Variables de cálculo del volumen de cruces de arroyos de USFS

Volumen del prisma pendiente arriba (V_u)	$V_u = 0{,}25*(W_f + W_c)*(L_u*\cos(S_u))*(L_u*\text{seno}(S_u)) =$ $= 0{,}25*(____+____)*(____*(\cos(____))*(____*(\text{seno}(____)) = _____ \text{pies}^3$
Volumen del prisma pendiente abajo (V_d)	$V_d = 0{,}25*(W_f + W_c)*(L_u*\cos(S_d))*(L_u*\text{seno}(S_d)) =$ $= 0{,}25*(____+____)*(____*(\cos(____))*(____*(\text{seno}(____)) = _____ \text{pies}^3$
Volumen debajo de la superficie del camino (V_r)	Profundidad del relleno interno – $H_u = L_u*\text{seno}(S_u) =$ _____*seno(_____) = _____ pies Profundidad del relleno externo – $H_d = L_d*\text{seno}(S_d) =$ _____*seno(_____) = _____ pies $V_r = \left(\frac{H_u + H_d}{2}\right)\left(\frac{W_f + W_c}{2}\right)W_r\left(\frac{__+__}{2}\right)\left(\frac{__+__}{2}\right)____ = _____ \text{pies}^3$
Cálculo de volumen total	$V = V_u + V_d + V_r = (_____ + _____ + _____)/27 = _____ \text{yardas}^3$

De: Flanagan y otros, 1998



Datos de campo

Ancho del lecho del camino (W_r): _____ pies

Ancho del canal propenso a crecidas (W_c): ____ pies

Largo del terraplén desde el borde interno del camino a la entrada de la alcantarilla (L_u): ____ pies

Largo del terraplén desde el borde externo del camino a la salida de la alcantarilla (L_d): ____ pies

Pendiente (en grados) desde el borde interno del camino a la entrada de la alcantarilla (S_u): _____ °

Pendiente (en grados) desde el borde externo del camino a la salida de la alcantarilla (L_d): _____ °

FIGURA F-2. *Datos de campo requeridos para el método de la USFS para cálculos del volumen del relleno de cruces de arroyos Tipo 1 (Flanagan y otros, 1998).*

El ***Manual de caminos forestales y rurales*** ha sido creado para su utilización como recurso educativo y de enseñanza para aprender sobre problemas comunes en los caminos, su impacto sobre los arroyos y la calidad del agua y las diversas herramientas disponibles para reducir su impacto ambiental y ofrecer caminos silvestres de bajo costo y bajo mantenimiento.

Las ideas y conceptos que se presentan en este manual no son particularmente nuevas ni innovadoras, pero han sido reunidas en un solo lugar y enfocadas de manera tal que los terratenientes, administradores de tierras, operadores de equipos y otras personas puedan desarrollar y mantener caminos de bajo costo y bajo impacto. La información debe ser igualmente valiosa para terratenientes grandes o pequeños con caminos, que sean responsables de una conservación y protección segura y para cualquier persona que esté interesada en aprender sobre las relaciones entre los caminos silvestres y los entornos por los cuales pasan.

El manual puede ser utilizado como un recurso para identificar y discutir puntos específicos de diseño, construcción, mejora, mantenimiento y clausura de caminos desde una base de conocimientos común. El manual es un punto de partida, un lugar para comenzar con esas conversaciones y para ampliar los conocimientos de la gente. La información y los ejemplos contenidos en este manual pueden utilizarse en clases, durante viajes de campo, en grandes grupos de debate o para estudio individual. No hay mejor lugar para aprender sobre estos temas que el campo, en donde puede identificar y debatir los problemas y las soluciones con su propia experiencia.

PROGRAMA DE CONSERVACIÓN FORESTAL DE CALIFORNIA

El Manual de caminos forestales y rurales... es un recurso de referencia clásico que contiene toda la información que necesita saber sobre caminos.

CONSERVACIÓN FORESTAL

Los autores del Manual de caminos forestales y rurales lo hicieron de nuevo "... un recurso indispensable para toda persona que tenga caminos forestales en su propiedad... sencillo y relativamente fácil de entender... ofrece mucha información técnica para ayudar a los propietarios de tierras forestales a planificar, diseñar, construir, reconstruir, mantener y cerrar sus caminos.

CENTRO DE SENDERISMO (ÁREA DE LA BAHÍA DE SF, CALIFORNIA)

Esta guía contiene mucha información que se adapta con facilidad al mundo del senderismo. [Si bien contiene información técnica,] los autores brindan un glosario integral y diversas ilustraciones.

BUILDERS BOOKSOURCE

...cubre una gran cantidad de temas para las personas involucradas en caminos forestales o grandes caminos rurales, pero a su vez hace que muchos de esos temas sean entendibles para proyectos mucho más chicos. Consideramos que hemos encontrado un libro pequeño pero muy valioso.

JUNTA DE CONTROL DE RECURSOS ACUÍFEROS DE CALIFORNIA

Este documento es una guía y un manual de campo para toda persona que participe en operaciones en caminos forestales o rurales. Contiene muchas fotografías e ilustraciones útiles, cuadros y consejos para abordar la construcción de caminos desde la planificación hasta la construcción, el mantenimiento y la clausura.

— Reseñas del ***Manual de caminos forestales y rurales*** original

LandSmart
Productive lands. Thriving streams.

EL DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS
DEL CONDADO DE MENDOCINO

Para obtener una copia de este libro
(versión en Inglés también disponible)

707.462.3664 www.mcrcd.org info@mcrcd.org