

Figura 20
Daños en captación
de agua superficial

Adaptado de: *Prevención de desastres en acueductos rurales*. FICR, sin publicar.

1) Almacenamiento de lodos al interior de la presa. 2) Impacto directo con rocas y escombros. 3) Válvula para evacuar lodos con capacidad insuficiente. 4) Tramo inicial de la tubería de conducción. 5) Cárcavas en la base de la presa por la erosión del agua sobre el cauce.

Causas identificadas

- Los deslizamientos, avalanchas, *huaycos* y/o taludes que arrastran rocas y otros escombros hacia los ríos y cursos de agua e incrementan la cantidad de sólidos.
- Un diseño estructural inadecuado o con refuerzos insuficientes hacen que la presa sea poco resistente a las presiones y fuerzas que se generan por el impacto de rocas y escombros.
- Si los vertederos de rebose no son adecuados para el caudal excedente en épocas de máxima creciente, la presa puede resultar afectada.
- Un sistema de evacuación de lodos insuficiente que no permite un correcto desfogue de los mismos y reduce la capacidad de almacenamiento de la presa.
- La erosión del cauce (cuando esta zona no está correctamente protegida) puede llegar a comprometer la estabilidad de la presa debido al asentamiento.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Reducir la velocidad de las rocas y escombros y la fuerza del impacto sobre la estructura de la presa, con la instalación de disipadores de energía a lo largo del cauce como espigones de gaviones.
- ✓ Para evitar que la vulnerabilidad se extienda a la línea de conducción, controlar que la unidad de captación derive el agua necesaria a través de un canal lateral que evite el ingreso de sólidos (provisto de una ventana o rejilla) y cuyos extremos estén protegidos contra la erosión (muros de concreto).
- ✓ Para prevenir la erosión en la base, recubrir el cauce con emboquillado de piedra, antes y después de la presa.¹⁰
- ✓ Observar que la coronación de la presa cuente con un vertedero con capacidad suficiente para evacuar el exceso de agua en épocas de crecida.
- ✓ Vigilar que la presa cuente con un sistema de evacuación constante de lodos (tuberías instaladas en el fondo de la presa o compuertas). Además, instalar una compuerta para las labores de limpieza y mantenimiento periódico, así como también luego de la ocurrencia de un fenómeno.

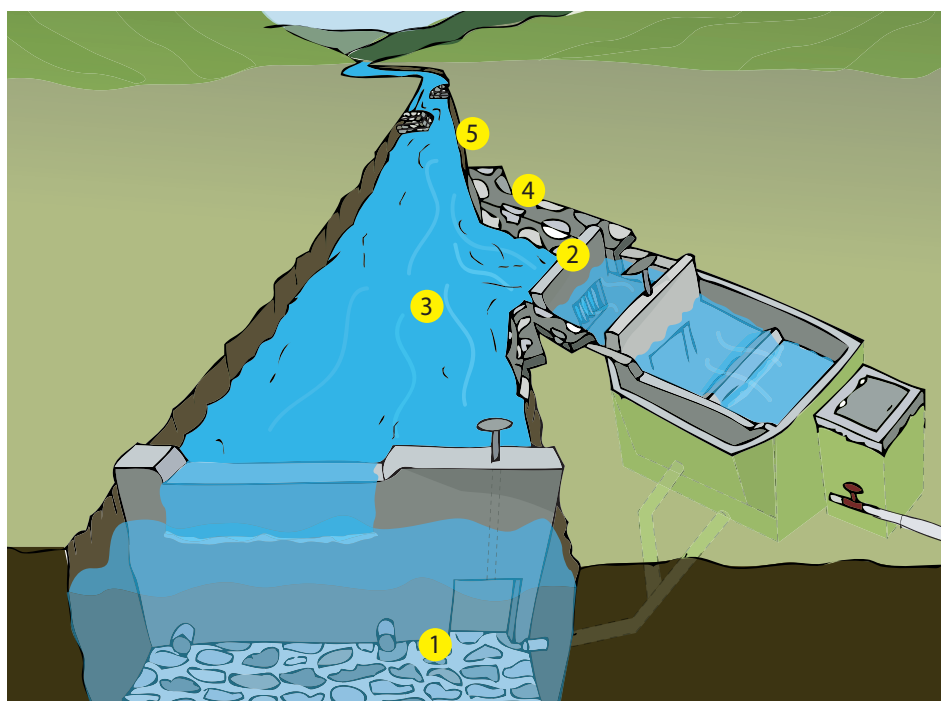


Figura 21
Propuesta para la
reducción de la vulnera-
bilidad en captaciones
superficiales

1) Compuerta para la evacuación de lodos. 2) Ventana de captación de agua hacia el sistema. 3) La obra de toma se ubica en un tramo recto del río. 4) Protección de taludes contra la erosión. 5) Los disipadores de energía también retienen escombros y evitan el impacto directo con la presa.

10 Se recomienda que el cauce sea recubierto en una longitud de 2 a 3 metros, antes y después de la ubicación de la presa.

- ✓ Vigilar que la unidad sea capaz de evacuar el exceso de agua y retornarla al río, a través del rebose.
- ✓ Realizar periódicamente el mantenimiento y la limpieza de la presa, en especial antes y después de la temporada de lluvias.

• Impacto en líneas de conducción, impulsión y/o aducción

La mayoría de sistemas incluye una gran extensión de tuberías, que forman parte de las líneas de conducción, bombeo, aducción y redes de distribución. Estas tuberías están expuestas a amenazas que derivan de la topografía, existencia de depresiones, terrenos deleznable, entre otros. Ante un desastre natural, estos componentes son, por lo general, los más afectados.

Daño en cruces elevados sobre quebradas y/o ríos

Cuando la topografía del terreno obliga a cruzar la tubería a través de ríos, quebradas secas u otra depresión en el terreno, una de las opciones es la instalación de un paso elevado.

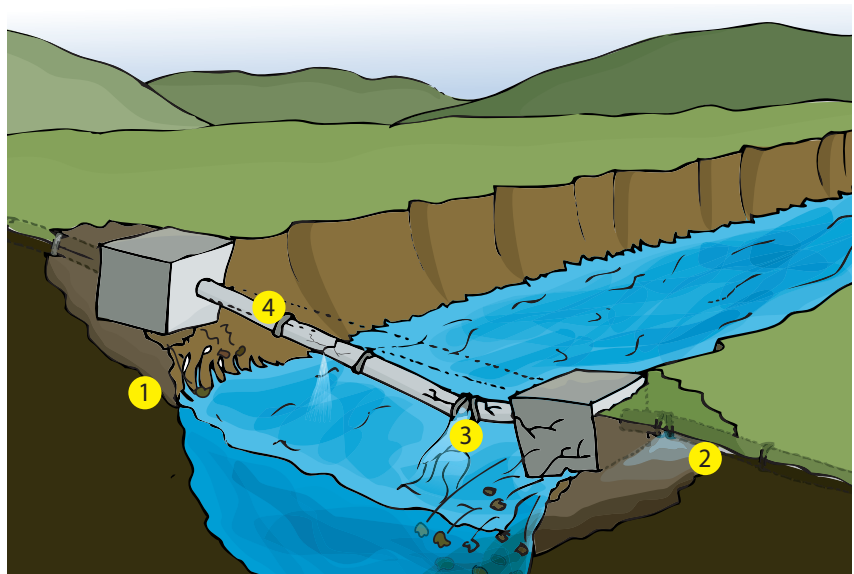


Figura 22
Daños en paso elevado sobre quebrada

Adaptado de: *Aprendiendo a conservar el agua y proteger nuestra microcuenca*, SANBASUR-IMA, 2005.

1) Erosión de taludes y socavación de los apoyos. 2) Humedecimiento alrededor de los apoyos debido a las fugas. 3) Desacople y pérdida de agua. 4) Tubería de PVC de baja resistencia al impacto.

Descripción de los daños

- Principalmente rotura de la tubería en el tramo expuesto, desacople de uniones y pérdida de agua; de manera especial en las uniones y los extremos del tramo expuesto.
- Interrupción del servicio por las fugas y la pérdida de agua.
- Erosión de los taludes por el agua que escapa por las fisuras y roturas, lo que puede producir el desplazamiento de los apoyos y agravar los daños.
- Asentamiento de los bloques de apoyo o anclajes y rotura de las tuberías por flexión.

Causas identificadas

- Las lluvias intensas, que pueden ser estacionales o por efecto de huracanes, fenómeno de El Niño, etc., aumentan el caudal de los ríos y producen el arrastre de lodos y escombros que socavan la base de los apoyos del paso aéreo. También puede ocurrir en cruces de quebradas secas debido a deslizamientos.
- El uso del PVC en pasos elevados no es recomendable. Este material se deteriora en la intemperie y puede aumentar la vulnerabilidad del sistema.
- Los escombros, como árboles y otros objetos flotantes, pueden impactar la tubería y romperla, cuando ésta no se encuentra a una altura suficiente.
- Los soportes de la tubería, que se encuentran ubicados muy cerca del borde de los taludes, pueden deslizarse junto con el terreno. En algunos casos, el peso de los bloques o anclajes es suficiente para generar el deslizamiento, especialmente en terrenos con poca resistencia.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Elevar la tubería sobre el nivel máximo del río, con una altura suficiente para evitar ser golpeada por los escombros que podría arrastrar. Para determinar este nivel se necesita coordinar con la población local, en especial cuando se carece de registros.
- ✓ Vigilar que la tubería sea de material resistente a la intemperie como hierro galvanizado, polietileno u otro similar. En esas condiciones el PVC no es recomendable pues, al estar expuesto a la luz del sol, reduce su resistencia.
- ✓ Ubicar los soportes alejados del borde de los ríos o las quebradas que cruzan. Esta distancia depende de la disponibilidad de espacio en cada caso particular y de la cohesión y resistencia del terreno.

- ✓ Observar que la longitud de la tubería que se encuentra colgada esté suspendida con cables lo suficientemente resistentes para soportar el peso. Si las longitudes son mayores, se deben utilizar estructuras especiales con cables y péndolas sujetos a bloques de anclaje.
- ✓ Proteger a los taludes de la erosión producida por el incremento del caudal y la socavación de la base de los apoyos de los tramos aéreos; para ello se pueden usar:
 - Muros de gaviones como protección de taludes o disipadores de energía a lo largo del río.
 - Trinchos u otras medidas para la reducción de la erosión en cárcavas.
 - Restablecimiento de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos.

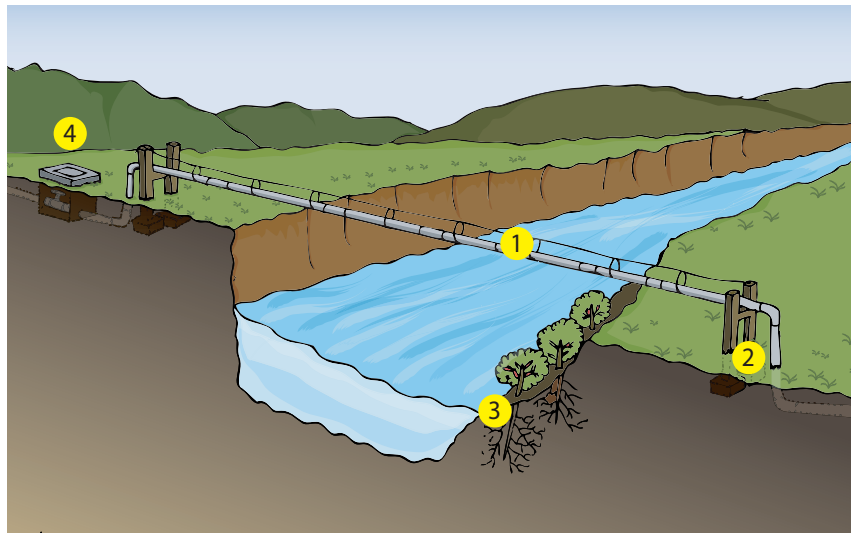


Figura 23
Propuesta para la reducción de la vulnerabilidad en cruce aéreo de quebrada

1) Nivel de la tubería, suspendida por cables, sobre el nivel máximo del río (incluidos escombros). 2) Estructuras de apoyo retiradas del borde del río. 3) Estabilización de taludes restableciendo cobertura vegetal. 4) Válvula de corte para facilitar el mantenimiento.

- ✓ Acoplar la tubería para reducir los costos de instalación, en caso de que existan otros cruces de quebrada (por ejemplo, puentes peatonales o vehiculares).
- ✓ Para facilitar el mantenimiento incluir una válvula de corte antes del paso elevado. El manejo de este tipo de válvulas se debe realizar con mucha precaución, debido a que un cierre brusco de la válvula puede producir la explosión de la tubería.

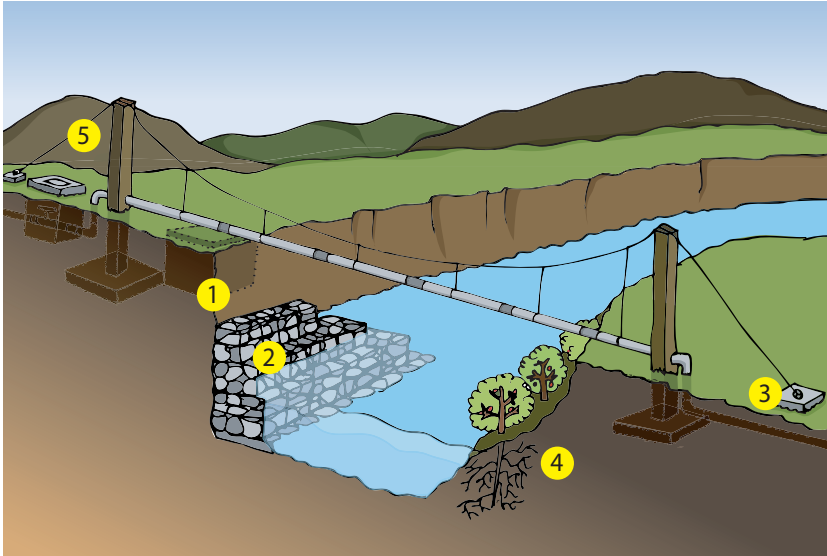


Figura 24
Reducción de la vulnerabilidad en cruce aéreo de quebrada. Propuestas adicionales

1) Ubicación vulnerable de los bloques anteriores. 2) Muros de gaviones para prevenir la erosión del talud. 3) Bloque de anclaje para los cables de sujeción. 4) Estabilización de taludes restableciendo cobertura vegetal. 5) Válvula de corte para facilitar el mantenimiento.

Daño en tuberías enterradas en quebradas y/o cárcavas

Cuando se requiere que la tubería cruce hondonadas y quebradas, es posible instalarla en el fondo del cauce, sobre todo cuando no es profundo y de poca longitud (cárcavas). También es adecuado cuando los cauces u hondonadas son muy extensos y el uso de pasos elevados no es recomendable o factible. Al estar por debajo del terreno, la vulnerabilidad del componente aumenta cuando la erosión producida por la escorrentía llega a descubrir la tubería.

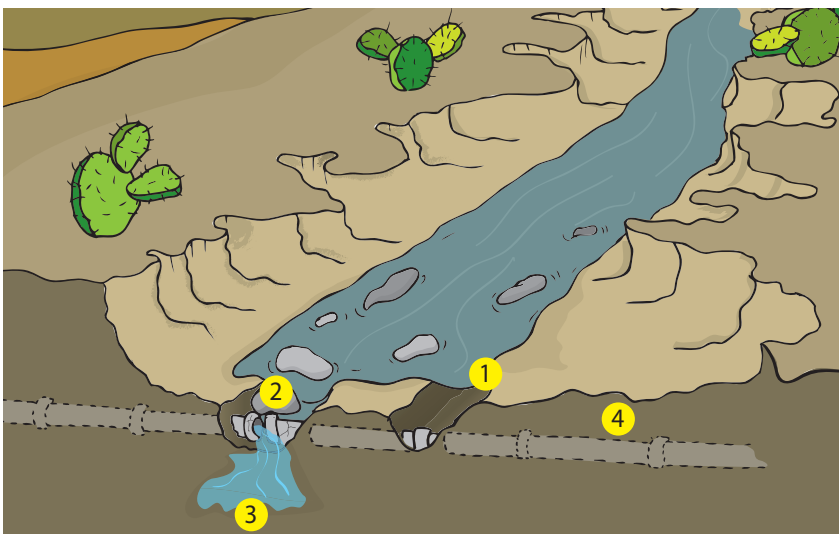


Figura 25
Daños en tuberías enterradas en el cauce de quebradas o cárcavas

1) Cárcava erosionada por la escorrentía del agua sobre la base del cauce. 2) Impacto directo de las rocas sobre la tubería. 3) Desacople y fuga de agua. 4) Poca profundidad de instalación.

Descripción de los daños

- Roturas de la tubería, desacople en las uniones y fugas del agua, que agravan el problema de erosión y la formación de cárcavas.
- Humedecimiento del terreno debido a las fugas de agua, que puede causar problemas de estabilidad del terreno.
- Ingreso de agua y lodo en la línea de conducción, que contamina y obstruye tramos posteriores de tubería.
- Suspensión del servicio debido a los daños en los componentes (líneas de conducción, aducción, bombeo).

Causas identificadas



El deslizamiento de agua y lodo producto de lluvias intensas, que pueden ser estacionales y recurrentes o por efecto de otros fenómenos como El Niño, tormentas, etc.



El escurrimiento puede generar nuevos cauces (cárcavas) o erosionar la base de las cárcavas o cauces existentes y dejar al descubierto la tubería enterrada, especialmente cuando no se tienen accesorios para el corte del flujo del agua en casos de emergencia.

La poca profundidad de la tubería enterrada facilita que la escorrentía de agua en la quebrada la deje al descubierto.

La poca resistencia del PVC (mayoritariamente usado en la instalación de tuberías en los sistemas de agua) ante el impacto de las rocas produce fracturas, desacoples, así como el arrastre de la tubería por el agua y lodo especialmente cuando existen uniones artesanales o deficientes en la tubería.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad¹¹

- ✓ Profundizar el enterramiento de la tubería de acuerdo a normas y tipo de suelo para evitar que la erosión alcance el nivel de la tubería.
- ✓ Reponer el terreno en la zanja para que se compacte correctamente y reducir el proceso de erosión.
- ✓ Proteger la tubería enterrada:
 - Recubrirla con una viga de concreto armado por debajo de la quebrada en todo su recorrido (Fig. 27).
 - Recubrir el fondo del cauce mediante emboquillado en piedra. Éste debe ser instalado 1 metro antes y 1 m después del trazo de la tubería (Fig. 26).

¹¹ Las medidas que se presentan buscan obtener una solución integral del problema, no necesariamente indican recomendaciones estrictas a seguir; se pueden utilizar las primeras como medidas de rápido impacto y complementarse con las otras en un plazo mayor.

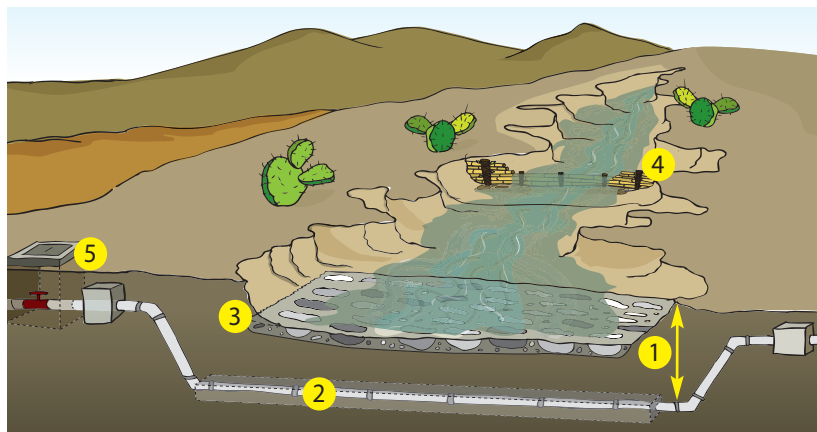


Figura 26
Reducción de la vulnerabilidad para tramos enterrados en cruce de quebradas

- 1) Tubería instalada a mayor profundidad bajo el cauce.
- 2) Protección de viga de concreto armado.
- 3) Recubrimiento del cauce con emboquillado de piedra.
- 4) Trinchos para el control de la erosión.
- 5) Válvula de corte para facilitar el mantenimiento en casos de emergencia.

- ✓ Tomar algunas medidas adicionales para reducir el problema de erosión en la quebrada.
 - Instalar trinchos de madera, muros de piedra u otros para reducir la velocidad del agua y el arrastre de rocas y sedimentos.
 - Reducir los problemas de erosión de suelos dentro de la cuenca (con medidas de reforestación y protección de taludes), controlando la formación de cárcavas producidas por la erosión.
- ✓ Limpiar el cauce es importante para reducir la vulnerabilidad del sistema, especialmente antes y después de la temporada de lluvias y tormentas.
- ✓ Para facilitar el mantenimiento incluir una válvula de corte antes del paso subfluvial. Los codos deben tener un ángulo de 135 grados, para evitar obstrucciones por sedimentos en la parte más baja del tubo, donde el mantenimiento es imposible realizar.

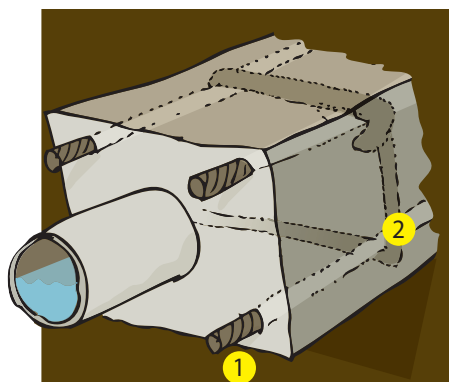


Figura 27
Detalle de protección de la tubería con viga de concreto

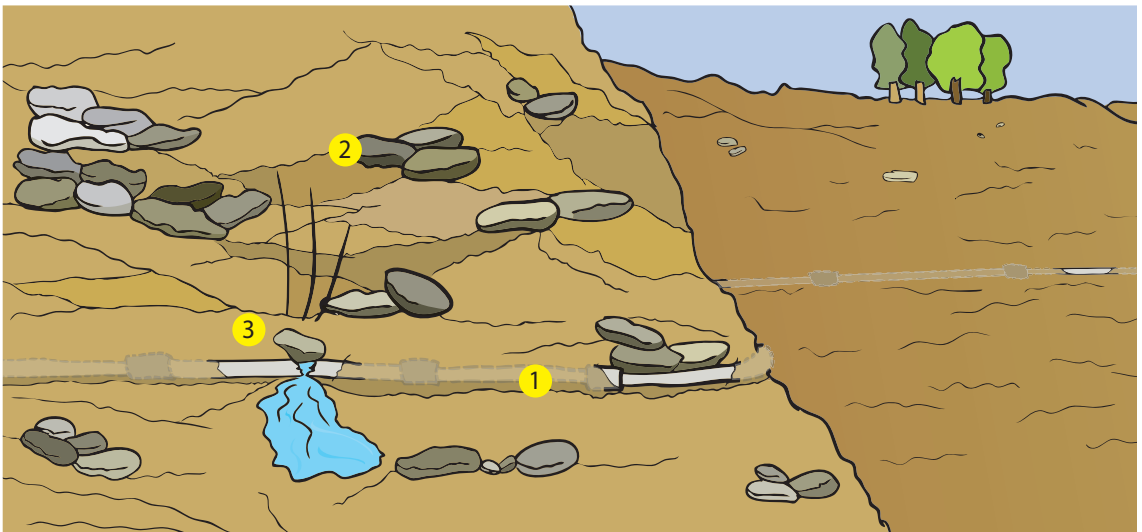
- 1) Varillas de refuerzo para el recubrimiento de concreto.
- 2) Estribos de refuerzo.

Daños en tuberías por el impacto de rocas

Sobre todo en terrenos con pendientes pronunciadas, la existencia de rocas sueltas es una amenaza recurrente sobre las líneas de conducción, aducción o bombeo. Los daños, producto del impacto de dichas rocas, pueden interrumpir el servicio de manera frecuente y causar molestias en los usuarios.

Figura 28

Daños en tuberías por aplastamiento debido a la caída de rocas



1) Poca profundidad de instalación (recubrimiento superficial o exposición de las tuberías de PVC). **2)** Presencia de rocas sueltas sobre la instalación de la tubería y riesgo de desprendimiento de las mismas. **3)** Impacto sobre el cuerpo de la tubería. Roturas y fugas.

Descripción de los daños

- Roturas, desacople de tuberías y fugas de agua por el impacto de rocas y materiales deslizantes.
- Humedecimiento del terreno, asentamientos y deslizamientos, debido a las fugas producidas por las roturas de la tubería.
- Ingreso de lodo y sedimentos al interior de las líneas de conducción, aducción o bombeo, que pueden contaminar el agua y obstruir los tramos posteriores.
- Restricción o interrupción del servicio debido a las roturas y fugas.
- Deterioro de la calidad de vida y riesgos para la salud, asociados con la reducción de la cobertura y el racionamiento.

Causas identificadas



Las tuberías de las líneas de conducción, aducción o bombeo se encuentran instaladas a poca profundidad o expuestas sobre la superficie del terreno, en algunos casos debido a las características del suelo rocoso que no permite la excavación de zanjas de profundidad adecuada para la protección de la tubería.

El PVC (de uso generalizado para la instalación de tuberías) es un material frágil frente al impacto. Cuando se expone al sol (como en las tuberías instaladas superficialmente) se vuelve mucho más frágil y aumenta la vulnerabilidad del componente.



La presencia de rocas sueltas en las laderas, sobre la ubicación de la tubería, aumenta la vulnerabilidad de los tramos que se encuentran expuestos.



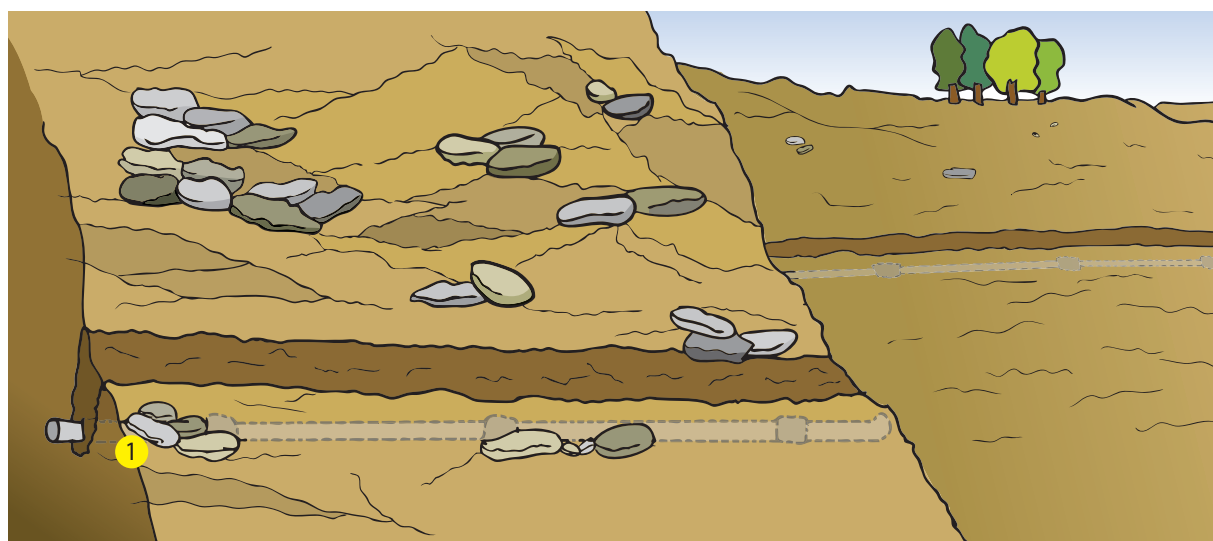
Los fenómenos naturales, como sismos o deslizamientos, hacen que las rocas se desprendan y golpeen las tuberías, aunque también muchas veces esas caídas pueden ser espontáneas debido a pequeñas vibraciones.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

- ✓ Instalar la tubería, cuando es de PVC, por lo menos a 60 cm de profundidad, teniendo que incrementarse hasta 1,00 a 1,20 m, en función de las amenazas presentes en la localidad (Fig. 29).

Figura 29

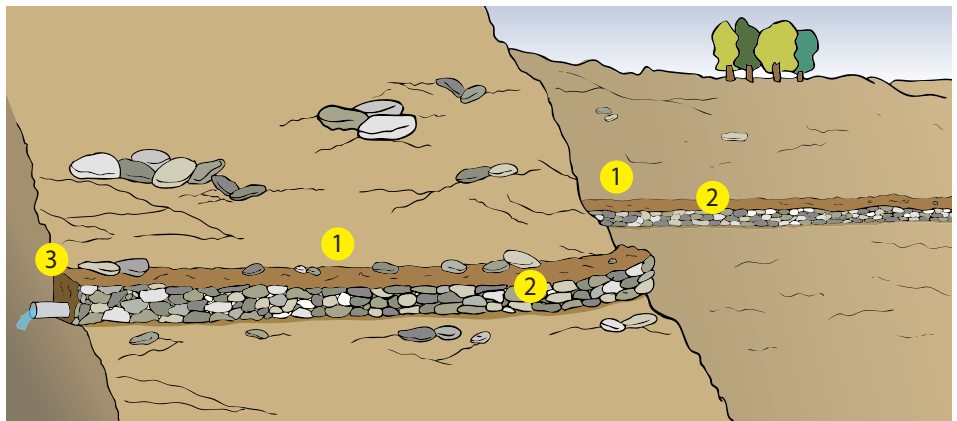
Instalación de tubería a mayor profundidad



- 1) Profundidad de instalación de tuberías de PVC para proteger de la caída de rocas.
- 2) El material de relleno de las zanjas debe ser compactado adecuadamente.

- √ Cuando no es posible profundizar la tubería (por terreno rocoso u otro impedimento) recubrirla por encima del nivel del suelo. Se requiere:
 - Modificar la geometría de la ladera, generando una plataforma plana o terraza.
 - Construir muros de piedra para sostener la tubería y el material de relleno.
 - Instalar la tubería y el material de cobertura dentro de la plataforma formada, procurando que se cumpla con el enterramiento mínimo (Fig. 30).

Figura 30
Instalación de tubería protegida



1) Terraza construida para la instalación de tubería. **2)** Muro de piedras como soporte del material de relleno. **3)** Material de relleno para la protección de tubería.

- √ Cuando no sea factible aplicar las recomendaciones anteriores, utilizar tuberías flexibles (polietileno) o aquellas resistentes al impacto (hierro dúctil, hierro fundido u otro), debidamente ancladas o sujetas al terreno; sin embargo, la resistencia de estos materiales tiene sus limitaciones cuando las amenazas son mayores.
- √ Remover las rocas sueltas en las zonas cercanas de la ubicación de las tuberías.
- √ Finalmente, si no es posible proteger la tubería, reducir el riesgo de caída de rocas, o cuando éste es muy alto, evaluar la posibilidad de modificar el trazado de la tubería por una zona de menor riesgo.

Tuberías instaladas en terrenos deleznales

Otras amenazas que pueden presentarse son los terrenos deleznales en el recorrido de las líneas de conducción; es decir, aquellos terrenos que no tienen resistencia adecuada y están propensos a deslizamientos. Cuando se encuentra instalada la tubería en estas condiciones, es vulnerable a deslizarse junto con la masa de suelo.

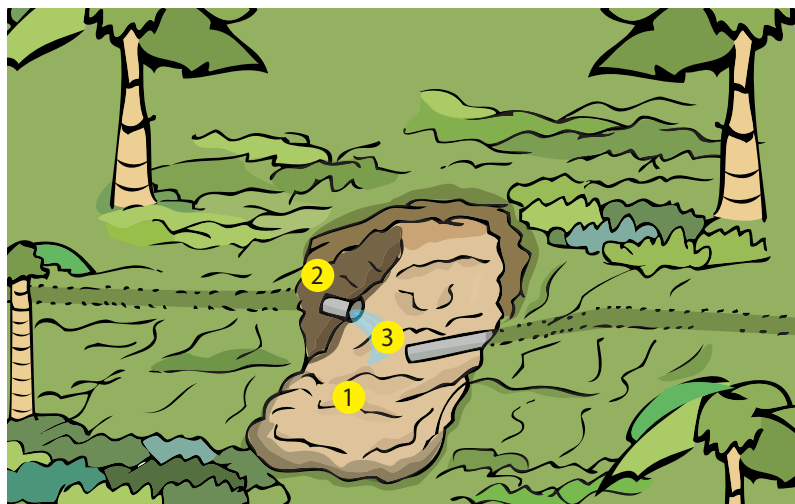


Figura 31
Daños en tubería instalada en terrenos deleznales

1) Deslizamiento de terreno deleznable o poco resistente. 2) Desacople, rotura de tuberías y fuga de agua. 3) Desplazamiento de tubería, desacople de uniones y suspensión del servicio.

Descripción de los daños

- Asentamiento y desplazamiento de la tubería por deslizamiento del terreno, lo que produce roturas y fugas debido a la flexión.
- Restricción o interrupción del servicio, debido a las roturas y fugas.
- Posibilidad de ingreso de lodo en la tubería y la obstrucción en tramos posteriores.

Causas identificadas

La baja resistencia del terreno en algunos tramos de las líneas de conducción, aducción o bombeo.



Los fenómenos como lluvias intensas que aumentan la humedad del suelo reducen su resistencia y desencadenan deslizamientos.



Otros fenómenos, como terremotos, también pueden ser desencadenantes de estos movimientos.

El humedecimiento excesivo del terreno debido al mal manejo por parte de actividades humanas (riego excesivo, mal drenaje de otras unidades, etc.).

La deforestación del terreno y un mal manejo de las microcuencas.

En el planteamiento del proyecto, el trazado incorrecto de la tubería por zonas con presencia de terrenos deleznales.

Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad¹²

- ✓ Construir un sistema de anclaje para sostener la tubería, apoyándola sobre pilotes cimentados en terreno firme. Para ello se necesita profundizar dichos pilotes por debajo de la capa de terreno deleznable.
- ✓ Construir un paso elevado que atraviese la zona vulnerable y que esté cimentado en terreno firme. Dicho paso debe tener una altura suficiente para evitar los daños producidos por el impacto de los escombros arrastrados.

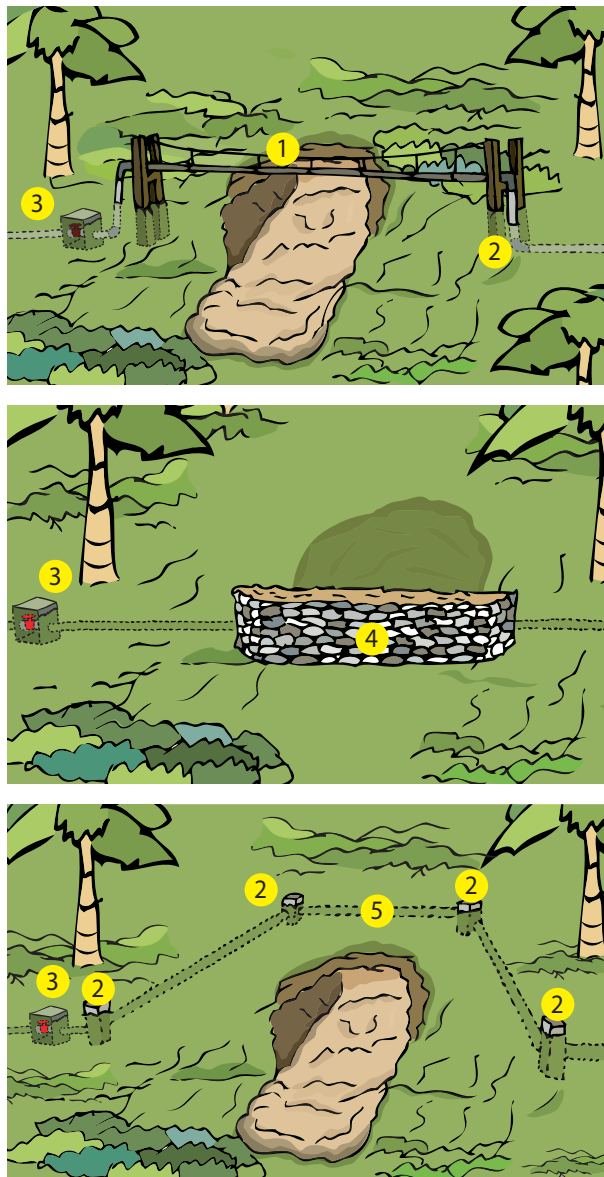


Figura 32
Propuestas para la reducción de la vulnerabilidad

1) Tubería elevada sobre el terreno deleznable. 2) Apoyos cimentados en terreno estable (no deleznable). 3) Válvula de corte para operación en condiciones de emergencia. 4) Estructuras de retención (muros de gaviones). 5) Cambio en el trazado de tubería alrededor de terreno deleznable.

12 Las que se muestran son medidas alternativas y no necesariamente constituyen una serie de pasos a seguir. Dependiendo de los recursos con los que se cuente y las condiciones en cada caso, podrían aplicarse más de una de las recomendaciones planteadas.

- ✓ Para la construcción del paso elevado tomar en cuenta las medidas mencionadas anteriormente (*Daños en cruces elevados sobre quebradas y/o ríos*, pág. 43 y 44), de manera que la vulnerabilidad no se incremente.
- ✓ Construir estructuras de retención (muros de gaviones, de concreto, trinchos) que permitan contener el suelo poco resistente o con tendencia a deslizarse.
- ✓ Observar que estas estructuras de retención incluyan sistemas de drenaje para evacuar el agua contenida en el terreno y mejorar su estabilidad.
- ✓ Si ninguno de los métodos anteriores es posible, son muy costosos, o cuando se planea reconstruir el componente afectado, evaluar la posibilidad de modificar el trazado de la tubería por una zona de menor riesgo.
- ✓ Verificar que el cambio de trazo incluya las medidas de anclaje o enterramiento de la tubería en terreno no deleznable.
- ✓ Procurar que ambos lados de la línea de conducción se encuentren reforestados a lo largo de su recorrido, pues este problema puede ocurrir en zonas aún no identificadas.

Daño en tuberías empotradas

Al ingreso y salida de los componentes del sistema (captación, reservorio, plantas de tratamiento, etc.) es necesario que las tuberías crucen los muros de las cajas de válvulas de estos componentes (en algunos casos estas juntas requieren ser impermeables). En estos puntos de cruce, que son especialmente vulnerables, pueden ocurrir daños debido a la vibración o desplazamiento de los accesorios.

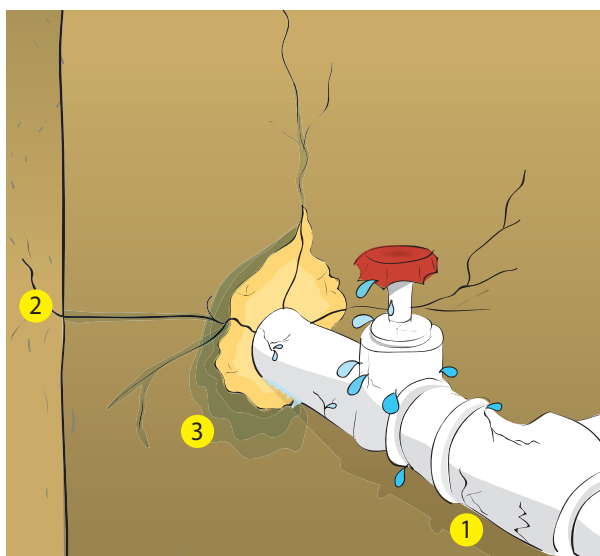


Figura 33
Daños en tuberías empotradas

1) Daños en los accesorios de la tubería debido a la vibración o asentamiento del terreno. 2) Daños en la estructura de la unidad. 3) Filtraciones en las juntas y fisuras.