

GUÍA ARPEL PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES Y DE GEOTECNIA EN LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS FRENTE A GEOAMENAZAS

Febrero 2023

PUBLICACIÓN ARPEL N° MP01-2023



MEJORES PRACTICAS

GUÍA ARPEL PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES Y DE GEOTECNIA EN LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD DE DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS FRENTE A GEOAMENAZAS

CAPÍTULO 1 "Introducción"

CAPÍTULO 2 "Glosario"

CAPÍTULO 3 "Descripción de las obras"

3.1 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL

3.1.1 Canal de coronación

3.1.2 Cortacorrientes

3.1.3 Canal colector

3.1.4 Entrega de canales

3.2 OBRAS DE DRENAJE SUB-SUPERFICIAL

3.2.1 Subdrenes interceptores

3.2.2 Trinchera drenante

3.2.3 Geodren

3.2.4 Drenes horizontales o subdrenes de penetración

3.2.5 Otras obras de subdrenaje utilizadas en la industria

3.3 OBRAS EN CRUCES DE RIOS Y QUEBRADAS

3.3.1 Obras de protección marginal

3.3.1.1 Gaviones

3.3.1.1.1 Principales usos de los gaviones

3.3.1.1.2 Rendimiento del armado de gaviones y colchonetas

3.3.1.1.3 Consideraciones constructivas

3.3.1.1.4 Principales ventajas y desventajas de las obras ejecutadas con gaviones

3.3.1.2 Colchonetas

3.3.1.3 Gaviones saco

3.3.1.4 Enrocados

3.3.1.5 Espigones

3.3.1.6 Bolsacretos

3.3.1.7 Trinchos

3.3.1.8 Tablestacas

3.3.1.9 Geotubos

3.3.2 Obras de protección de fondo

3.3.2.1 Colchonetas de protección de fondo

3.3.2.2 Enrocado de protección de fondo

3.3.2.3 Check Dams .

3.4 OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

- 3.4.1** Muros de cimentación profunda
- 3.4.2** Muro de Gaviones
- 3.4.3** Muro de contención en suelo reforzado
- 3.4.4** Terrazas estabilizadoras
- 3.4.5** Perfilado de talud
- 3.4.6** Revegetación
- 3.4.7** Geoceldas
- 3.4.8** Entibamientos

3.5 OBRAS EN LÍNEAS SUBMARINAS

- 3.5.1** Factores físicos previos a la construcción
- 3.5.2** Problemas geotécnicos y métodos de investigación
- 3.5.3** Tipos de instalación de ductos submarinos
 - 3.5.3.1** Instalación enterrada
 - 3.5.3.2** Ductos montados en superficies -lecho marino-

3.6 OBRAS ESPECIALES

- 3.6.1** Cruces aéreos -Puentes-
- 3.6.2** Cruces dirigidos
- 3.6.3** Túneles
- 3.6.4** Marcos H
- 3.6.5** Cortina de concreto con anclajes profundos

CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL DUCTO

4.1 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS Y CONDICIONES CONSTRUCTIVAS

4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

- 4.2.1** Unidades Básicas
- 4.2.2** Unidades superficiales
- 4.2.3** Fallas geológicas
- 4.2.4** Vulcanismo

4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

- 4.3.1** Unidades geomorfológicas idóneas para trazado
- 4.3.2** Unidades geomorfológicas por evitar durante el trazado

4.4 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

- 4.4.1** Flujo de agua subsuperficial
- 4.4.2** Acuíferos
- 4.4.3** Manantiales

4.5 ASPECTOS AMBIENTALES

4.6 FACILIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN

4.7 TIPOS DE CRUCES DEL DUCTO



4.7.1 Cruces Subfluviales

4.7.1.1 Caracterización de ríos y su comportamiento

4.7.1.1.1 Ríos de montaña

4.7.1.1.2 Ríos trenzados

4.7.1.1.3 Ríos de piedemonte

4.7.1.1.4 Ríos de llanura

4.7.1.1.5 Cursos artificiales

4.7.1.2 Problemas asociados a cruces de ríos

4.7.1.2.1 Corrimientos verticales

4.7.1.2.2 Corrimientos laterales

4.7.1.2.3 Cambios en el curso del río

4.7.1.2.4 Tensiones transmitidas por la corriente de agua a los ductos

4.7.1.2.5 Aspectos relacionados con el diseño de cruces de ríos

4.7.1.3 Cruce dirigido

4.7.1.4 Cruce con excavación de zanja a cielo abierto

4.7.2 Cruce aéreo de tuberías

4.7.3 Cruces con vías vehiculares y férreas

4.7.4 Cruces con otros ductos

4.7.5 Pasos por zonas pobladas

4.7.6 Seguimiento del estado de los cruces con terceros

CAPÍTULO 5 “Construcción”

5.1 ASPECTOS GENERALES DE LA CONSTRUCCIÓN

5.1.1 Frentes de obra

5.1.2 Subfrentes y cuadrillas de trabajo

5.1.3 Otros aspectos por considerar

5.2 ACTIVIDADES PRELIMINARES

5.2.1 Construcción de accesos y adecuación de los existentes

5.2.2 Instalaciones temporales

5.2.3 Localización y replanteo

5.3 ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

5.3.1 Desmonte y descapote

5.3.2 Geotecnia preliminar

5.3.3 Apertura y conformación del DDV

5.3.4 Transporte, acopio y tendido del ducto

5.3.5 Doblado, alineación y soldadura

5.3.6 Apertura de la zanja

5.3.7 Bajado y tapado del ducto

5.3.8 Limpieza final

5.3.9 Revegetación de áreas intervenidas

5.4 RECONFORMACIÓN DEL TERRENO Y OBRAS DE GEOTECNIA DEFINITIVA (PARA RESTAURACIÓN DEL DDV Y ZONAS ALEDAÑAS)

5.4.1 En línea regular

5.4.2 En cruces de vías y tramos especiales

5.4.3 En cruces subfluviales

CAPÍTULO 6 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.1 ESTRUCTURAS DE DRENAJE

6.1.1 Descripción general

6.1.2 Mantenimiento de sistemas de drenaje superficial

6.1.3 Mantenimiento de sistema de drenaje subterránea

6.1.3.1 Drenaje horizontal profundo – DHP

6.1.3.2 Barbacanas

6.1.3.3 Pozos verticales

6.1.3.4 Trincheras

6.2 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

6.2.1 Descripción general

6.2.2 Mantenimiento en el drenaje de estructuras de contención

6.2.3 Mantenimiento en muros de contención pasivos

6.2.3.1 Muros en gavión

6.2.3.2 Muros en concreto

6.2.4 Mantenimiento de pantallas o cortinas de contención activas–atirantadas

6.3 MANTENIMIENTO EN CRUCES DEL DUCTO

6.3.1 Cruces subfluviales

6.3.1.1 Mantenimiento preventivo

6.3.1.2 Mantenimiento correctivo

6.3.2 Cruces aéreos

6.4 MANTENIMIENTO EN ÁREAS CON INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA - MONITOREO

6.4.1 Instrumentos geotécnicos convencionales

6.4.2 Instrumentos automatizados

6.5 MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS ESPECIALES – LIBERACIÓN DE DUCTO

6.5.1 Generalidades para excavaciones sobre un ducto

6.5.2 Excavaciones para ubicación de ducto

6.5.3 Excavaciones para liberación de ductos

CAPÍTULO 7 ABANDONO TÉCNICO DEL DUCTO

7.1 MOTIVOS Y TIPOS DE ABANDONO TÉCNICO DE DUCTO

7.2 ASPECTOS DE ANÁLISIS PARA EL ABANDONO TÉCNICO

7.2.1 Aspectos del uso de la tierra

7.2.2 Aspectos de las subsidencias o hundimientos del suelo

7.2.3 Aspectos en cruces de agua (ríos, arroyos, canales, pantanos, lagunas, etc.)



7.2.4 Aspectos en erosión de suelos

7.2.5 Criterios de interés para el abandono técnico

CAPÍTULO 8 GEOMÁTICA APLICADA

8.1 ANTECEDENTES

8.2 GENERALIDADES SOBRE LA GEOMÁTICA

8.3 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA GEOMÁTICA

8.3.1 Sensores GNSS, GPS y LIDAR

8.3.2 Sensores remotos en aviones, drones y satélites

8.3.3 Sistemas terrestres móviles

8.3.4 Realidad virtual en entornos 3D web y realidad aumentada

8.3.5 Cámaras y dispositivos versátiles de captura de imagen

8.3.6 CAD (Computer Aided Design) BIM: (Building Information Modeling)

8.3.7 Visión robótica e inteligencia artificial

8.3.8 Dispositivos móviles de medición: radar, georadar, láser, infrarrojo

8.3.9 Aplicaciones: SIG (Sistemas de Información Geográfica), geoespaciales, de modelado 3D

8.4 APLICACIONES DE LA GEOMÁTICA

8.4.1 Aplicación de la geomática en geotecnia e ingeniería

8.4.2 Monitoreo geotécnico con aplicaciones y herramientas geomáticas

8.5 GESTIÓN DE DATA: ACCESO A DATOS ABIERTOS PARA ANÁLISIS

8.5.1 ¿Qué son los servicios web OGC (Open Geospatial Consortium)?

8.5.1.1 WMS (Web Map Service)

8.5.1.2 WMTS (Web Map Tile Service)

8.5.1.3 CSW (Catalog Service)

8.5.1.4 WFS (Web Feature Service)

8.5.1.5 OpenLS (Open Location Service)

8.5.2 Ejemplos de datos para consultas abierta

8.5.2.1 Acceso a Datos en Costa Rica

8.5.2.2 Acceso a datos en Colombia

8.5.2.3 Acceso a datos de instrumentos

8.6 GESTIÓN DE DATA: HERRAMIENTAS PARA ANÁLISIS Y CONSULTA DE DATOS

8.6.1 Uso de google earth para disponer datos y establecer escenario de consultas

8.6.2 Software SIG en el mercado mundial

8.6.2.1 ¿Qué es el software libre?

8.6.2.2.1 Ejemplos de los SIG libres más importantes disponibles

8.6.2.2.1 QGIS

8.6.2.2.2 GRASS

8.6.2.2.3 uDig

8.6.2.2.4 gvSIG

8.6.2.2.5 ArcGIS ESRI

8.6.2.2.6 Aplicaciones móviles para recolección y monitoreo de datos de campo



CAPÍTULO 9 CASOS DE ESTUDIO

- 9.1** Caso estudio: APLICACIÓN DE SOIL NAILING (SUELO ABULONADO) EN UNA ZONA DE TALUD PARALELO AL DDV. Empresa: RECOPE
- 9.2** Caso de estudio: ALIVIO DE TENSIONES INDUCIDAS POR DEFORMACIÓN LENTA DE PENDIENTE EN RELIEVE MONTAÑOSO DEL ESTADO DE RIO DE JAINEIRO. Empresa: TRANSPETRO
- 9.3** Caso de estudio: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD CON MURO DE SUELO REFORZADO CON GEOTEXTIL EN UN TALUD DE DDV DE ALTA MONTAÑA. Empresa: OCENSA
- 9.4** Caso de estudio: PROTECCIONES GEOTÉCNICAS EN CRUCE DE RÍO – PK 20.500 OLEODUCTO PUESTO HERNANDEZ – LUJAN DE CUYO. Empresa: YPF

1

Introducción



1

Introducción

En la sociedad, la industria del petróleo y gas representa un papel importante para el desarrollo de los diferentes modelos y actividades económicas. Motivo por el cual, es una industria que debe mejorar, de manera continua, sus procesos de gestión social, ambiental y técnico, así como de cumplimiento normativo y de seguridad.

Para tal motivo y considerando el enfoque de mejora continua de los procesos, el Equipo de Proyecto de Geotecnia -EPGEO-, formado en el año 2014, que hace parte de la Asociación de Empresas de Petróleo, Gas y Energía Renovable de América Latina y el Caribe -ARPEL-, viene desarrollando desde el año 2014 un proyecto relacionado con la gestión del conocimiento para la industria que comprende la elaboración de tres guías técnicas referidas a la gestión de la integridad de ductos ante la ocurrencia de geoamenazas en sistemas de transporte de hidrocarburos.

Dicho proyecto comprende la elaboración de 3 guías relacionadas con:

- i. Guía 1 de monitoreo de geoamenazas para la integridad de ductos, *ya publicada en el año 2016*,
- ii. Guía 2 de obras de mitigación geotécnica en ductos, *publicada en el año 2022*,
- iii. Guía 3 de riesgo geotécnico en ductos, *en programa de elaboración entre los años 2023 y 2024*.

Con respecto al contenido de la Guía 2, referida a obras de mitigación geotécnica en ductos, se hace especial énfasis en temas relacionados con los tipos de obras de geotecnia que son necesarias en las diferentes etapas del ciclo de vida de un activo -referido a un sistema de transportes de hidrocarburos-. Por tal motivo, se consideran los capítulos de: Introducción, Glosario, Diseño del Ducto, Construcción del Ducto, Operación y Mantenimiento, Abandono Técnico del ducto, Geomática Aplicada y algunos Casos de Estudio.

Es importante mencionar que el documento está enfocado de forma que el lector pueda conocer:

- a. La descripción de las obras más representativas en el capítulo 3,
- b. La integración de dichas obras en el ciclo de vida del activo en los capítulos 4 al 7; de modo que, en cada una de las etapas del ciclo, se puedan observar las obras más representativas para la gestión ante geoamenazas.
- c. La aplicación de los principios de geomática en la gestión de geoamenazas, destacados en el capítulo 8 y
- d. Un registro de casos de estudio de algunas de las empresas que participaron en la elaboración de la guía, en el Capítulo 9.

Para finalizar, se destaca la participación de todos los profesionales y diferentes empresas que contribuyeron con la elaboración del presente documento, dentro de las cuales se destacan: COGA (Perú), CENIT (Colombia), OCENSA (Colombia), TRANSPETRO (Brasil), RECOPE (Costa Rica), TGN (Argentina), YPF (Argentina) e YPFB (Bolivia).


2


Glosario



2 Glosario

- 1. Efecto Teschebotarioff:** se origina cuando se superponen cargas asimétricas en un terreno blando, induciéndose tensiones y desplazamientos en el interior de la masa del terreno, ocurriendo daños a cimentaciones y estructuras vecinas por el exceso de tensiones horizontales que se generan.
- 2. Derecho de Vía (DDV):** franja de terreno donde se instala el ducto. Dicha área es requerida para realizar la construcción, operación, mantenimiento e inspección de los ductos.
- 3. Sistema de Transporte por Ductos (STD):** modo de transporte de gases, líquidos, sólidos o multifásico, a través de tuberías que constituyen una red o un Sistema de Transporte por Ductos. Dependiendo del producto transportado, el ducto recibe diferentes nombres, normativas y técnicas de construcción y operación.
- 4. Obras de contención:** estructuras de ingeniería definidas para contener los empujes de la tierra que pueden afectar un sitio determinado.
- 5. Actividades de mantenimiento geotécnico:** acciones y trabajos que deben realizarse de manera periódica para poder asegurar y mantener la funcionalidad de las obras construidas con anterioridad.
- 6. Obras de mitigación:** trabajos e intervenciones para reducir el nivel de exposición de las personas y activos, en sitios que han sido afectados por algún tipo de fenómeno natural.
- 7. Normas AASHTO** (American Association of State Highway and Transportation Officials): protocolos de pruebas y directrices que se utilizan en el diseño y construcción de carreteras en los Estados Unidos, y aplicable a muchas obras de carácter geotécnico.
- 8. Normas ASTM** (American Society for Testing and Materials): marco de calidad y competitividad aplicada a la investigación, desarrollo y fabricación de productos para diferentes industrias.
- 9. Tablestacas:** tipo de contención flexible de tierras, permanente o recuperable, que puede ser de diferentes materiales, tales como: madera, acero o concreto, la cual es hincada en el terreno por vibración, golpeo o ambos.
- 10. Índice de Dificultad de Construcción (IDC):** indicador que permite calificar la dificultad de desarrollo de actividades que hacen parte de una construcción.
- 11. Equipos “sideboom” o tiendetubos:** equipo que permite cargar, mover y colocar las tuberías para realizar varias actividades dentro de la fase de construcción o mantenimiento de un ducto, tales como: en desfile de tuberías, curvado, soldadura de línea regular, bajado de tubería, empalmes y cruces especiales.
- 12. Efecto sifonaje:** inestabilidad del suelo producida cuando un flujo de agua ascendente, es decir, en sentido contrario al peso del terreno, genera una presión igual a la presión de tierras, anulando, de esta manera, la presión efectiva.
- 13. Espigón:** estructura rectilínea que se integra en un curso de agua a los efectos de generar algún tipo de cambio en la morfología de su margen.
- 14. Tunelera:** equipo para realizar túneles.
- 15. Debris Flow:** fenómenos geológicos en los que masas de tierra cargadas de agua y rocas fragmentadas corren por las laderas de las montañas, se canalizan hacia los canales de la corriente, arrastran objetos en su camino y forman depósitos espesos y fangosos en los pisos del valle.
- 16. Camabajas:** remolques o triles de baja altura para transportar equipos pesados.
- 17. Coeficiente de Manning:** coeficiente de rugosidad que determina la resistencia de un flujo en un canal.
- 18. Entibamiento:** tipo de estructura de contención provisional, empleada habitualmente en la construcción e ingeniería civil. Se crea mediante tablonos de madera o elementos metálicos y placas.

- 
19. **Geosintético:** materiales principalmente fabricados con productos derivados del petróleo, originalmente usados en aplicaciones de ingeniería geotécnica, utilizados para mejorar, cambiar o mantener las características del suelo con el que interactúan.
 20. **Abandono del ducto:** dejar de operar un ducto de manera permanente, con o sin retiro de la línea/tubería.
 21. **Efluente piggeado:** efluente generado luego del paso del scrapper de limpieza.
 22. **Tapping:** tipo de corte.
 23. **Manifolds:** sistema para controlar flujos y presiones.
 24. **Tie-in:** punto de intersección entre una línea nueva y una línea existente.
 25. **Fotogrametría:** técnica para obtener mapas y planos de grandes extensiones de terreno por medio de la fotografía aérea.
 26. **Cartografía:** ciencia que se encarga del trazado y el estudio de mapas geográficos.
 27. **Topografía:** técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno.
 28. **Sistema de Información Geográfico (SIG):** marco de trabajo para recolectar, gestionar y analizar datos de todo tipo de origen, tales como: técnicos, sociales, ambientales, políticos, etc.
 29. **Normas ISO:** normativa establecida por el Organismo Internacional de Estandarización (ISO). Se componen de estándares y guías relacionados con sistemas y herramientas específicas de gestión aplicables en cualquier tipo de organización e industria.
 30. **Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS):** constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire.
 31. **Thalweg o vaguada:** eje de máxima profundidad de un río.
 32. **Excavación:** cualquier corte, cavidad, zanja, trinchera o depresión hecha por el hombre en la superficie del suelo mediante la remoción de la tierra.
 33. **Crucetas:** miembros horizontales de un sistema de apuntalamiento instalado perpendicularmente a los lados de la excavación, en donde sus extremos se conducen a través de los revestimientos y puntales.
 34. **Puntales:** miembros verticales de un sistema de apuntalamiento de una zanja en contacto con la tierra. Son usualmente posicionados de forma que uno no entra en contacto con el otro.
 35. **Revegetación:** recuperación de vegetación con especies herbáceas.
 36. **Sistema de protección:** método para proteger a los ejecutantes de la tarea de los derrumbes (inclinación, puntales, planchas protectoras o niveles escalonados) producidos por el material que pueda caer o rodar desde la superficie frontal de la excavación o dentro de la excavación o a consecuencia del desplome de las estructuras adyacentes.
 37. **A/AR:** aguas arriba.
 38. **A/AB:** aguas abajo.
 39. **Distancia real:** distancia medida durante la excavación.
 40. **END:** Ensayo No Destructivo.
 41. **Corrosión generalizada:** corrosión generalizada o uniforme, es un tipo de ataque que se produce en la totalidad de la superficie del material dañado, debido a que las áreas anódicas y catódicas se encuentran uniformemente distribuidas sobre la superficie.
 42. **Corrosión localizada:** tipo de ataque que se produce cuando existen zonas puntuales sobre la superficie de la pieza atacada en donde la densidad de corriente anódica es mucho mayor que la catódica.
 43. **Corrosión por picado:** forma de ataque localizado, caracterizado por la presencia de orificios con una alta relación de profundidad versus diámetro, lo que dificulta generalmente su medición e identificación.
 44. **Stress Corrosion Cracking / SCC:** tipo de ataque que involucra la interacción entre el metal, su ambiente y la tensión mecánica a la que es sometido.

- 
- 45. Corrosión microbiológica / MIC (Microbiologically Influenced Corrosion):** ataque corrosivo localizado influenciado por la presencia de colonias de bacterias.
 - 46. SRB:** Bacteria Sulfato Reductora.
 - 47. Electrodo Estándar de Hidrógeno / SHE:** electrodo de referencia que establece el cero en la escala estándar electroquímica. El potencial del Electrodo de Cobre/Sulfato de Cobre es +0.318 V versus el SHE.
 - 48. Intervención de oleoducto:** actividad sobre el ducto, tal como: detección, excavación, arenado, estudio, ensayo, reparación, revestimiento, tapado del caño, entre otros.
 - 49. WRef:** nombre que se le da a la soldadura circunferencial del caño a intervenir.
 - 50. Pasta o pasta de cemento:** mezcla cementicia similar a la utilizada para la elaboración de hormigón armado, pero sin el agregado grueso.
 - 51. DHPs:** Dren Horizontal Profundo.
 - 52. Finas concreciones:** película delgada de microorganismos que bloquean los elementos filtrantes.
 - 53. Barbacanas:** tipo de dren horizontal.
 - 54. Evento de sollicitación:** carga aplicada a la estructura, por ejemplo, la carga del agua dada por una lluvia de baja recurrencia.
 - 55. Tela (en gaviones):** malla metálica que conforma la caja gavión.
 - 56. Inclinómetro:** elemento para medir la inclinación del plano con respecto de la horizontal (superficie terrestre).
 - 57. Bach de producto:** bloque de un determinado producto que es conducido dentro de un ducto.

3

Descripción de las obras



3

Descripción de las obras

El presente capítulo comprende la descripción de obras geotécnicas relacionadas al transporte de hidrocarburos por ductos, haciendo énfasis en: obras de drenaje superficial y subsuperficial; obras en cruces de ríos y quebradas; obras de estabilización, y obras en líneas submarinas.

Con relación a las características generales de cada uno de los tipos de obras mencionados, se puede referenciar que:

- a. El drenaje es la técnica que tiene como objetivo eliminar el exceso de agua que se puede acumular tanto en la superficie como en el interior del suelo, ya sea por las condiciones topográficas del terreno o por las propiedades mecánicas de los suelos. Los diseños definidos para el control del drenaje deben considerar las fases de recepción, canalización y evacuación de las aguas superficiales y subsuperficiales que pueden afectar directamente las características funcionales de un DDV.
- b. Los métodos de estabilización de deslizamientos, que contemplan tanto el control del agua superficial como subsuperficial, son muy efectivos y son generalmente más económicos que la construcción de obras de contención; ya que tienden a disminuir la presión de poros, que es considerada como uno de los principales efectos desestabilizantes de las laderas y taludes, lo que permite aumentar el factor de seguridad de la estabilidad de los terrenos.
- c. Los diferentes tipos de intervención en cruces subfluviales deben considerar aspectos relacionados con la: geología de la zona; estimación de divagación y socavación en el cruce del río; instalación de las obras en niveles de cimentación acordes a las socavaciones estimadas de márgenes como de fondo, y una adecuada planificación de instalación y monitoreo.
- d. Con relación a las obras en líneas submarinas, deben considerarse temas principalmente de: flotación; estimación de riesgo geotécnico del lecho de mar (deslizamientos, oleajes, otros); efecto térmico y tipo de instalación (enterrado o sobre lecho); entre otros.

3.1 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL

El objetivo principal de los sistemas de drenaje superficial es controlar los efectos y procesos de erosión del DDV de los ductos que conducen hidrocarburos, además de los taludes que lo conforman, mitigando los efectos de la infiltración de agua de lluvia y evitando la erosión de los suelos, buscando mantener inalterable su estabilidad, aún después de un evento meteorológico. El sistema de drenaje de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje del área de interés, y entregar las aguas en un sitio estable que garantice la estabilidad geotécnica del DDV y la integridad mecánica de los ductos.

En zonas de deslizamiento, el agua de escorrentía debe desviarse antes de que penetre el área afectada, evitando el desprendimiento y arrastre de capas de suelo superficial, o que se infiltre en dirección al talud a proteger. El agua de lluvia que cae directamente sobre el cuerpo del talud debe contar con un sistema de drenaje o impermeabilizarse para evitar que las gotas de lluvia impacten directamente sobre el suelo.

Las obras de drenaje superficial comúnmente utilizadas en instalaciones de DDV de sistemas de recolección, reinyección y transporte por ductos son las siguientes:

- a. Canal de coronación: interceptoras de la escorrentía en la parte alta o corona del talud.
- b. Cortacorrientes: zanjas perpendiculares a la línea de máxima pendiente sobre la pista del DDV para desviar las aguas de escorrentía.
- c. Canal colector: elementos de drenaje para la evacuación de aguas superficiales.

- d. Entrega de canales: estructuras que recogen las aguas de los canales, diques y cortacorrientes y las conducen fuera de las instalaciones del DDV. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- e. Trinchos en madera: diques sobre el cuerpo del talud para desviar lateralmente las aguas de escorrentía o para reducir su velocidad y su capacidad de arrastre.
- f. Recubrimiento con plásticos o geomembranas: impermeabilización de taludes con el objetivo de evitar cambios importantes de humedad en el suelo y proteger contra el impacto de las gotas de lluvia.

3.1.1 Canal de coronación

Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente el agua de lluvia proveniente de la parte alta de la ladera, fuera del cuerpo del talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento o en una nueva superficie de falla (movimiento retrogresivo), o que promueva inestabilidades en la corona del talud como escarpes, asentamientos, etc.

Se recomienda que las zanjas de la corona sean totalmente impermeabilizadas (revestidas). Asimismo, se debe prever una pendiente suficiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. Sin embargo, a pesar de lograrse inicialmente una impermeabilización, con el tiempo se producen movimientos en el suelo que no son absorbidos por los elementos rígidos, los cuales causan grietas en el revestimiento originando infiltraciones en el suelo.

Para un mayor tiempo de duración de las zanjas de corona, los mantenimientos periódicos se establecerán en función de las condiciones identificadas en el elemento, que es complementado con las características del suelo y el análisis de la distribución temporal de las precipitaciones del área de interés.

Las dimensiones y la ubicación de la zanja pueden variar de acuerdo con la topografía de la zona y el cálculo previo de los caudales colectados. En la siguiente figura se presenta un esquema típico de un canal de coronación.

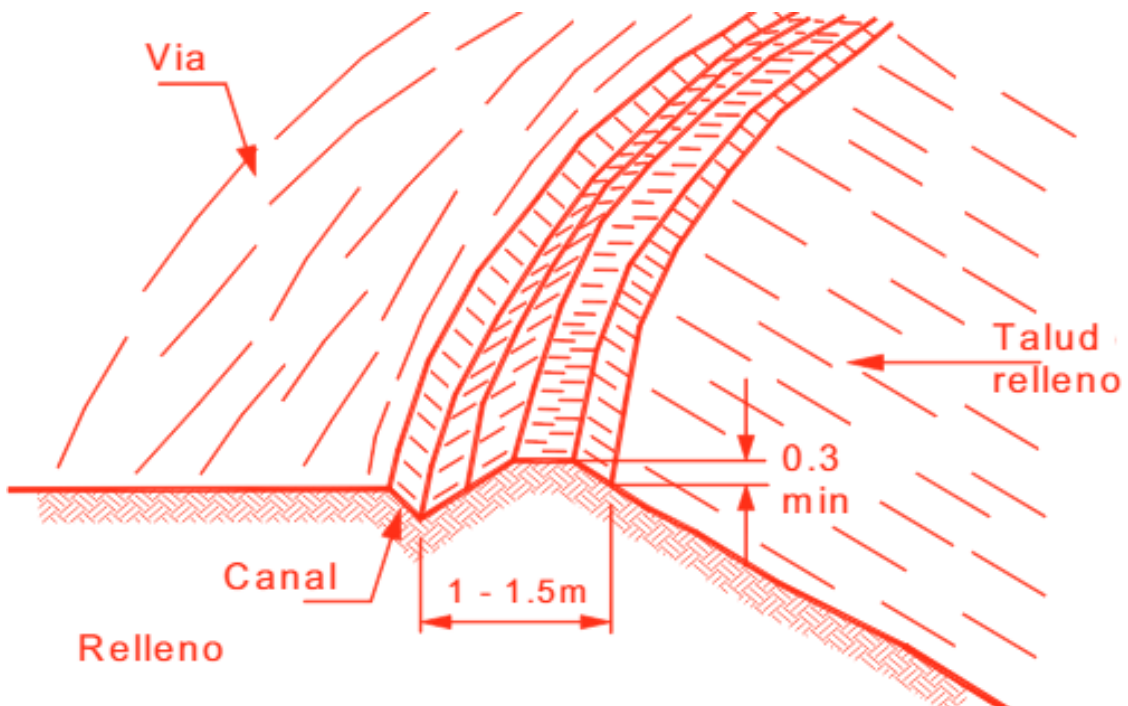


Figura 3.1: Canal de coronación en talud

Fuente: docplayer.es

3.1.2 Cortacorrientes

Los cortacorrientes son obras de drenaje aplicados al manejo de aguas superficiales, que se construyen de forma perpendicular a la línea de máxima pendiente del DDV, con el fin de captar y evacuar fuera de éste el agua de escorrentía, y evitar que realice recorridos extensos donde la superficie del terreno se encuentre desprotegida.

En la búsqueda de las mejores prácticas en la utilización de cortacorrientes aplicados a estructuras de DDV de ductos, se distinguen tres tipos de cortacorrientes. La separación entre cortacorrientes se define en función de la pendiente del terreno, el tipo de suelo y las características de la precipitación, de acuerdo con los criterios presentados en la Figura 3.2 (figura referencial). Por otro lado, se recomienda la construcción de los distintos tipos de cortacorrientes con una pendiente longitudinal de 3% a 5%. Asimismo, se debe proteger el fondo con materiales resistentes a la erosión y debe revegetarse la cresta y la cara exterior en toda su longitud¹.

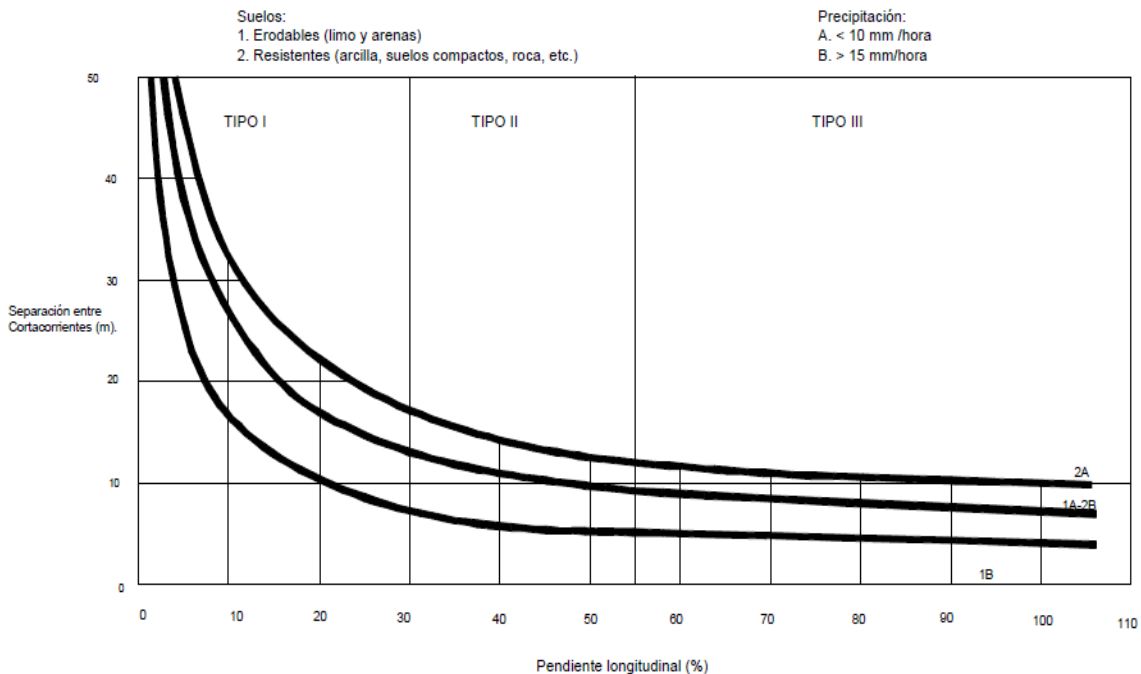


Figura 3.2: Referencia gráfica de pendiente longitudinal vs. separación entre cortacorrientes

Fuente: Normas NIO1997.

No obstante, dependiendo de las condiciones topográficas, esta separación puede ser inferior; inclusive en algunos casos puede ser mejor manejar pendientes longitudinales del 0% en tramos donde no es conveniente construir entregas y el DDV se constituye en un gran canal abierto (los cortacorrientes se constituyen en disipadores de energía).

Se debe aclarar también que cada zona de trabajos debe tener un análisis de lluvias, considerando y generando las curvas i, d y f que, asociadas con las propiedades de los suelos propios del sector de estudio, generan las curvas de separación de las estructuras de manejo de agua superficial.

¹La implementación de obras de drenaje de tipo cortacorrientes es aplicada también para zonas sin protección en superficie (vegetadas, acorazadas, etc.). Para estos casos, los criterios de separación entre elementos de drenaje serán de acuerdo con las especificaciones técnicas definidas para cada proyecto.

3.1.3 Canal colector

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas cercanas al DDV como los taludes naturales, los depósitos de material de corte, entre otros, se construyen canales colectores según la topografía del terreno, los cuales conducen el agua colectada afuera de las áreas vulnerables del talud, entregándola generalmente a las estructuras de evacuación con elementos de disipación, ubicados comúnmente en los flancos de la zona de drenaje. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la infiltración del agua.

Como ejemplo, en los taludes de gran altura y en los suelos susceptibles a la erosión, se recomienda construir canales transversales en el cuerpo del talud, así como canales de evacuación en todas las bermas intermedias de un talud.

Estos canales deben revestirse apropiadamente y las aguas deben conducirse a torrenteras de disipación de energía. Generalmente, los canales de los taludes se construyen en tamaños y configuraciones estándar. El ingeniero debe comprobar que el tamaño estándar es suficiente para cada caso en particular y si fuera necesario, diseñar canales de mayor capacidad de acuerdo con el comportamiento hidrológico de la zona.

Los canales que se construyen con pendientes muy bajas se ven afectados al sedimentarse, se desbordan ocasionando cárcavas de erosión localizadas. Los canales en la mitad del talud deben tener una pendiente que impida la sedimentación de materiales; se recomienda que la pendiente sea superior al 2%. Las bermas junto a los canales deberían (en la medida de lo posible), ser lo suficientemente anchas para que exista un sobre-ancho de protección para los canales de evacuación.

La AASHTO² (1999) recomienda tener en cuenta los siguientes criterios para el diseño y construcción de canales interceptores en taludes variables:

- La sección del canal debe tener una capacidad mínima para conducir la esorrentía esperada de una tormenta con un período de retorno de diez años, con un borde libre de al menos 100 milímetros.
- En las zonas de alto riesgo se recomienda trabajar con un período mínimo de retorno de 100 años.
- El canal puede tener forma parabólica, trapezoidal o en V.
- Los taludes laterales no deben tener pendientes mayores de 2H: 1V.
- El ancho mínimo es de 1,2 metros.
- Todo canal debe ser recubierto o revegetalizado.
- Deben eliminarse todas las irregularidades para garantizar un canal uniforme. Si se requieren rellenos, éstos deben ser compactados adecuadamente.



Figura 3.3: Ejemplo de canal colector

Fuente: cuedelcivil.com

²Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. (<https://www.transportation.org/>)

3.1.4 Entrega de canales

Se trata de estructuras que recogen el agua del sistema de drenaje superficial, tales como: canales, diques y cortacorrientes, y la conducen fuera de las instalaciones del DDV. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua. Se recomienda que todas las entregas de canales en suelos susceptibles a la erosión estén protegidas de acuerdo con los siguientes criterios:

- En toda entrega deben construirse estructuras de transición para absorber el impacto inicial del flujo y reducir la velocidad a un nivel que no erosione las áreas receptoras del flujo. Para velocidades bajas se recomienda construir un colchón protector utilizando una colchoneta revestida con geotextil y rellena de sacos con suelo cemento de proporción entre 1:3 y 1:5. Estos colchones se construyen a una pendiente cero y con una longitud relacionada con el caudal y el nivel de agua.
- En todos los casos se debe limitar la velocidad de acuerdo con el tipo de suelo y diseño de protección.

3.2 OBRAS DE DRENAJE SUB-SUPERFICIAL

El drenaje subterráneo o subdrenaje es uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos o inestabilidades incipientes. El drenaje sub-superficial tiene por objetivo disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten. A menor presión de poros la resistencia al corte del suelo es mayor.

La cantidad de agua recolectada por un sistema de subdrenaje depende de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos. Cuando se instala un dren, generalmente el nivel piezométrico disminuye al igual que el gradiente hidráulico, disminuyendo el caudal inicial recolectado por los drenes.

La disminución de los caudales no es necesariamente un indicativo del deterioro del drenaje. En los suelos arcillosos no se deben esperar caudales importantes de agua, pero, aun así, es posible que el sistema de drenaje sea efectivo. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje.

El monitoreo es una parte esencial del programa de drenaje. La instalación de piezómetros y la medición de caudales en los subdrenes es una buena práctica para evaluar y/o actualizar con el tiempo los sistemas de drenaje construidos.

Las obras de drenaje subsuperficial comúnmente utilizadas en instalaciones de DDV de sistemas de recolección, reinyección y transporte por ductos son las siguientes:

- a. Subdrenes interceptores o filtros
- b. Trinchera drenante
- c. Geodrén
- d. Drenes horizontales o subdrenes de penetración
- e. Otras obras de subdrenaje utilizadas en la industria

3.2.1 Subdrenes interceptores

Los drenes interceptores o filtros son elementos de subdrenaje que se colocan en sentido transversal al talud, por lo general, en la parte superior de éste o en la corona de un deslizamiento. El objetivo de los elementos de subdrenaje es interceptar el agua del subsuelo antes de llegar al cuerpo del talud y evitar que se convierta en un activador de inestabilidades. Constructivamente, estos subdrenes deben profundizarse por debajo de la superficie de falla para conseguir un mayor efecto en la estabilización del talud.

Los subdrenes interceptores se construyen en la parte superior de los deslizamientos, precisamente donde las fuerzas actuantes son mayores, considerando el riesgo de desestabilización de la zanja por efectos de la excavación para la profundidad del subdren. También se colocan en el fondo de los terraplenes para garantizar la estabilidad de la estructura. Por lo anterior, es necesario considerar la necesidad de estabilizar la zanja con entibados durante el proceso constructivo.

En la siguiente figura se presenta un ejemplo de drenaje subsuperficial.

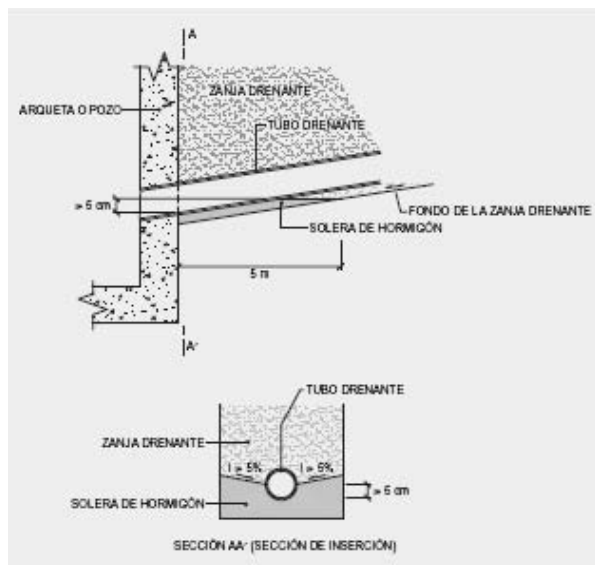


Figura 3.4: Ejemplo de obra de drenaje subsuperficial

Fuente: wikivia.org

3.2.2 Trinchera drenante

Consiste en zanjas rellenas de material drenante, adecuadamente compactado. En el fondo se disponen tubos drenantes, perforados, de material poroso o con juntas abiertas que, tras un relleno seleccionado, permiten la infiltración de aguas superficiales y el abatimiento de las aguas sub-superficiales. A veces se omiten los tubos de drenaje, en cuyo caso la parte inferior de la zanja queda completamente rellena de material drenante, constituyendo un dren francés.

En estos drenes, el material que ocupa el cuerpo de la zanja es de piedra gruesa con un alto porcentaje de vacíos. Cuando exista peligro de migración del suelo de las paredes de la zanja hacia el interior de la misma, se deberá disponer de un geosintético tipo geotextil no tejido, protegiendo el material drenante. Su ejecución incluye normalmente los siguientes procedimientos: i) excavación, ii) conformación del lecho de asiento de la tubería, iii) disposición del geosintético, iv) colocación de la tubería, v) colocación y compactación del material drenante, e vi) impermeabilización de la parte superior de la zanja (opcional).

3.2.3 Geodren

El geodren es un sistema integral de captación, conducción y evacuación de fluidos que está compuesto por un geodren planar y una tubería corrugada de drenaje. Este sistema es resistente a los ambientes agresivos en el contacto con los suelos.

Son muy útiles cuando se dificulta la obtención de materiales naturales para los subdrenes, por lo que se considera como alternativa el uso de los subdrenes sintéticos, con un medio drenante de tipo HDPE y un medio filtrante en geotextil no tejido. Sin embargo, por sus características de diseño, deben verificarse primero la permeabilidad y el gradiente hidráulico, con el fin de que pueda cumplir la función para la cual se diseñó.

Estos subdrenes consisten en tres elementos básicos:

- Geomalla:** es una red sintética de alta resistencia a la compresión, que mantiene constante su espesor bajo altas solicitaciones de carga. Es construida de forma que se generan canales que facilitan el flujo del agua. La geomalla se envuelve en geotextil.
- Geotextil:** está conformado por fibras que permiten el paso eficiente del agua, conservando su geometría y tamaño de abertura de poros bajo las más exigentes condiciones de tensión y/o confinamiento. Actúa como un filtro que impide el paso de las partículas del suelo hacia la geomalla, a la vez que permite el flujo del agua.
- Tubo colector perforado:** manguera perforada especial para subdrenes, colocada en el extremo inferior de la geomalla (envuelta por el geotextil). Ésta recoge y conduce el agua colectada por la geomalla.

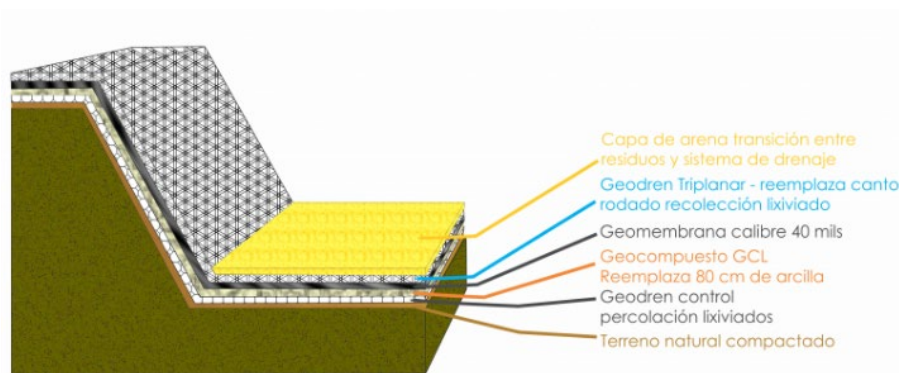


Figura 3.5: corte transversal del geodren

Fuente: geopolimerossas.com

3.2.4 Drenes horizontales o subdrenes de penetración

Los subdrenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje que consiste en la penetración de tuberías ranuradas transversalmente en los taludes de cortes y eventualmente en terraplenes, con el cual se busca abatir el nivel freático hasta un nivel que incremente la estabilidad del talud.

El trabajo comprende la perforación profunda sub-horizontal o ligeramente inclinada a través de una masa de suelo, y la instalación de la tubería perforada con o sin recubrimiento exterior. La principal ventaja de los drenes horizontales es que son rápidos y simples de instalar y se puede obtener un aumento importante del factor de seguridad del talud en muy poco tiempo.

El diámetro de las perforaciones es de aproximadamente 3 a 4 pulgadas, dentro de las cuales se colocan tuberías perforadas. Los tubos utilizados son metálicos, de polietileno o PVC, generalmente de diámetros de 2" ó 3", aunque en ocasiones se emplea otro tipo de diámetro. La tubería se puede perforar con agujeros circulares o ranurar en sentido transversal. Los orificios de la tubería se hacen generalmente en diámetros de 5 a 1.5 milímetros con una densidad de 15 a 30 agujeros por metro de tubería.

3.2.5 Otras obras de subdrenaje utilizadas en la industria

Otro tipo de obras de subdrenaje implementadas en la conservación de los DDV son:

1. Drenes franceses: zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
2. Colchones de drenaje: se colocan debajo de los terraplenes o llaves de cortante, para impedir el ascenso de los niveles de agua.
3. Subdrenes de zanja: tienen por objeto abatir los niveles freáticos.

3.3 OBRAS EN CRUCES DE RÍOS Y QUEBRADAS

El cruce de ríos y quebradas es una de las zonas más sensibles y propensas a presentar procesos de inestabilidad, por lo que su protección y seguimiento son de gran relevancia. Asimismo, las obras de nuevas rutas y vías férreas que cruzan quebradas donde, con anterioridad, ya cruzaba un ducto, están entre las más comunes de este tipo. A continuación, se presentan algunas figuras con ejemplos prácticos de este tipo de cruces.



Figura 3.6: cruce del oleoducto con el Rio Diamante.
Mendoza, Argentina

Fuente: YPF



Figura 3.7: nueva Ruta Nacional 40 y su cruce con el oleoducto

Fuente: losandes.com.ar

3.3.1 Obras de protección marginal

3.3.1.1 Gaviones

Los orígenes de estos elementos de protección se remontan al siglo XVI, cuando los ingenieros utilizaban en Europa unas cestas de mimbre rellenas de tierra -denominadas por sus inventores italianos gabbioni, o "jaulas grandes". Éstas se empleaban para fortificar los emplazamientos militares y reforzar las orillas de los ríos. Desde ese entonces, pese al avance de la tecnología, el uso de los gaviones se mantiene inalterable en su esencia. A continuación, se describen algunas de sus variaciones más utilizadas actualmente.

Son elementos estructurales en forma prismática rectangular fabricados generalmente en malla hexagonal, subdivididos en celdas por diafragmas, los cuales además de reforzar la estructura, facilitan su montaje y relleno. Las aristas de los paneles de malla suelen ser reforzadas con alambres de mayor diámetro.

Se fabrican con mallas (de triple torsión y escuadradas tipo 8×10 cm) de alambre de acero (con bajo contenido de carbono) de 2,7 mm, al que se le dan tres capas de galvanizado (en caliente), con 270 gramos de zinc. Las aristas de los gaviones se refuerzan también con alambre de 3,4 mm. También se utiliza alambre para el amarre de las piezas de 2,2 mm.

Los gaviones pueden tener diferentes aspectos, es muy frecuente encontrarlos con forma de cajas, que pueden tener largos de 1.5, 2.0, 3.0 y 4.0 m, un ancho de 1.0 m y una altura de 0,5 o 1,0 m. Sin embargo, a pedido del ejecutante, pueden tomar amplios diseños. En la siguiente figura se presenta el esquema básico de una malla de gavión.

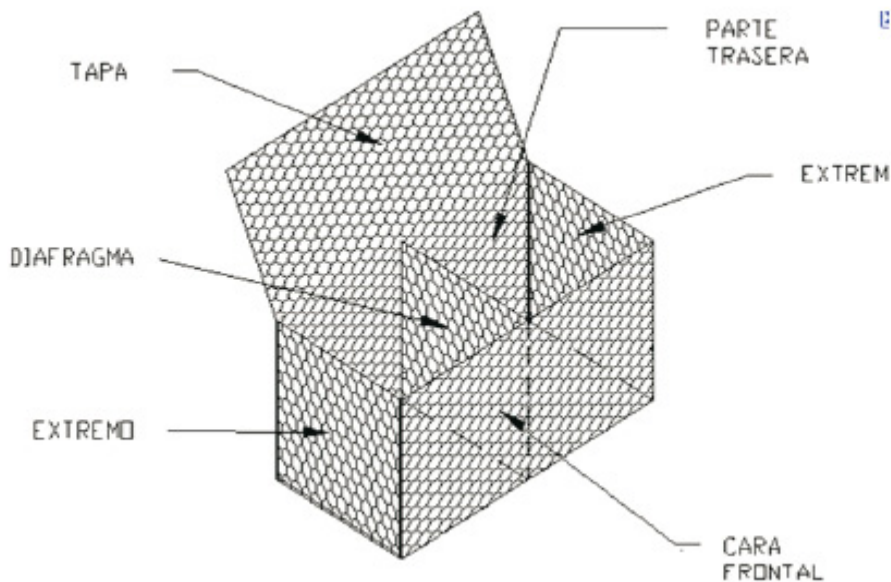


Figura 3.8: caja gavión

Fuente: idrd.gov.co

3.3.1.1 Principales usos de los gaviones

A continuación, se presentan de manera sucinta los usos más frecuentes de gaviones. No obstante, la gran flexibilidad que tienen estos elementos en materia de usos, permite su empleo en condiciones que superan estos enunciados y sobre los cuales se dará un mayor desarrollo en los siguientes capítulos de esta guía, así como en los ejemplos o casos de estudio incluidos en el capítulo 9.

- a. Muros de contención: los muros pueden ser usados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos lados, constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos.
- b. Conservación del suelo: la erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno se pierden grandes superficies de suelos fértiles, ya que el material sólido que se desprende en las partes media y alta de la cuenca provoca la colmatación de la infraestructura hidráulica, eléctrica, agrícola y de comunicaciones que existe en la parte baja.
- c. Control de ríos: en ríos, el gavión contribuye con el estado de equilibrio del cauce. Con un diseño adecuado puede evitar procesos de socavación, transporte de materiales y colapso de márgenes. Además, el gavión puede controlar crecientes protegiendo valles y poblaciones contra inundaciones.
- d. Funcionan como diques de consolidación que permiten el flujo normal del agua y la retención de sedimentos o material transportado (los más gruesos).
- e. Obra transversal con función de sedimentador: con el adecuado estudio previo del cauce a intervenir, y realizando los anclajes de gaviones y colchonetas en forma adecuada según la ingeniería de diseño, son una excelente opción en reemplazo del hormigón armado.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de usos de gaviones:



Figura 3.9: Ejemplo de cruce subfluvial en Córdoba, Argentina

Fuente: YPF



Figura 3.10: Ejemplo de recuperación de DDV. Mendoza, Argentina (previo al paso de la Ruta Nacional 40)

Fuente: YPF



Figura 3.11: ejemplo de canalización con colchonetas de fondo y gaviones en márgenes

Fuente YPF S.A.



Figura 3.12: Ejemplo de obra con uso de gaviones en márgenes y enrocados de fondo

Fuente <https://es.slideshare.net/>



Figura 3.13: Obra de protección de margen con gaviones – etapa de construcción

Fuente YPF



Figura 3.14: Obra de protección de margen con gaviones - Finalizada

Fuente YPF

3.3.1.1.2 Rendimiento del armado de gaviones y colchonetas

A continuación, se presentan los rendimientos referenciales por unidad de medida para la confección de los distintos elementos con y sin uso de maquinarias.

Tabla 3.1 Rendimiento de armado de gaviones y colchoneta – sin maquinaria


ELEMENTO	RENDIMIENTO
Colchoneta	1 m ² /100 minutos - Hombre
Gavión (H =1 m):	1 m ³ /160 minutos - Hombre
Gavión (H =0.5 m):	1 m ³ /210 minutos - Hombre

Fuente: Internet2022

Tabla 3.2 Rendimiento de armado de gaviones y colchoneta – sin maquinaria

ELEMENTO	RENDIMIENTO
Colchoneta	1 m ² /60 minutos; 6 minutos - máquina
Gavión (H =1 m):	1 m ³ /105 minutos - Hombre; 5 minutos - máquina
Gavión (H =0.5 m):	1 m ³ /155 minutos - Hombre; 15 minutos – máquina

Fuente: Internet2022



Por otro lado, se presenta a continuación la descripción de los trabajos típicos para la construcción de gaviones:

- i. Las cuadrillas deben tener un número tal de personas que no haya más de dos por gavión, y no más de tres por colchoneta.
- ii. El tiempo necesario para la puesta en obra de gaviones, desglosado por operación, es el siguiente:
 - a. Quitar el gavión del bulto, abrirlo, doblarlo, atar las aristas y fijar los diafragmas:
 - H = 1 m: 10 – 15 min/m³
 - H = 0,50 m: 20 – 25 min/m³
 - b. Construir un elemento de la obra en gaviones constituido de 4-6 gaviones, que se realiza ligando las cajas unas a otras a lo largo de todas las aristas en contacto, tanto en vertical como horizontal:
 - H = 1 m: 15 – 20 min/m³
 - H = 0,50 m: 20 – 25 min/m³
 - c. Trasladar y poner en obra los elementos arriba mencionados, coserlos a los adyacentes y alinearlos:
 - H = 1 m: 15 – 20 min/m³
 - H = 0,50 m: 20 – 25 min/m³
 - d. Rellenar los gaviones con máquina, insertar los tirantes y ajustar manualmente el pedrisco (si es necesario):
 - H = 1 m: 30 – 40 min/m³
 - H = 0,50 m: 40 – 50 min/m³
 - e. Cerrar la cubierta de los gaviones mediante el arrimo de las aristas del gavión al borde de la cubierta y cosido:
 - H = 1 m: 20 – 30 min/m³
 - H = 0,50 m: 40 – 50 min/m³
 - f. De los tiempos arriba escritos obtenemos el tiempo – hombre por metro cúbico de obra acabada:
 - H = 1 m: 90 – 125 min/m³
 - H = 0,50 m: 140 – 175 min/m³



3.3.1.1.3 Consideraciones constructivas

Al momento de realizar la construcción de gaviones, se deben considerar algunos aspectos constructivos de importancia y tomar algunas precauciones. A continuación, se referencian los principales:

- En los cruces subfluviales, la ubicación de la cota de cimentación debe estar debidamente calculada y referenciada a los estudios de socavación de fondo en los ríos. De no aplicarse dicho criterio, los suelos pueden erosionarse y provocar el colapso de la obra. En la siguiente figura se presenta un ejemplo referencial de dicha consideración constructiva.
- Anclaje con el medio o contrafuertes: es esencial para la durabilidad de la obra. La materialización de un diente de anclaje que vincule la obra expuesta con el terreno es fundamental para: i) evitar la socavación (efecto sifonaje) por efectos de cambios de rigidez entre la corriente hídrica y la estructura y ii) prevenir el desplazamiento de la obra.
- Anclajes o traba entre mallas: con el fin de asegurar una estructura monolítica, debe generarse entramamiento de las canastas o mallas.

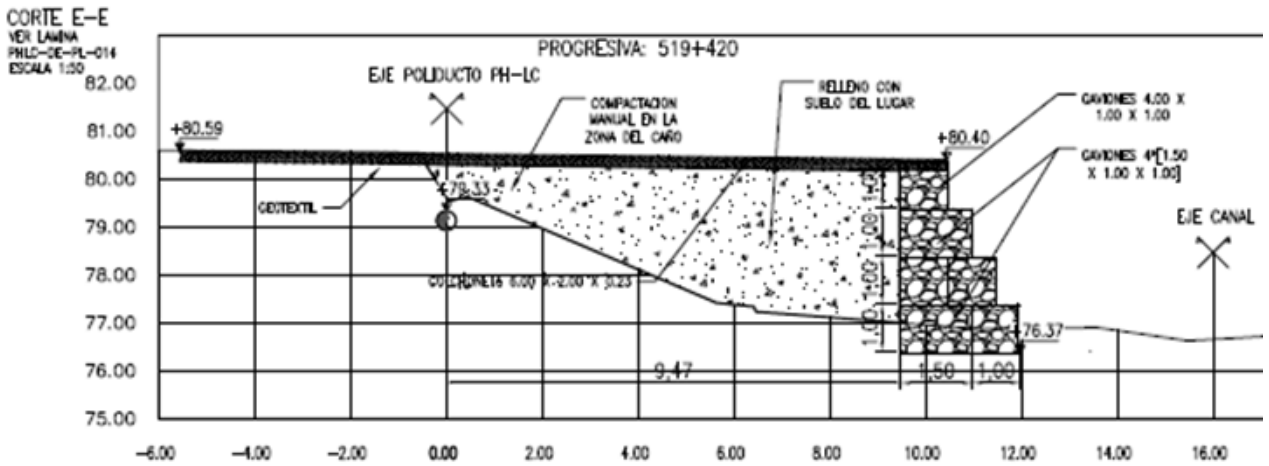


Figura 3.15: Falla por erosión del pie en cauce semipermanente

Fuente: YPF

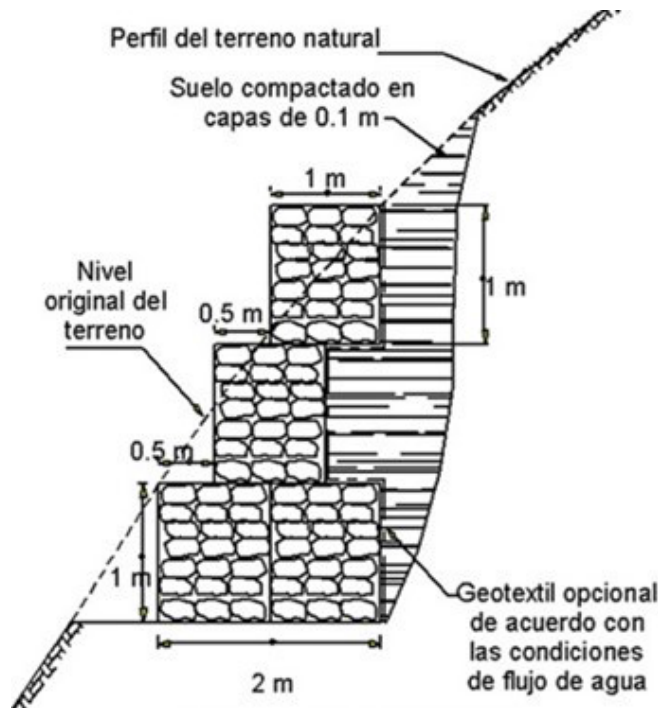
- Anclaje con el medio o contrafuertes: es esencial para la durabilidad de la obra. La materialización de un diente de anclaje que vincule la obra expuesta con el terreno es fundamental para: i) evitar la socavación (efecto sifonaje) por efectos de cambios de rigidez entre la corriente hídrica y la estructura y ii) prevenir el desplazamiento de la obra.
- Anclajes o traba entre mallas: con el fin de asegurar una estructura monolítica, debe generarse entramamiento de las canastas o mallas.
- Crecimiento de vegetación: siempre es importante promoverla, aún en zonas áridas, ya que favorece la estabilidad y durabilidad de la obra.
- Llenado y tamaño de piedras: el llenado de los gaviones y colchonetas debe realizarse preferentemente de forma manual. La selección del tamaño mínimo de piedras a utilizar es fundamental, ya que las piedras muy pequeñas se salen de los canastos a través de las aberturas de las mallas. Es importante una distribución uniforme en el tamaño de los áridos, ni todos pequeños, ni todos grandes, debe haber una gradación cerrada (granulometría no uniforme) que permita ocupar de la manera más eficiente los vacíos, promoviendo un adecuado "careo" o sellado de las caras de la canasta con piezas de roca.
- Inspección y mantenimiento posterior: una obra de ingeniería, sin distinción de su importancia, nunca termina. La inspección y el mantenimiento periódico son parte de la obra y se deben incluir en el presupuesto de la obra. La inspección y mantenimiento posterior a la finalización de la obra alarga sensiblemente la vida útil de la misma, y ayuda a prevenir daños mayores y costos elevados en caso de colapso.

En la siguiente figura se presenta un esquema referencial de una obra de contención lateral con uso de gaviones.



Figuras 3.16: Esquema de contención lateral de suelos con cajas gavión

Fuente: arquigrafico.com



Figuras 3.17: Perfil de contención lateral de suelos con cajas gavión

Fuente: arquigrafico.com

3.3.1.1.4 Principales ventajas y desventajas de las obras ejecutadas con gaviones

A continuación, se presentan las principales ventajas referidas a la utilización de gaviones en obras civiles:

- a. Flexibilidad: están diseñados para soportar asentamientos uniformes o diferenciales o acomodamientos sin perder su eficacia y función estructural a diferencia de las estructuras rígidas o semirrígidas. Esta característica es especialmente importante en el caso de estructuras construidas sobre suelos de baja capacidad portante.
- b. Permeabilidad: los gaviones son altamente permeables y drenantes, permitiendo el flujo de las aguas de percolación, aliviando empujes hidrostáticos en el trasdós de la estructura y optimizando las secciones de dichas estructuras.
- c. Monoliticidad y durabilidad: debido a la presencia de la malla de acero, el peso propio y el carácter monolítico, las estructuras en gaviones son capaces de resistir esfuerzos de tracción y empujes generados por el terreno y cargas adyacentes. Su revestimiento con aleación de zinc/aluminio asegura la durabilidad de los alambres por muchos años. La protección adicional del alambre, con material plástico, garantiza la integridad de la estructura en presencia de ambientes agresivos o contaminados.
- d. Integración total al ambiente: las estructuras en gaviones se adaptan a cualquier ecosistema, no constituyen obstáculos al paso de las aguas y están constituidas por materiales inertes que favorecen la recuperación rápida de la fauna y de la flora.
- e. Facilidad constructiva: utilizando gaviones se pueden ejecutar obras de manera rápida, que de otro modo requerirían mucho más tiempo y operarios especializados. Asimismo, los gaviones presentan una amplia adaptabilidad a diversas condiciones, ya que son fáciles de construir, aún en zonas inundadas.
- f. Confiabilidad: debido a que los cajones de gaviones forman una sola estructura, éstos tienen mayor resistencia al volteo o volcamiento y al deslizamiento.

Con relación a las desventajas del uso de gaviones, se presentan las siguientes:

- a. La presencia de un suelo de cimentación de baja capacidad portante por cuanto restringe su uso en ciertas condiciones de suelo y configuración geométrica del muro. Si bien no es una desventaja exclusiva del sistema de gaviones, debe ponerse especial atención a este ítem.
- b. La granulometría para el llenado de las canastas o mallas, ya que, en ríos de alto caudal, y gaviones rellenos con una inadecuada granulometría de áridos, se puede presentar el impacto entre las rocas y su rotura, lo que propicia que comiencen a salirse de los canastos con el consecuente colapso de la estructura. En caso de que esto no pueda modificarse, se deben realizar ensayos adicionales para establecer su capacidad de soportar dichos impactos. Al colapsar un canasto, suele darse el efecto cascada o dominó y se puede acelerar la pérdida de gran parte de la obra.
- c. Su mayor costo comparado con el enrocado simple o con mallas de vegetación.
- d. La posibilidad de rotura o deformación de las mallas en corrientes hídricas que durante eventos de creciente puedan transportar materiales que se enreden o impacten con las mallas. Esto puede generar la necesidad de revestirlos con concreto en la cara expuesta a la corriente.

3.3.1.2 Colchonetas

Son elementos que presentan gran superficie y pequeño espesor, desarrollados especialmente para actuar como revestimiento.

La base, las paredes laterales, los diafragmas de doble pared y las paredes de las extremidades se forman a partir de un único paño en malla hexagonal. La tapa también es fabricada con un único paño de malla y es suministrada por separado. Las aristas de los paneles de malla son reforzadas con alambres de mayor diámetro.

Debido al contacto con el agua se suelen fabricar en alambre con revestimiento pesado de zinc y protección adicional en material plástico; esto último es opcional, y dependiendo de ello, el calibre (o el diámetro) del alambre es menor para poder revestirlo con caucho.

A continuación, se presentan algunas figuras referenciales sobre los esquemas típicos de colchonetas:



Figura 3.18: Protecciones superficiales del margen del río

Fuente: <https://www.ingegek.site/>



Figura 3.19: Río Suquía. Córdoba, Argentina

Fuente: YPF S.A.

3.3.1.3 Gaviones saco

Es un tipo de gavión extremadamente versátil debido a su formato cilíndrico y a su método de construcción. Estas características hacen que se torne una herramienta fundamental en obras de emergencia, en condiciones sumergidas, en zonas de difícil acceso, o cuando se apoyan sobre suelos de baja capacidad portante. Son constituidos por un único paño de malla, que en sus bordes libres presentan un alambre grueso que pasa alternativamente por las mallas para permitir su montaje en la obra.

Debido al contacto constante con el agua, son fabricados en alambres con revestimiento pesado de zinc y protección adicional en material plástico. En las siguientes figuras se presentan ejemplos de gaviones de saco.



Figura 3.20: Gavión saco en dársena

Fuente: gabionmesh.com

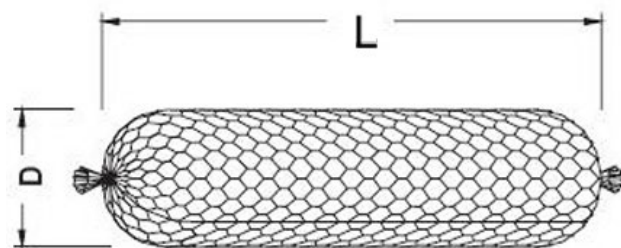


Figura 3.21: Dimensiones del gavión saco

Fuente: gabionmesh.com

3.3.1.4 Enrocados

La protección de taludes con enrocados es un procedimiento que se realiza para proteger los mismos contra los daños causados por las escorrentías o escurrimiento de las aguas tanto en ríos, mares o espejos de agua.

A continuación, se referencian algunos aspectos técnicos a tener en cuenta para la implementación de enrocados:

- No se recomienda el uso de rocas fisuradas o meteorizadas, ni la utilización de rocas de bordes redondeados, siendo aconsejable recurrir a las que posean aristas vivas con el fin de mejorar la trabazón.
- La roca debe obtenerse de canteras lo más próximas posible a la zona de trabajo, ya que el acarreo prolongado puede dañarlas, además de aumentar significativamente los costos del flete.
- Estas formas de protección deben estar conformadas por rocas sanas, duras, sólidas, durables, con un peso específico no menor a 2,7 T/m³ y atendiendo a que deben superar con éxito los ensayos de desgaste y ataque por sulfatos (i.e. reacción árido ligante en concretos).
- Dentro de las posibilidades, el material a utilizar debe estar bien graduado, teniendo la precaución de que en cada entrega se mantenga el grado de graduación y la colocación sea lo más cuidadosa posible.
- Según las experiencias recolectadas, se puede tener en cuenta el siguiente cuadro para la distribución de las rocas (fuente: YPF o experiencia propia de YPF):
 - 40 - 45% de rocas de tamaño igual al espesor teórico de la capa.
 - 35 - 40% de bloques de tamaño igual al 60% del espesor de la capa.
 - 10 - 15% de bloques menores del 60% del espesor de la capa.
 - 5% máximo, de arena y polvo de roca.

- f. Al momento de proteger un talud se debe tener en cuenta su morfometría. De ser necesario, debe realizarse un leve perfilado del mismo para poder colocar las rocas sobre un mismo plano sin alteraciones. La pendiente que debe guardar es de 1V:3H. Posterior a ello, debe contemplarse, dentro de lo posible, la colocación de un geotextil no tejido para evitar el lavado de finos.
- g. Las rocas que se utilizan para protección de márgenes deben situarse de una manera específica. Esta consiste en hacer una primera hilada enterrada en una fosa, con el fin de ayudar a la sustentación del conjunto, tal cual se muestra en el siguiente esquema:

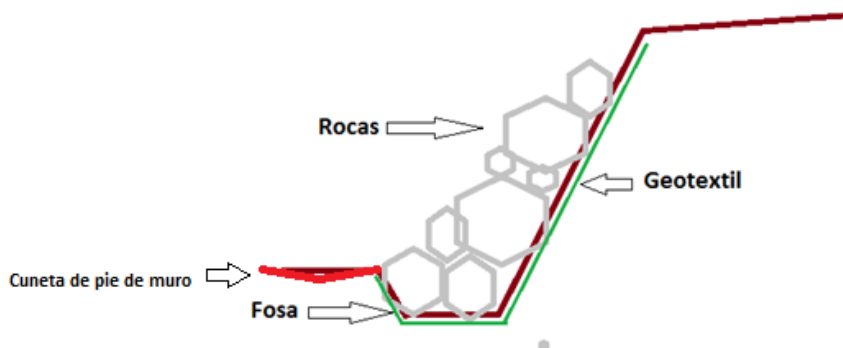


Figura 3.22: Corte esquemático de la colocación de enrocado.

Fuente: YPF

- h. También debe contemplarse la ejecución de una cuneta de pie de muro para evitar socavaciones y ayudar a conducir las aguas. Como posibilidad, puede contemplarse el uso de concreto o morteros entre rocas para darle mayor resistencia al conjunto, aunque esta práctica aumenta el costo de la obra, por lo que requiere una adecuada justificación técnica y económica.
- i. La secuencia constructiva se debe organizar de tal forma que se evite la segregación de la roca en el proceso de manejo y ubicación del material. No es aconsejable volcar las rocas directamente en la locación final, sino que las mismas deben colocarse a pie de la obra y situarse una por una con el fin de lograr la mejor trabazón posible para que quede la graduación homogénea.
- j. Al colocar los enrocados, éstos quedarán del espesor final especificado, en una o dos operaciones. El enrocado colocado quedará bien graduado, con un mínimo porcentaje de vacíos y sin zonas con acumulación de piedras de tamaños pequeños o grandes.



Figura 3.23: Ejemplo de enrocados laterales

Fuente: <https://www.gob.pe/>

3.3.1.5 Espigones

Un espigón, rompeolas o escollera es una estructura no lineal construida con bloques de roca de dimensiones superiores a un metro, o con elementos prefabricados de hormigón (cubos, paralelepípedos, dolos y tetrápodos o cuadrípodos). Éstos son colocados dentro del agua, en ríos, arroyos o próximos a la costa marítima, con la intención de direccionar el flujo, reducir el oleaje o evitar la decantación de arena. Su principal función es bajar la energía del agua, de manera que no erosione la costa, o bien que se genere agregación en un área determinada.

Existen también espigones construidos con gaviones para proteger los márgenes de ríos, siendo éstos poco recomendables para costas marítimas debido a la energía y violencia con que las olas del mar impactarían a la estructura.

El comportamiento de los espigones en la costa marítima está influido por una gran cantidad de factores, como oleaje intenso, socavaciones bajamares, pleamares, etc., lo que hace que sea muy difícil predecir con buena aproximación los efectos que éste pueda tener en la práctica. Por este motivo es muy importante ensayar el comportamiento de este tipo de estructuras marinas en modelos a escala. En resumen, los espigones pueden construirse con:

- Rocas sueltas.
- Bloques prefabricados de hormigón simple.
- Gaviones.
- Hormigón armado ($H^{\circ} A^{\circ}$) (completos).
- Hormigón armado ($H^{\circ} A^{\circ}$) y morro de rocas sueltas.

Los factores más importantes para el diseño y construcción de un espigón son: la sección adoptada, la disposición (ángulo de orientación) y la longitud. A continuación, se referencian algunas secciones típicas de espigones:

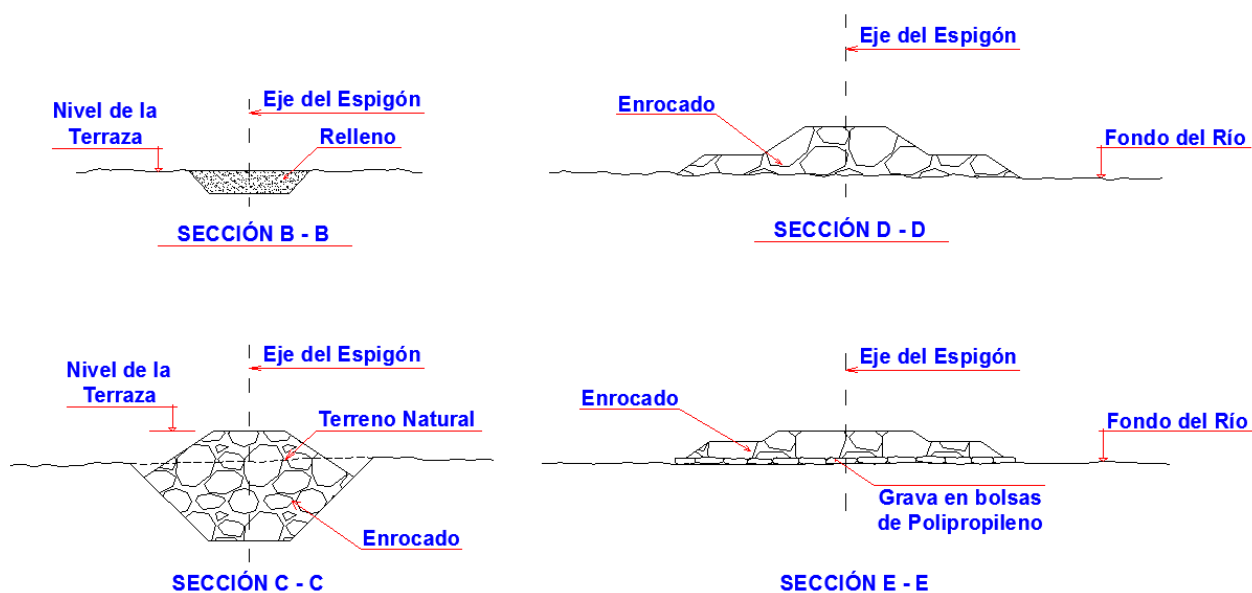


Figura 3.24: Secciones varias de espigones a utilizar.

Fuente: Defensas fluviales con espigones - Arturo Rocha Felices

Sobre el ángulo de orientación, se puede considerar la siguiente clasificación:

- Espigón a ángulo recto ($\alpha = 90^\circ$)
- Espigón orientado hacia aguas arriba ($\alpha > 90^\circ$)
- Espigón inclinado hacia aguas abajo ($\alpha < 90^\circ$)

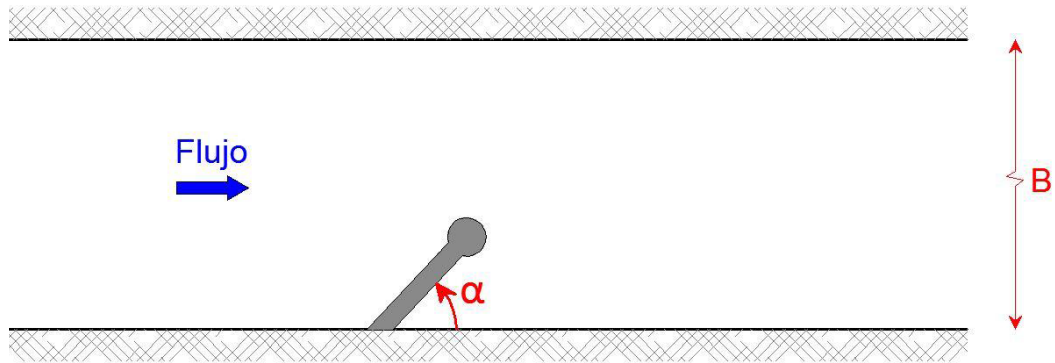


Figura 3.25: Ángulo de protecciones respecto al margen del cauce.

Fuente: Defensas fluviales con espigones - Arturo Rocha Felices

Para el caso particular de protección de ducto, se utiliza generalmente el espigón inclinado hacia aguas abajo, ya que se busca favorecer el depósito de suelos para aumentar la protección de la instalación. No obstante, es importante estudiar también la disposición hacia aguas arriba ya que, en función de la posición relativa del espigón respecto a las corrientes, puede que sea la mejor alternativa.



Figura 3.26: Ejemplo de espigones como defensa ribereña

Fuente: <https://gobnacionizabal.gob.gt/>

3.3.1.6 Bolsacretos

El bolsacreto es un sistema de control de erosión para quebradas, ríos y canales. Está compuesto por un geotextil de polipropileno de sección rectangular que, al estar lleno de concreto, conforma la estructura principal.

Se recomienda llenarlo con un concreto de resistencia a la compresión superior a 1500 psi y un asentamiento superior a 0,12 m. El bolsacreto también puede ser llenado con mortero o suelo cemento.

Según el método de llenado (por gravedad o por bombeo), los materiales necesarios son:

- Equipo de bombeo para concreto
- Mezcladora
- Equipos pesados de izajes (en caso de tener que elevar el bolsacreto)
- Herramientas menores como baldes, palas, etc.

Las longitudes usualmente utilizadas son 1 m y 2 m. No obstante, en algunos países de Latinoamérica también se clasifican por su capacidad volumétrica, normalmente 1 m^3 o 2 m^3 .

Esto se debe a que deben ser maniobrables. Las buenas prácticas y la experiencia indican que los bolsacretos deben colocarse de manera trabada, semejante a la mampostería tradicional.

Una característica importante que debe reunir este tipo de protección es el tipo de tejido. Este debe permitir la salida del agua de amasado (que no es otra cosa que el agua incorporada al hormigón, en este caso la que exuda en el curado) con facilidad, favoreciendo así el fraguado inicial de la mezcla. Los poros deben tener un tamaño óptimo para poder retener la pasta de cemento de la mezcla, sin que se presenten pérdidas de cemento cuando el agua de amasado sale a través del bolsacreto.

Los usos más frecuentes para este tipo de estructuras son:

- Obras de protección de laderas
- Obras de protección de riveras
- Estabilización de taludes
- Reparaciones estructurales
- Soportes
- Sobrepesos



Figura 3.27 Bolsacretos en protección de talud.

Fuente: rockmont.com.ec



Figura 3.28: Bolsacretos en protección de estribo de puente.

Fuente: Mayury Otálvaro

Los bolsacretos, deben ser colocados en el lugar por medio de izaje y buzos de apoyo o pueden ser lanzados al agua de ser necesario. Es muy importante tener en cuenta que se está en presencia de un enrocado artificial, que, durante el vaciado del material dentro del bolsacreto, está en forma líquida y no ha adquirido la suficiente resistencia a la compresión. Se debe desarrollar entonces una traba para que los bolsacretos -una vez fraguados- mantengan la estabilidad necesaria, de tal forma que puedan soportar el embate de las aguas o empujes que provengan del espaldón. Esto puede materializarse con el empleo de varillas de acero, que favorecen al monolitismo buscado.

Algunas de las ventajas de este sistema son:

- Facilidad en el transporte y el almacenamiento, ya que los bolsacretos son llevados vacíos hasta el sitio de la obra, donde posteriormente son llenados y colocados, lo cual permite el manejo de grandes volúmenes a bajos costos.
- Se puede lograr la protección de grandes áreas en un corto período de tiempo, debido a la velocidad de construcción que permite esta tecnología.
- Fácil adaptación a superficies irregulares, puesto que durante el proceso de llenado el bolsacreto adquiere la forma del medio circundante.
- Reducen significativamente los costos de la construcción, ya que esta tecnología no requiere de un gran número de equipos pesados de construcción, y se obtienen grandes rendimientos, sin necesitar una mano de obra especializada.
- Son resistentes al choque con el agua en estructuras hidráulicas.
- Reemplazan los sistemas tradicionales de protección con gaviones, enrocados naturales y muros de contención en concreto.
- Pueden instalarse por debajo del agua, sin necesidad de construir obras temporales de desvío que incrementan el costo de la obra.

Respecto a las desventajas, a continuación, se referencian las principales.

- Los bolsacretos son pasibles de sufrir roturas en protecciones hidráulicas debido al transporte de rocas o ramas.
- Tienen una vida útil más limitada que otros sistemas.

3.3.1.7 Trinchos

Son estructuras de contención, que responden al principio de las tablestacas. En este sentido, para su diseño es necesario que la altura libre no exceda la que, por el empotramiento, se puede proveer, de modo tal que la distribución de empujes no genere el volcamiento del elemento. Es importante mencionar que los trinchos pueden ser usados tanto en zonas cercanas a cruces subfluviales como en media ladera del DDV.

Algunas características y usos de los trinchos se presentan a continuación:

1. Son utilizados generalmente para fijación de márgenes de cursos de agua, pero también en contenciones de terraplenes de laderas y para facilitar la revegetación de laderas en las terrazas que conforman.
2. Se recomiendan en laderas con una pendiente no mayor a 17° . Para ángulos mayores, deben tomarse recaudos especiales y realizar verificaciones extras.
3. Se pueden utilizar a media ladera para conformación de bermas y cortacorrientes, así como para reforzar estructuras construidas con sacos en suelo cemento.
4. Sirven también como defensas o pequeños diques artificiales que protegen y contienen la parte baja de los taludes contra la acción devastadora del agua de escorrentía superficial, que escurre a velocidades altamente erosivas y retiene el material de arrastre en su zona muerta, dejando pasar los sedimentos más finos.
5. Con respecto al diseño, los trinchos consisten en estacas de madera verticales previamente hincados a una profundidad mínima de 80 cm, que trabajan principalmente a flexión o en voladizo, y que a su vez soportan elementos horizontales para conformar una "pared" de contención. La separación de los elementos verticales puntales suele ser de 1,0 m.
6. Son eficaces en la disipación de energía en cauces de agua de manera que no se formen zanjas ni se profundice el lecho, y en el manejo de erosión en cárcavas.
7. Los trinchos se encuadran en las obras de bioingeniería, ya que pueden realizarse íntegramente con materiales provistos por la naturaleza. La vegetación natural cumple un papel muy importante en este tipo de obras, ya que ayuda en gran medida a la estabilización de los suelos que se intentan contener.

A continuación, se presentan algunas figuras relacionadas con la aplicación de trinchos:



Figura 3.29: Contención inferior de pie de talud

Fuente: c3inversiones.com.\colllll



Figura 3.30: Ejemplo de trinchos a media ladera

Fuente: <https://iecaiberoamerica.org/>

3.3.1.8 Tablestacas

Las tablestacas son estructuras de contención flexible que se utilizan por lo general en obras de ingeniería civil. El material más utilizado es el acero, aunque las hay de otros como aluminio o vinilo, siendo las primeras las más difundidas y utilizadas. La necesidad de hincado amerita secciones finas pero resistentes, de allí que el material más utilizado sea el acero.

La colocación de estos elementos en posición se realiza por vibrado o por hincado, dependiendo del tipo de suelo, del entorno y de la posibilidad de ingreso de los equipos necesarios a la zona de trabajo. En la siguiente figura se presenta un ejemplo típico de tablestaca:



Figura 3.31: Tablestacado

Fuente: es.slideshare.net

Son utilizadas en muchos y variados tipos de trabajos, tanto temporales como permanentes. Las secciones típicas de este tipo de obra están diseñadas para proveer la máxima resistencia y durabilidad. El diseño de sus encastres o juntas da como resultado una pared continua y un sellado entre elementos cercano a la perfección. Los encastres también sirven de guía para el posicionamiento de las tablestacas.

Un amplio rango de secciones, tanto Z como U son obtenidas, pudiéndose utilizar distintos tipos de aceros, dando como resultado proyectos relativamente económicos y duraderos. Las obras con tablestacas tienen una gran versatilidad, lo que ayuda a que sean incorporadas en una gran diversidad de proyectos.

Para aplicaciones donde la corrosión es un problema, se toman espesores deliberadamente mayores para aumentar la vida útil de la pieza y la estructura en general. Estos espesores rondan entre 10 mm, 12 mm o ½ pulgada según se requiera. También se puede optar por la protección catódica en las zonas en las que está hincada la tablestaca (ya que necesita el suelo como electrolito).

- A continuación, se presentan algunos usos típicos de las tablestacas:
- Estructuras para control de ríos y defensa de suelos
- Puertos y terrenos duros
- Estaciones de bombeo
- Contrafuertes de puentes
- Contención en desmontes de caminos
- Contención para excavaciones profundas

Asimismo, se presentan en las siguientes figuras las características de componentes, geometrías y diagramas de esfuerzos que caracterizan las tablestacas:

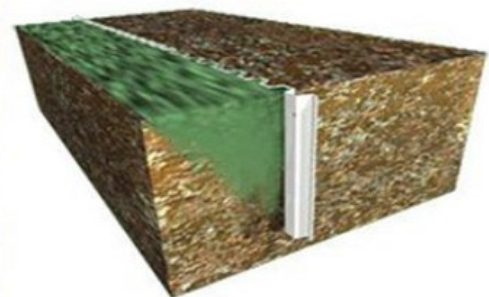
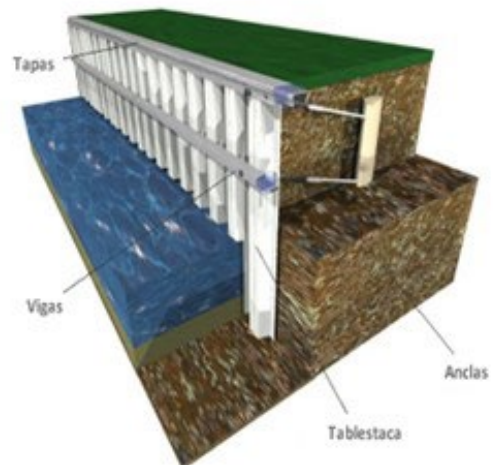


Figura 3.32: Tablestacado en trabajo con agua (componentes y disposición final)

Fuente: arquigrafico.com

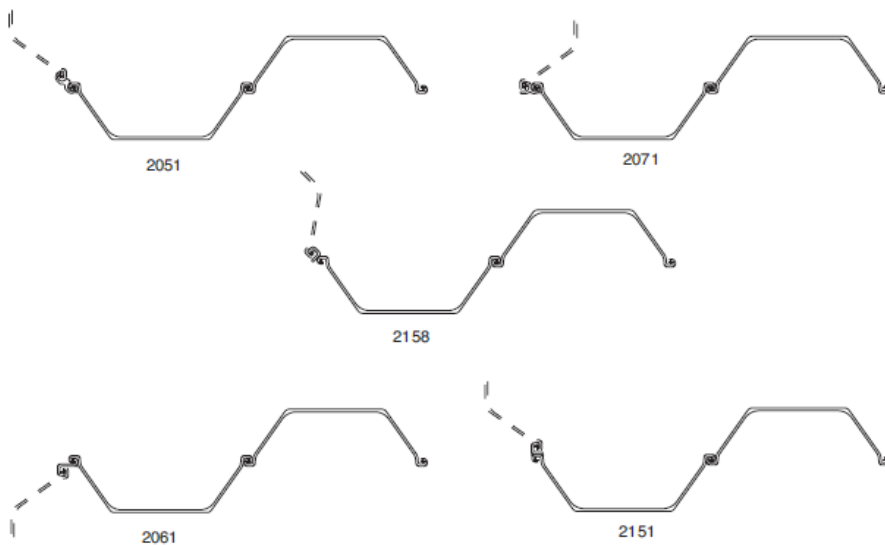
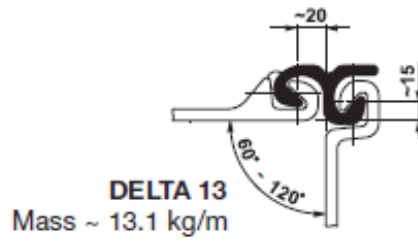
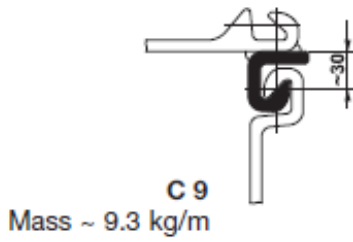
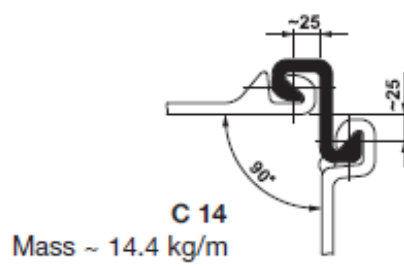
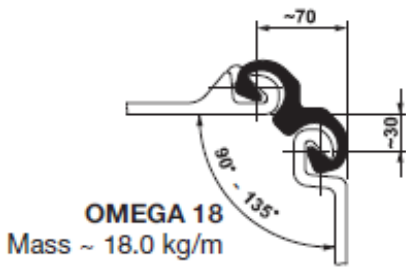
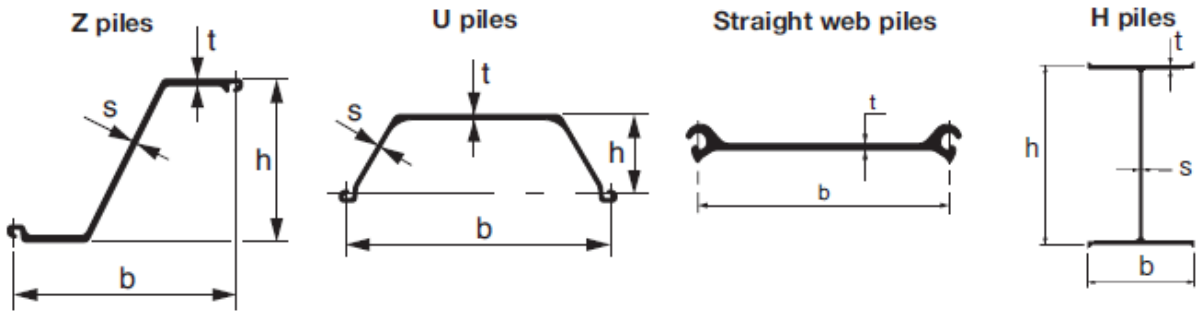


Figura 3.33: Perfiles típicos de tablestacas

Fuente: geotecniafacil.com

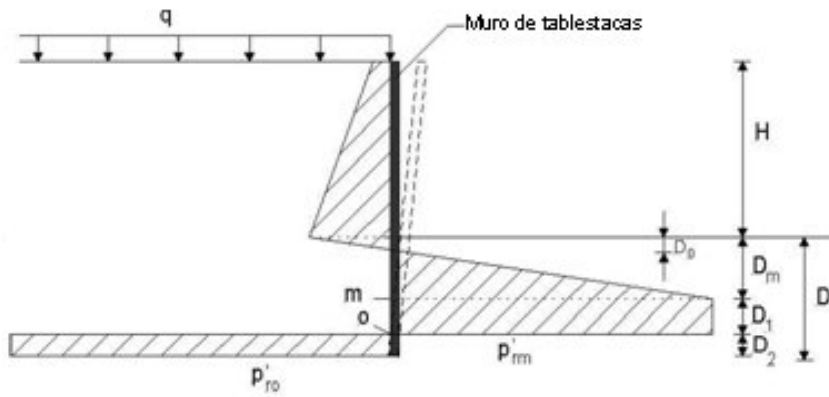


Figura 3.34: Esfuerzos sobre tablestacas (empuje activo)

Fuente: arquitecturaenacero.org

Las tablestacas también se usan en casos especiales en donde se pretende alcanzar grandes profundidades. Para ello, una solución eficiente y económica consiste en arriostrar pantallas de tablestacas mediante perfilería metálica. De esta forma, se limitan las deformaciones de dichas tablestacas permitiendo proteger edificaciones o infraestructuras anexas a la excavación. Este procedimiento constructivo precisa que la excavación se realice en más de una fase pues es necesario realizar el montaje del arriostramiento. Asimismo, este procedimiento es alternativo al anclaje de pantallas al terreno. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de uso de tablestacas a gran profundidad.



Figura 3.35: Entibamientos

Fuente: Universitat Politècnica de Valencia

Ante la necesidad de realizar una excavación profunda dejando el recinto libre de obstáculos, se deberá realizar un arriostramiento de las tablestacas mediante anclajes al terreno. De esta forma se pueden limitar las deformaciones en la pantalla. Esto también modifica el diagrama de momentos y esfuerzo cortante. Esto permite realizar excavaciones junto a elementos a proteger, como edificaciones, instalaciones, etc., siempre y cuando se pueda realizar el anclaje correspondiente.

El método constructivo pasa por realizar la excavación por fases, de forma que se puedan efectuar los anclajes y su tensado antes de proseguir con la excavación a mayor profundidad.

Este tipo de arriostramiento permite su uso en recintos de grandes luces con geometrías muy diversas. Además, como la excavación no presenta obstáculos, se pueden alcanzar grandes rendimientos en los vaciados dentro del recinto.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de uso de tablestacas para trabajos de importantes profundidades en combinación con otras técnicas de cimentación:

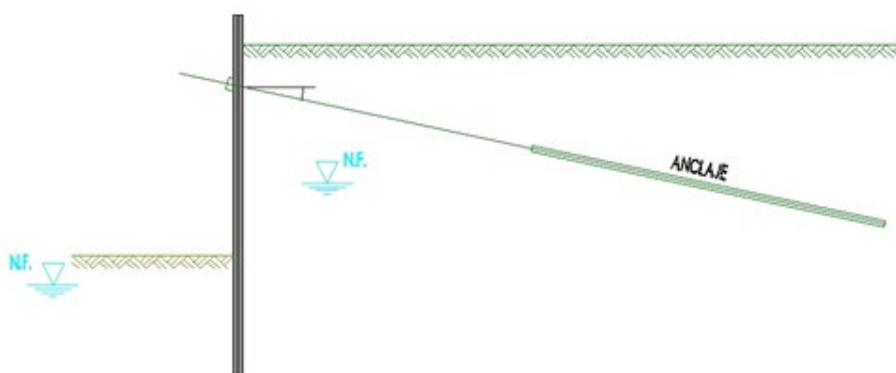


Figura 3.36: Estabilidad de tablestacas con anclajes.

Fuente: Universitat Politècnica de Valencia



Figura 3.37: uso de tablestaca para recuperación de DDTV

Fuente: IPG Conference 2019

Dentro de las ventajas que se pueden obtener al aplicar la técnica de tablestacas se encuentran:

- Se pueden manipular y trasladar con cierta facilidad.
- Se obtienen longitudes a medida de la situación.
- Resisten altos esfuerzos de hincado.
- Penetran en estratos de variada dureza.
- Tienen alta capacidad de carga.

Con respecto a las desventajas del uso de las tablestacas se encuentran:

- El material es relativamente caro.
- Alto nivel de ruido en el proceso de hincado.
- Su uso está limitado al acceso de los equipos al lugar de trabajo.

3.3.1.9 Geotubos

Los geotubos o geo-contenedores, son mangas, bolsones o colchones de grandes dimensiones, confeccionados con material geosintético, por ejemplo, geotextil. Son versátiles y muy convenientes ya que se rellenan con suelos aportados por bombeo, o eventualmente en seco,

para utilizarse como estructuras de contención, defensa de costas, construcción de diques, espigones, terraplenes, reconstrucción de taludes y obras de control de erosión y sedimentos.

Sus características:

- a. Son altamente resistentes a los rayos UV y su mantenimiento es muy bajo o nulo, siempre que no se dañen.
- b. La ventaja más relevante es el bajo costo de la mano de obra respecto a las colchonetas y cajas de gaviones, así como también la rapidez de ejecución.

A pesar de lo anterior, deben tenerse en cuenta ciertos factores que pueden hacer descartar su uso. El principal es el tipo de material que arrastra el cauce. Si se trata de un curso caudaloso, que transporta sedimentos de tamaño superior al bloque o que pudiera transportar ramas u otros elementos punzantes, este tipo de solución debería descartarse.

Entonces, su principal uso es en situaciones de cauces que transportan sólidos finos ya que cualquier tipo de elemento corto o punzante puede dañar el geotubo. Las características técnicas referenciales de los geotubos se pueden observar en la siguiente figura.

	Método de ensayo	Unidad	
Propiedades Físicas			
Material		Hilo de polipropileno de alta tenacidad	
Color		Negro	
Espesor $\pm 20\%$		mm	1.1
Propiedades Mecánicas			
Resistencia nominal a la tracción - MD	ASTM D4595	kN/m	70
Resistencia nominal a la tracción - CD	ASTM D4595	kN/m	105
Elongación nominal a la tracción - MD	ASTM D4595	%	20
Elongación nominal a la tracción - CD	ASTM D4595	%	20
Resistencia al punzonado estático	ASTM D6241	kN	9
Resistencia en la costura*	ASTM D4884	kN/m	70
Propiedades Hidráulicas			
Tasa de flujo	ASTM D4491	$l/min/m^2$	1200
Permisividad	ASTM D4491	s^{-1}	0.4
Apertura aparente de filtración	ASTM D4751	mm	0.185
Dimensiones del MacTube®			
Longitud		m	5, 7, 9, 10, 15, 22, 28, 31, 60
Perímetro		m	4.5, 6.9, 9.1, 13.7, 18.3

Figura 3.38: Características mecánicas de geotubos

Fuente: Coripa SA

Como alternativas para el uso de este tipo de material se presentan múltiples opciones. Una de ellas es la colocación de una malla de hierro-acero de 4,2 mm² de sección sobre los mismos y proyectar un mortero de cemento sobre ellos. De esta manera, se genera una capa de protección sobre los geotubos. Para esta alternativa, existen geotubos cuyo material cuenta con pequeños rulos (es decir, no es una superficie lisa como los comunes) que sirven de agarre para el material. También puede colocarse un mallado de alambre galvanizado sobre estos elementos, que ayude a su contención ante posibles daños.

En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos prácticos de uso de geotubos, en cuanto a su localización, formas y disposición final para protección de obras ribereñas.



Figura 3.39: Ejemplo de ubicación de geotubos para protección de ducto. Mendoza, Argentina

Fuente: YPF



Figura 3.40: Reconformación con Geotubos

Fuente: <https://gava.info/>



Figura 3.41: Ejemplo de llenado in situ – locación definitiva

Fuente: YPF



Figura 3.42: Finalización de obra con geotubos – locación definitiva.

Fuente: YPF

3.3.2 Obras de protección de fondo

3.3.2.1 Colchonetas de protección de fondo

En el apartado 3.3.1.1 y 3.3.1.2 se consideraron y definieron las cajas gavión y colchonetas en forma general bajo el enfoque de elementos de protección marginal. No obstante, sus amplios usos también se extienden para las protecciones de las soleras de los cauces y fondos de quebradas, aunque en modo de colchonetas, que se diferencian de las cajas por su relación de lados.

El principal fin de enfundar la solera de un cauce es evitar su erosión debido a la velocidad de la corriente. La dificultad que se presenta es que para este tipo de obra se debe realizar el desvío provisional del cauce, lo que implica cuidadosos cálculos y una ejecución de obra muy rigurosa.

A continuación, se presenta una figura relacionada con la instalación de colchonetas de fondo en un cruce subfluvial.



Figura 3.43: Obra de protección de márgenes y solera del Río Suquía – TGN. Córdoba, Argentina

Fuente: YPF

La misma consistió en el desvío del Río Suquía, la colocación de colchonetas en las márgenes y la solera del río, y la realización de espigones para readecuar el cauce y bajar su velocidad.

Como es de esperar en este tipo de obras, la palabra final la tiene el tiempo ya que, al modificar un cauce natural, existe un proceso de adaptación de la naturaleza a la nueva situación que hay que respetar, y verificar si la solución adoptada fue la mejor opción.

Con respecto al diseño de las colchonetas, se deben definir los condicionantes hidráulicos de un modelo hidráulico, ya sea uni o bidimensional, una de las variables que más influye en el comportamiento del modelo es el coeficiente de rugosidad.

Cowan, en 1956, desarrolló una expresión que permite determinar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning a través de la interacción de diferentes parámetros que permiten describir o valorar características concretas de un cauce. La expresión es la siguiente:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m$$

En esta expresión, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning “n” depende de:

- n_b = un valor base de “n” para un cauce recto, uniforme y liso en función del material del fondo
- n_1 = factor de corrección para implementar el efecto de las irregularidades superficiales
- n_2 = un valor que añade las variaciones de forma y tamaño de la sección del cauce
- n_3 = un valor que implementa el efecto de obstrucciones
- n_4 = un valor que incorpora el efecto de presencia de vegetación
- m = un factor corrector que implementa la sinuosidad del cauce

Así, con este método, partiendo de un canal teórico recto, uniforme y liso de un material dado al cual le corresponde un valor de coeficiente de rugosidad de Manning determinado, a éste se le van añadiendo valores que representan la presencia de elementos y características que condicionan el paso del flujo.

Es esperable y entendible entonces que el coeficiente de Manning varíe de una superficie natural a una artificial como son las colchonetas, y es ahí donde se deben tomar las mayores precauciones, sobre todo por el comportamiento de las aguas sobre el terreno natural aguas abajo de la obra.

En muchas oportunidades, las colchonetas se integran con una sección de gaviones, tanto aguas arriba como aguas abajo del cruce con el ducto, para generar una sedimentación e incrementar los niveles de tapada en el área del cruce.

3.3.2.2 Enrocado de protección de fondo

Los enrocados comprenden una estructura que está dispuesta sobre el lecho de la quebrada o río. Este tipo de obras presenta las siguientes características generales:

- a. Debe considerar bloques de roca de importantes tamaños o diámetros para controlar el efecto de socavación que se puede generar sobre el cruce subfluvial.
- b. Los bloques deben estar debidamente dispuestos, con una traba o trabazón que permita actuar a todo el enrocado como una estructura homogénea. Dicha traba debe asegurarse con un adecuado uso de maquinaria.
- c. En la zona de aguas abajo, se debe construir un adecuado diente terminal o lecho amortiguador que permita la transición entre el cuerpo del enrocado y el nivel del lecho natural del río. La pérdida de dicho diente terminal generaría el desacomodamiento de todos los bloques del enrocado.
- d. Dependiendo del nivel de socavación esperado para el cruce subfluvial, se deben considerar varias capas del enrocado.
- e. El enrocado es una estructura de fácil mantenimiento, ya sea por abrasión, erosión o pérdida de algunos bloques.



Figura 3.44: Obra de enrocado de protección de fondo –
Pisco, Perú

Fuente: IPG Conference 2017

3.3.2.3 Check Dams

Los check dams son barreras construidas en roca, gaviones, bolsacretos, etc., dispuestas en forma transversal a terraplenes o excavaciones de drenaje, que generan pequeñas piletas donde el agua reduce su velocidad. Reducen la velocidad de las aguas generando un efecto similar al que tendría si se le pudiese disminuir la pendiente del cauce, aumentando la sedimentación y reduciendo la erosión. Esto es particularmente importante cuando un ducto atraviesa estos accidentes geográficos, sobre todo en líneas antiguas en donde la tapada del ducto se entienda fue disminuyendo a través de los años.

Este tipo de obras presenta las siguientes características generales:

- a. Es más efectiva si se aplica en series, es decir, check dams paralelos al eje del ducto y en toda la sección transversal del cruce subfluvial.
- b. Promueve la sedimentación detrás de los elementos transversales.
- c. Previene la erosión reduciendo la velocidad del canal en secciones pequeñas e intermitentes.
- d. Requiere inspecciones o mantenimiento luego de escorrentías grandes.



Figura 3.45: Ejemplo de check dam

Fuente: <https://www.researchgate.net/>

3.3.2.4 Mantas flexibles con dados de hormigón

En aquellos lugares en donde no se puede conseguir piedra u otros materiales en las cercanías de la obra, esta solución provee una alternativa válida para el control de erosión en lechos y márgenes de los cruces de cursos de agua.

Consiste en un geotextil tejido de polipropileno, bloques de hormigón y un sistema de fijación entre ambos, normalmente representado por rulos tejidos dentro del mismo geotextil o pines (clavos) de plástico que fijan los bloques a la manta. Las mantas contiguas son unidas con costuras y fijadas al lecho con anclajes perimetrales. En el contacto manta-suelo, se coloca un geotextil no tejido a manera de filtro.

Este tipo de obras presenta las siguientes características generales:

- e. Presentan peso y flexibilidad, dos propiedades importantes para proteger lecho y márgenes de ríos.
- f. Pueden ser transportadas al lugar, prefabricadas o coladas in-situ con moldes o encofrados en obra.
- g. En el caso de ser prefabricadas, su colocación en obra es rápida, acortando los tiempos de obra.
- h. El espacio entre bloques se rellena con sedimentos y también puede ser revegetado.
- i. Aumentando la altura del bloque de hormigón, se puede resistir a mayores velocidades.



Figura 3.46: Ejemplo de manta flexible con dados de hormigón en el río Yatasto, Salta, Argentina

Fuente: TGN


3.3 OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

3.4.1 Muros de cimentación profunda

En los DDV de ductos de transporte de hidrocarburos es común la utilización de pilotes hincados para la estabilización de deslizamientos activos. El efecto directo es la profundización de la superficie crítica de falla.

Este método es apropiado para deslizamientos poco profundos y suelos que no fluyan entre los pilotes. Los deslizamientos profundos generalmente producen fuerzas laterales muy grandes, y necesitan ser abordados con estudios específicos de mecánica de suelos (EMS) para el análisis y diseño de ingeniería que garanticen la estabilidad geotécnica de los DDV, y el aseguramiento físico de los ductos.

Los pilotes deben enterrarse en suelo firme y competente para evitar su extracción o inclinación. Es común la utilización de estructuras tipo arriostre (elementos horizontales), uniendo las cabezas de los pilotes para mejorar su rigidez y comportamiento estructural.



Las pilas o pilotes actúan de forma pasiva y se requieren movimientos horizontales sobre ellos para que actúen las fuerzas de contención. La resistencia o capacidad de un pilote y su efecto de factor de seguridad dependen de la profundidad a la cual se encuentra hincado el pilote por debajo de la superficie de falla.

En el análisis de estabilidad global por métodos de equilibrio límite, el factor de seguridad no se modifica por la profundidad a la que se encuentre el elemento, sino por el número de elementos presentes en la misma sección transversal que atraviese la superficie de falla.

En el análisis de cada elemento, la resistencia a cargas laterales es similar a los análisis que se desarrollan para tablestacas (trabajan en voladizo, aunque el área aferente es menor), y a la capacidad del suelo circundante para que los esfuerzos de contacto no sean mayores, y por ende, se produzca la falla del suelo por el empuje que produce el pilote (en su empotramiento).

En los pilotes y pilas pre-excavadas, al excavar se reducen las presiones geo-estáticas horizontales y éstas no se recuperan nuevamente hasta después de varios años.

Las principales consideraciones en la utilización de pilotes para la estabilización de taludes de DDV son cuando:

- Los estratos inmediatos al DDV generan asentamientos imprevistos e inestabilidades localizadas.
- El terreno donde se emplaza el DDV está sometido a grandes variaciones estratigráficas, como es el caso de zonas de brecha geológica que ocasionan inestabilidades en su estructura.
- El DDV está situado sobre aguas sub-superficiales o con el nivel freático muy cerca del nivel de la superficie, generando inestabilidades en los taludes que la conforman.
- Las estructuras de los DDV están sometidas a esfuerzos de tracción.
- Se necesita resistir cargas inclinadas para el confinamiento de los ductos, con grandes volúmenes de material de relleno.

En la cimentación por pilotaje deben observarse los siguientes factores de incidencia:

- El rozamiento y adherencia entre suelo y cuerpo del pilote, la resistencia por punta en caso de transmitir cargas verticales.
- Para hincar el pilote siempre se busca el apoyo sobre una capa resistente que soporte las cargas transmitidas. Frecuentemente el estrato firme está a mucha profundidad, por lo tanto, el rozamiento lateral puede ser de importancia según el caso.
- Con un terreno de poca resistencia en superficie y fuertes cargas, el rozamiento lateral será despreciable cuanto más débiles sean las capas del terreno atravesadas, por ello conviene emplear este sistema.

A continuación, se presentan unas figuras ilustrativas de la disposición de las cimentaciones profundas:

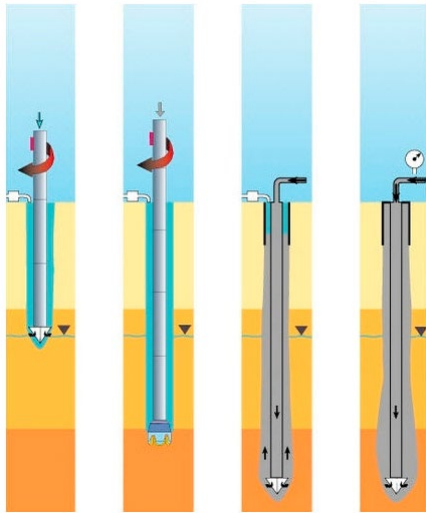


Figura 3.47: Cimentaciones – procesos.

Fuente: edic.com

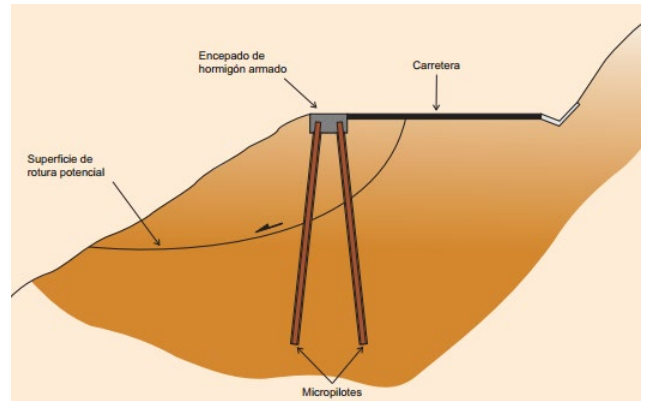


Figura 3.48: Micropilotes en estabilización de talud.

Fuente: edic.com

Como se ve en la figura anterior, las cimentaciones profundas aportan una solución muy efectiva a la hora de estabilizar la cuña de falla de un talud determinado.

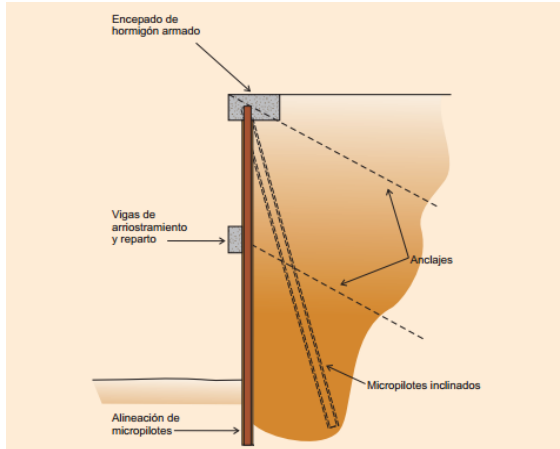


Figura 3.49: Micropilotes en estabilización de muros verticales.

Fuente: edic.com



Figura 3.50: Pilotaje como contención lateral.

Fuente: perforacionesjocal.com

La cimentación mediante pilotes perforados in-situ constituye una de las formas de las cimentaciones profundas.

3.4.2 Muro de gaviones

El caso de aplicación de los muros de gaviones es especial, ya que además de utilizarse como obra de protección de márgenes en ríos, también son estructuras de contención comúnmente utilizadas para la estabilización del DDV. Se componen de mallas de alambre galvanizado tipo cajón, que se rellenan de distintos tipos de material. Por sus características son simples de construir, incluso sobre fundaciones débiles con límite en la altura. Su estructura es flexible, y pueden tolerar asentamientos diferenciales mayores a los muros convencionales.

Existe una gran cantidad de tamaños de malla disponibles para la conformación de los muros. Generalmente, se utilizan cajas de 2mx1mx1m. La forma básica es trapezoidal y el principal problema que pueden presentar las mallas es la corrosión en suelos ácidos ($\text{pH} < 6$).

Los muros en gaviones son estructuras de gravedad y su diseño sigue la práctica estándar de la ingeniería civil. Debe tenerse en cuenta, de manera muy especial, el amarre entre unidades de gaviones para evitar el movimiento de elementos aislados y poder garantizar una estructura monolítica.

Por sus características, el muro de gavión puede flexionarse sin necesidad de que ocurra su volcamiento o deslizamiento y es común encontrar deflexiones hasta el 20% de la altura.

A continuación, se presentan algunas consideraciones importantes al momento de utilizar gaviones como muros de contención:

- Que en el diseño se incluya un esquema de la forma como se amarran las unidades entre sí, para facilitar su construcción en forma adecuada. El tamaño máximo de los cantos debe ser superior a dos veces el ancho máximo de la abertura de la malla.
- En los planos de construcción es necesario el esquema de cada uno de los niveles del muro gavión para facilitar su construcción de acuerdo con el diseño, además del despiece de las unidades de gavión por nivel, y el traslape entre unidades para darle rigidez al muro.
- En el contacto entre el suelo y el gavión se recomienda colocar un geotextil no tejido como elemento de filtro, y en la cimentación del muro se recomienda construir un dren colector para recoger el agua recolectada por el muro.
- Las canastas de gavión se colocan unas sobre otras, tratando de traslapar lo mejor posible las unidades de gavión para darle la rigidez requerida al muro. Para muros muy anchos con secciones superiores a cuatro metros, se puede realizar cierta economía adoptando una forma celular de construcción, lo cual equivale a eliminar algunas de las cajas interiores donde los espacios se rellenan con roca sin la colocación de canastas de malla.
- El tamaño y la forma de estas celdas debe diseñarse de tal forma que no se debilite la estabilidad interna general del muro. En ocasiones, los muros de gaviones contienen una serie de contrafuertes que los hace trabajar como estructuras ancladas al suelo detrás del muro.



Figura 3.51: Contención lateral con muro de gaviones.

Fuente: Wall Solutions

Son muy útiles para contener suelos que contengan un ducto evitando así su desmoronamiento, el cual causaría daños asociados a la línea de alto impacto ecológico y del negocio.

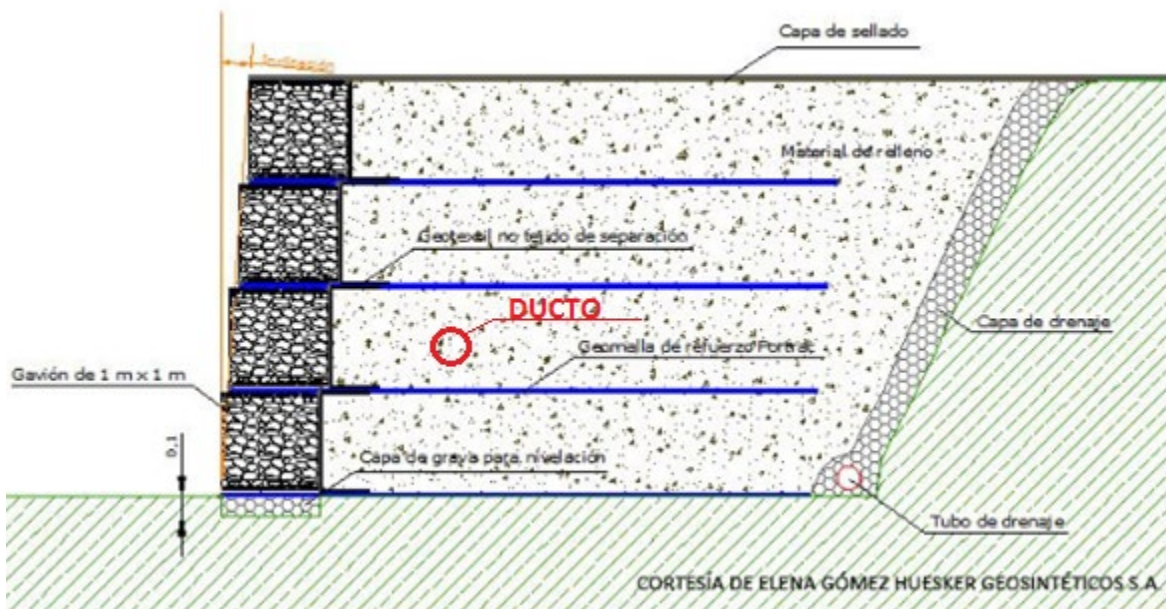


Figura 3.52: Contención lateral con muro de gaviones en protección de ductos.

Fuente: Geosintéticos S.A.

3.4.3 Muro de contención en suelo reforzado

Todo suelo en estado confinado resiste apropiadamente esfuerzos de compresión, pero no así de tracción. Esta última puede ser incrementada mediante la incorporación de algún material de refuerzo que interactúe con el mismo.

Los materiales geosintéticos normalmente utilizados como refuerzo de suelos son los geotextiles, que interactúan por fricción con el suelo, y las geogrillas que lo hacen por intertrabado. En esas condiciones, la deformación del refuerzo y la del suelo será la misma. El concepto de deformación compatible es fundamental.

Si bien, el concreto es uno de los materiales implementados por excelencia al momento de consolidar un proyecto de construcción, los muros de contención en suelo reforzado son una opción viable.

Comenzando por lo básico, un muro de contención es una estructura mediante la cual se retiene un terreno. Esta se compone de materiales térreos, a los cuales se les involucra un elemento de refuerzo. Complementariamente se coloca un elemento de refuerzo que conserve la tracción apropiada para soportar los esfuerzos de corte, los cuales pueden ser:

- Extensibles: se reconocen los geosintéticos y las tiras poliméricas. Estas últimas están hechas, generalmente, con poliéster recubierto con polietileno.
- Inextensibles: aquí tienen cabida aquellos con configuración metálica, tales como los flejes o las mallas de acero.

Las ventajas de los suelos reforzados son:

- Factor económico: para muros de alturas superiores a los 3 metros, las estructuras de contención en suelo reforzado son más económicas.
- Facilidad en términos de instalación y proceso constructivo: es apto utilizar equipo de movimiento de tierras, además de suelo clasificado del lugar, reduciendo la posibilidad de incurrir en gastos adicionales.
- Menor ocupación de áreas (reducción del DDV) y menor volumen de suelo de construcción, logrando conformar taludes con pendientes altas o completamente verticales.
- Durabilidad: el muro de concreto tiene una durabilidad de algo más de 50 años (según lo conocido hasta el momento). Sumado a esto, este material se degenera progresivamente, perdiendo sus propiedades de flexión. Los muros de contención de suelo reforzado están asociados, principalmente, a la durabilidad estimada del polímero pudiendo tener entre 75 y 120 años manteniendo su condición de servicio.

En esencia, un muro de suelo reforzado es un macizo de suelo fortificado con geosintéticos de manera tal que es capaz de ser estable por encima de su talud natural, y soportar las solicitaciones de servicio para las que se ha diseñado.

Actualmente, el refuerzo más empleado son las geomallas, aunque en alguna aplicación especial se pueden emplear geotextiles tejidos. Esto es así porque las geomallas, por su disposición en retícula, permiten la imbricación de la capa superior e inferior de terreno, además de tener un valor más alto de rozamiento con el terreno y ser más permeables, características todas ellas bienvenidas para esta aplicación.

El muro se forma mediante tongadas de tierra compactada, confinadas por capas de geomallas de alto módulo y baja fluencia, dispuestas en horizontal.

3.4.4 Terrazas estabilizadoras

Las terrazas estabilizadoras se caracterizan por ser una estructura que permite mejorar y controlar la estabilidad de una ladera o DDV de cualquier pendiente. Son de fácil instalación y permiten el uso de materiales de fácil adquisición, como la madera.

Desde el punto de vista constructivo, se deben considerar aspectos importantes, tales como:

- La instalación debe hacerse de forma transversal al DDV.
- La separación de los puntales (elementos verticales) debe considerar profundidades superiores a 1,0 m.
- Los travesaños (elementos horizontales) deben instalarse sobre la parte interna de la estructura.
- Sobre la parte interna de la terraza estabilizadora se debe realizar un adecuado perfilado y compactación del material que permita generar la terraza.
- En algunos casos y dependiendo de los diseños correspondientes, se pueden instalar canales o cortacorrientes entre las terrazas que permitan una adecuada y rápida evacuación de las aguas superficiales.

En algunos casos, este tipo de construcciones de mitigación puede encuadrarse en lo que llamamos “obras de bioingeniería”, debido a que no es otra cosa que utilizar la vegetación y el suelo circundante para estabilizar taludes y controlar su erosión. En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos de terrazas estabilizadoras.



Figura 3.53: Contención de ladera

Fuente: praming.com.co



Figura 3.54: Bioestabilización con aterrazamiento.

Fuente: Praming Biomecnica

Para evitar riesgos y costos se sugiere que el manejo de taludes se realice de forma permanente mediante la utilización de prácticas vegetativas, utilizando plantas de crecimiento rápido, con complementos de materia orgánica y fertilizantes para acelerar aún más el crecimiento.



Figura 3.55: Bioestabilización con aterrazamiento.

Fuente: Proyecto Cuenca Río Las Ceibas

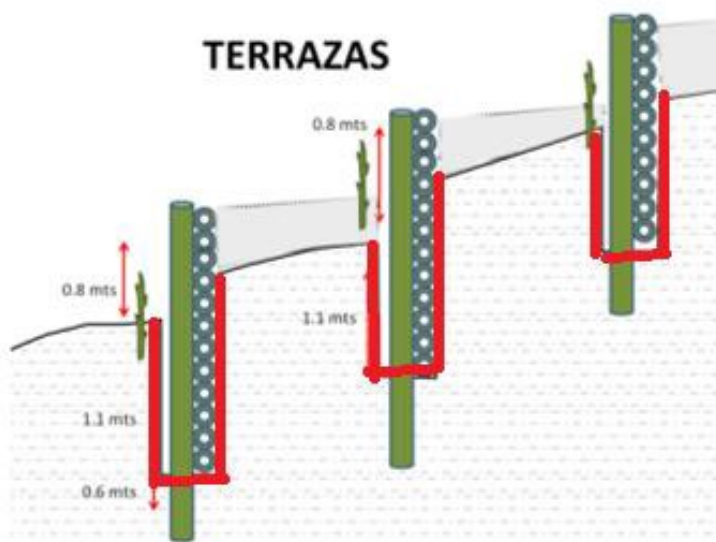


Figura 3.56: Profundidad recomendada de postes verticales

Fuente: Universidad Católica de Colombia.

Es muy importante tener en cuenta que, si bien se utilizan recursos naturales, la construcción de trinchos y terrazas estabilizadoras no deja de ser una obra de ingeniería que requiere: i) cálculo estricto de ingeniería y ii) planificación de un mantenimiento adecuado.

3.4.5 Perfilado de talud

Consiste en las operaciones necesarias para conseguir el acabado geométrico de los taludes de terraplenes y capa de coronación de pedraplenes, así como de los taludes de desmonte. El objetivo principal es la estabilización del talud o ladera, buscando que el mismo se encuentre en equilibrio sin tener la necesidad de colocar algún sistema de estabilización. Usualmente, la obra de perfilado de taludes se realiza con posterioridad a la construcción de drenes.

Los perfilados de taludes que se efectúen para armonizar con el paisaje circundante deben hacerse con una transición gradual, cuidando especialmente las transiciones entre taludes de distinta inclinación. En las intersecciones de desmonte y rellenos, los taludes se alabearán para unirse entre sí y con la superficie natural del terreno, sin originar una discontinuidad visible.

A excepción de la roca que, dependiendo de la condición cinemática por el efecto de las discontinuidades, foliación, o fracturamiento, puede permitir un perfilado a 90°, el resto de los suelos tiene un ángulo de fricción interna que no permite esta situación, y se debe hallar el punto de equilibrio cuando no es viable, o bien, no se pueda, hacer una obra de estabilización complementaria.

Los pies y coronamientos de taludes de terraplenes perfilados deben ser suaves y acordes a la superficie del terreno, sin grandes contrastes.

Para ayudar a la estabilidad del talud, en ocasiones es pertinente realizar una canaleta de contención y derivación de aguas en su coronamiento para evitar que, más allá de la lluvia que pueda caer en su superficie, se evite el escurrimiento por sobre ella de agua proveniente de otras áreas. Este concepto debe relacionarse con la obra de manejo del drenaje superficial que corresponda.



Figura 3.57: Ejemplo de perfilado de un talud

Fuente: <https://www.youtube.com/>

3.4.6 Revegetación

La técnica de revegetación consiste en utilizar plantas vivas como materiales constructivos, generalmente en conjunto con otros materiales inertes. Basándose en las características especiales que se encuentran en algunas especies, se pueden destacar las siguientes propiedades a ser tenidas en cuenta en la selección:

- Resistencia mecánica de las raíces.
- Resistencia a la tracción y al arrancamiento.
- Flexibilidad y resistencia de las partes aéreas.
- Mejora de las características hidráulicas del terreno.

Las obras de vegetación o bioingeniería permiten controlar eficazmente los problemas técnicos, tales como: riesgos de deslizamiento de ladera; control de riesgos de inundabilidad; minimización de la pérdida de suelos fértiles y control de la erosión, etc.

La revegetación se utiliza principalmente en:

- Sostenimiento de laderas.
- Drenaje y control de erosión.
- Obras en ríos.
- Protección de estribos de puentes.
- Rellenos sanitarios e industriales.
- Estabilización de caminos

Por otro lado, la revegetación puede ser complementada por geomallas especialmente diseñadas para retener las semillas esparcidas y generar un entramado en la superficie que ayude a la estabilidad del talud. En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos de geomallas de refuerzo, taludes revestidos con materiales complementarios y revegetación.

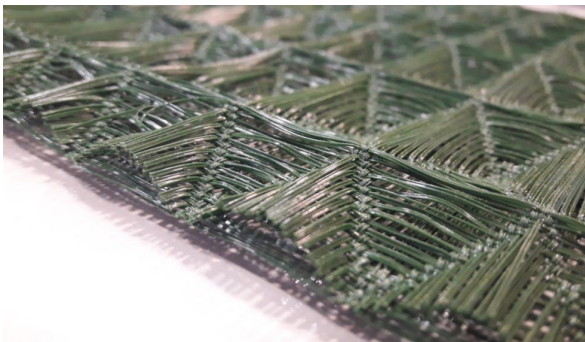


Figura 3.58: Geomalla para sembrado

Fuente: YPF



Figura 3.59: Aterrazamiento con geomembranas sembrables

Fuente: Coripa



Figura 3.60: Ejemplo de talud revegetado

Fuente: <http://www.coripa.com.ar/>

3.4.7 Geoceldas

Las geoceldas son un conjunto o sistema de celdas, constituidas en forma tridimensional que permiten homogenizar y obtener un adecuado nivel de compactación, perfilado, estabilidad, drenaje y facilidad para la revegetación del área a intervenir. Asimismo, esta técnica se caracteriza por la practicidad debido al uso de materiales del mismo sitio donde se instalará, tales como: i) relleno vegetal, ii) relleno granular o iii) relleno con hormigón.

Es importante mencionar que las geoceldas se deben complementar con un sistema de anclajes y una capa de geotextil sobre la ladera de manera de evitar el filtrado de finos. A continuación, se presentan algunos ejemplos referenciales del uso de geoceldas.

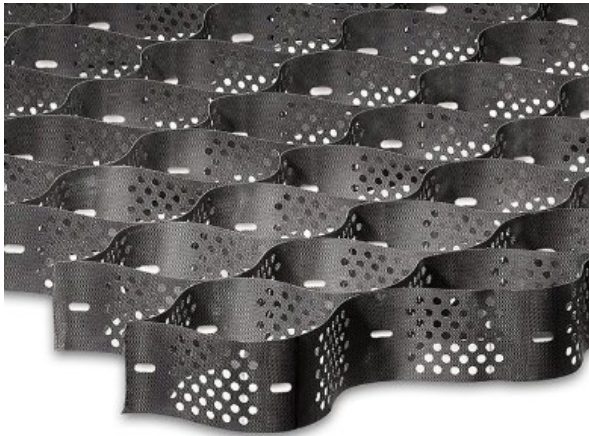


Figura 3.61: Geoceldas

Fuente YPF



Figura 3.62: Geoceldas en estabilización de taludes.

Fuente: geotexan.com

3.4.8 Entibamientos

Los entibamientos son estructuras de contención que se utilizan de forma provisoria, sin presencia de agua. Se construyen con tablonces de madera o con elementos metálicos. Asimismo, son utilizados en función de la profundidad de la excavación y del tipo de suelo presente en la zona de trabajo. Utilizando la teoría de Rankine, se puede calcular la altura crítica (se considera la anulación del empuje activo del terreno) para determinar el uso de este tipo de contenciones.

En la práctica, se tienen dos tipos de entibamientos. A continuación, se presenta una breve descripción:

- Tipo 1: con tablas horizontales: se utilizan en terrenos cohesivos, que posean estabilidad propia al excavar. Es normal alternar la excavación cada 0,80-1,30 m con la propia entibación. La entibación se realiza apuntalando de lado a lado de las tablas, con un codal o rollizo, hasta alcanzar la profundidad total.
- Tipo 2: con tablas verticales: se emplean normalmente en terrenos sin cohesión, como arenas sueltas. Las tablas verticales, se hincan en una maza antes de excavar. A medida que se completa la hinca, se coloca la primera correa o cabecero en cabeza de zanja y se apuntala de lado a lado. La profundidad deseada se alcanza en etapas sucesivas.

En el tendido de líneas de ductos, los entibamientos no son siempre la mejor opción, ya que los sostenes horizontales dificultan la colocación de las cañerías. No obstante, son utilizados cuando el tipo de suelo y la profundidad no dejan otra alternativa. En las siguientes figuras se presentan algunos ejemplos de entibamientos.



Figura 3.63: Entibamientos metálicos

Fuente: http://www.ischebeck.es/assets/images/entibacion/Paneles%20Gi-P_01.jpg

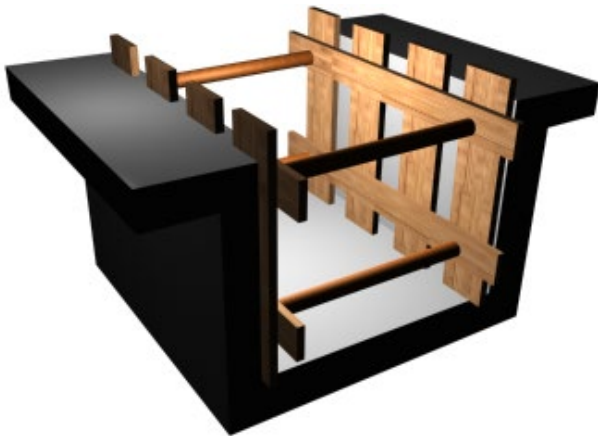


Figura 3.64: Entibamiento en madera.

Fuente: <http://www.construmatica.com/>



Figura 3.65: Ejemplo de entibamiento a gran escala

Fuente: <http://procedimientosconstruccion.blogspot.com/2013/10/muro-de-contencion-berlines-59836-2229057.jpg>

3.5 OBRAS EN LÍNEAS SUBMARINAS

La instalación de ductos para el transporte de fluidos por tierra se remonta a la antigüedad, no obstante, la construcción de ductos submarinos es un desarrollo más reciente que se remonta a la segunda mitad del siglo XX. La línea de combustible instalada a través del Canal de la Mancha, en el año 1944 para abastecer a las tropas aliadas durante el desembarco de Normandía, se cita como el primer ejemplo de construcción.

3.5.1 Factores físicos previos a la construcción

El principal factor físico para considerar en la construcción de un ducto submarino es la topografía del lecho marino, el cual se puede encontrar relativamente plano o irregular. Si no es uniforme, el ducto incluirá espacios libres cuando conecta dos puntos altos, dejando la sección intermedia sin soporte. Si la sección es larga, la tensión de flexión ejercida por su propio peso puede ser excesiva. Las medidas correctivas para los tramos de ducto sin soporte incluyen la nivelación del lecho marino y el soporte posterior a la instalación, como relleno de bermas o arena debajo del ducto.

La consistencia del lecho marino es otro parámetro significativo. Si el suelo no es lo suficientemente fuerte, el ducto puede hundirse en una zona en que la inspección y los procedimientos de mantenimiento son difíciles de llevar a cabo. En el otro extremo, un fondo marino rocoso es costoso para zanjear y en puntos altos, puede ocurrir abrasión y daños en el recubrimiento externo del ducto. Idealmente, el suelo debe permitir que el ducto se disponga o asiente de manera uniforme sobre su perfil del lecho hasta cierto punto, lo que le proporciona cierta estabilidad lateral, pero teniendo presente el fenómeno de free span.



Figura 3.66: Fenómeno de Free Span

Fuente: <http://www.jylpipeline.com>



Otros factores físicos para tener en cuenta son:

- a. Deslizamientos submarinos: son el resultado de altas tasas de sedimentación y ocurren en pendientes más pronunciadas. Pueden ser desencadenados por fenómenos como fuertes temblores o terremotos. Cuando el suelo alrededor del ducto está sujeto a un deslizamiento, éste puede sufrir una flexión severa y la consiguiente falla de tensión.
- b. Movilidad del fondo del mar: las ondas de arena son características del movimiento del fondo del mar, de modo que un ducto soportado por la cresta de una onda de arena durante su instalación puede encontrarse en un canal durante su vida operativa. La evolución de estas características es difícil de predecir, por lo que es preferible evitar las áreas donde se sabe que existen.
- c. Corrientes marinas: las grandes corrientes dificultan las operaciones del tendido de ductos. En aguas poco profundas, las corrientes de marea pueden ser bastante fuertes y bajo estas circunstancias, puede ser preferible llevar el ducto por otro trazado, incluso si esta ruta alternativa termina siendo más larga.
- d. Oleaje: en aguas poco profundas, las olas también pueden ser problemáticas para las operaciones de tendido de ductos y para su estabilidad, debido a la acción de fregado del agua. Esta es una de las razones por las cuales los aterrizajes, que es donde el ducto llega a la costa, son áreas particularmente delicadas para planificar.
- e. Problemas relacionados con el hielo: en aguas heladas, el hielo flotante a menudo se desplaza hacia aguas menos profundas, entrando en contacto con el fondo marino. A medida que continúan a la deriva, perforan el lecho marino y pueden golpear el ducto, dañando su estructura.

3.5.2 Problemas geotécnicos y métodos de investigación

Los problemas geotécnicos asociados a las instalaciones de ductos submarinos son variados y está relacionados principalmente con:

- i. La sección de trazado (por perfil topográfico y geotécnico, obstáculos u otros)
- ii. El tipo de instalación
- iii. La flotabilidad, falla del cojinete y deslizamientos transversales
- iv. Riesgos geotécnicos (por sismos, licuefacción u otros)
- v. Deformaciones del ducto
- vi. Efectos térmicos (por conductividad térmica)
- vii. Efectos dinámicos (por fuerzas del suelo)

A continuación, se presentan algunas consideraciones técnicas referenciales para aplicar al momento de analizar la instalación de una línea de ducto submarino:

- a. Las posibles irregularidades geomorfológicas deben examinarse al decidir la alineación de una tubería. Algunas de estas irregularidades pueden ser: formaciones rocosas; afloramientos; cambios de pendiente; y la presencia de obstáculos de origen artificial, como otras tuberías.
- b. Investigar y trazar en un mapa geotécnico el riesgo de inestabilidades naturales del lecho marino (erosión, arenas movedizas, áreas con mayor riesgo de licuefacción, áreas cercanas a laderas potencialmente inestables, etc.), con la finalidad de seleccionar la alineación más segura.
- c. Varias investigaciones geotécnicas específicas serán requeridas para estudiar la instalación de la tubería (operaciones de dragado, instalación de anclas, instalación de material para proteger la instalación, etc.).
- d. Es importante determinar la resistencia del suelo para analizar la estabilidad de la tubería contra sus diferentes modos de falla: falla del cojinete, flotabilidad y desplazamiento transversal.
- e. Una vez que se ha definido una alineación particular, será necesario especificar el grado de seguridad contra los riesgos geotécnicos naturales mencionados anteriormente.

- f. El análisis estructural de la instalación requerirá conocer la reacción del suelo a las cargas aplicadas, y los problemas de interacción suelo-estructura.
- g. El estudio de los efectos térmicos que pueden condicionar el diseño estructural de este tipo de obras, requiere un conocimiento previo de cómo las temperaturas naturales varían en el lecho marino a lo largo de la alineación de la tubería.
- h. Las acciones externas en estas redes como, por ejemplo; acción de las olas en áreas costeras, corrientes marinas, etc., son de naturaleza dinámica. Las cargas alternas pueden conducir a un aumento en las presiones del agua intersticial en el suelo, cuyo comportamiento dinámico debe estudiarse cuando los suelos del fondo del mar son particularmente sensibles a estos efectos.
- i. La investigación geotécnica debe extenderse a lo largo del curso del ducto, con mayor intensidad en áreas singulares, como, por ejemplo; áreas de heterogeneidad, áreas con un cambio en la pendiente, donde la alineación presenta un desvío, etc.

3.5.3 Tipos de instalación de ductos submarinos

Los ductos de líneas submarinas se pueden instalar mediante 2 tipos:

1. Instalación enterrada en lecho marino o zanja
2. Instalación mediante montaje en superficie -lecho marino-

Es importante mencionar que para ambos casos debe evitarse fundamentalmente la flotación. Para ello, se colocan anclajes adecuados cuando la instalación esté sobre el lecho, o se entierra lo suficiente de manera que el peso del suelo no permita su movimiento vertical. En la siguiente figura se puede observar la disposición de un ducto con sus respectivos contrapesos al momento de iniciar su instalación (al nivel del mar).



Figura 3.67: Contrapesos

Fuente: Pipelife Norge AS

3.5.3.1 Instalación enterrada

Una instalación enterrada, o de tipo zanja, puede realizarse con un dragado previo o mediante procedimientos especiales de excavación, como chorro de agua, fluidización del suelo, auto-enterrado, etc. Estas instalaciones deben tener la profundidad suficiente para que el ducto quede ubicado por debajo de la profundidad máxima a la que podría verse afectado por movimientos naturales de sedimentos, como resultado de corrientes, acción de las olas o cualquier otra causa.

Las trincheras necesitarán dragado o excavación previa. Esta etapa de las obras debe ser investigada y analizada para que las pendientes de excavación estables puedan definirse durante la construcción basada en el tipo de terreno a través del cual pasa el ducto.

El llenado posterior debe protegerse contra la posible erosión causada por corrientes o la acción del oleaje. Los materiales de relleno de la parte superior del ducto, combinados con los contrapesos de hormigón, proporcionan el peso que compensa la elevación debida a la flotabilidad, preferible con un coeficiente de seguridad no inferior a 2. Se debe tener en cuenta que el peso específico del suelo disminuye cuando está sumergido en agua. En la siguiente figura se presenta un esquema referencial de la instalación de un ducto mediante una trinchera en el lecho marino.

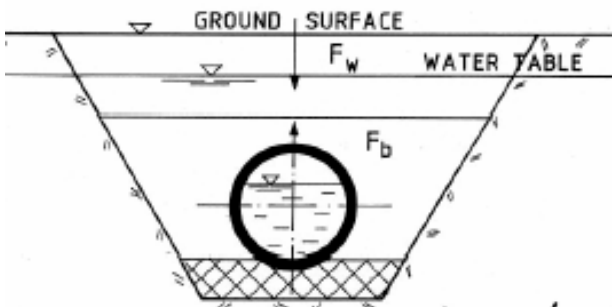


Figura 3.68: Sección de ducto enterrado

Fuente: Pipelife Norge AS

3.5.3.1 Ductos montados en superficies –lecho marino-

Para el caso de los ductos instalados en el lecho marino, es necesario investigar las fuerzas de arrastre que se deben considerar en los cálculos de diseño, a partir de las corrientes y la acción de olas, así como cualquier otro agente externo que pudiera afectar.

Los soportes del ducto deben ser capaces de recibir las cargas externas junto con el propio peso del ducto y transmitir las al lecho marino. Las cargas se pueden transferir al suelo mediante cimientos superficiales o profundos. En cualquier caso, se deben considerar posibles desplazamientos y movimientos en el lecho marino. Las cargas de los cimientos deben transmitirse a un nivel del suelo lo suficientemente profundo como para no verse afectado por estos movimientos.

Las fundaciones ancladas generalmente tienen más ventajas, principalmente en fondos marinos formados por suelos blandos, o donde se espera una erosión considerable. A continuación, se presentan algunas figuras de ductos instalados en lecho marino.

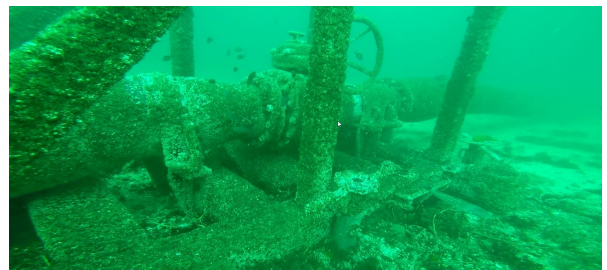


Figura 3.69: Ejemplo de línea submarina en Chile

Fuente: ENAP

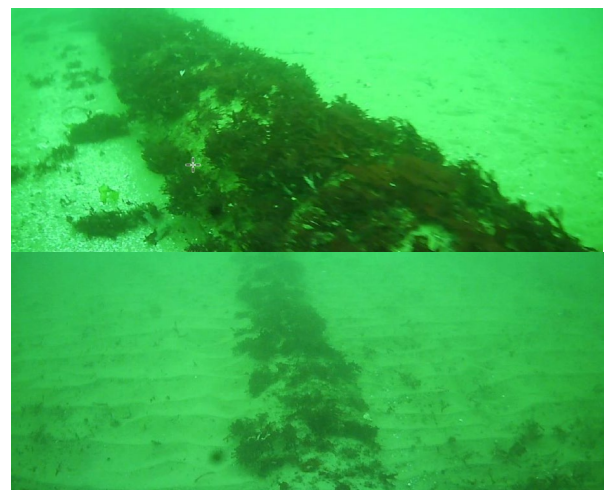


Figura 3.70: Ejemplo de línea submarina en Chile

Fuente: ENAP

3.5 OBRAS ESPECIALES

En algunos casos, para mantener la integridad de los ductos y la estabilidad de los DDV, se consideran soluciones particulares de grandes magnitudes que requieren un desarrollo de análisis e ingeniería específico con definiciones técnicas. Los principales motivos para solicitar y ejecutar este tipo de obras especiales son: i) cruces de ríos con importantes complejidades por caudal o topografía, ii) presencia de deslizamientos o movimientos de terrenos de grandes áreas, iii) necesidad de integrar soluciones a largo plazo, iv) cruce de sistemas montañosos muy accidentados o de relieve complejo, entre otros.

3.6.1 Cruces aéreos–puentes

Dependiendo de la condición geográfica y la legislación, se pueden presentar casos en los que la solución comprenda la construcción de puentes colgantes, fijos o integrados con alguna vía. A continuación, se presenta un ejemplo referencial de este tipo de soluciones.



Figura 3.71: Ejemplo de cruce aéreo en ducto. Río Quinidé, Ecuador.

Fuente: <https://jornadasaie.org.ar/>

3.6.2 Cruces dirigidos

En algunas oportunidades, el DDV cruza sitios geográficos de relieve complejo o infraestructura existente de grandes áreas, tales como: ríos de caudal importante, grandes autopistas, lagos, entre otros. En dichos casos, una de las soluciones es la Perforación Horizontal Dirigida (HDD, por sus siglas en inglés), que permite cruzar dichas áreas. A continuación se presenta un ejemplo referencial de una HDD.



Figura 3.72: Ejemplo de equipo durante ejecución de una perforación horizontal direccionada

Fuente: <https://www.webconestilo.com/>

3.6.3 Túneles

Una de las soluciones más complejas es la construcción de túneles para la instalación del ducto. Este tipo de obra aplica para cruces de sistemas montañosos complejos o laderas con deslizamientos complejos. A continuación se presenta un ejemplo referencial de un túnel para la instalación de un ducto.

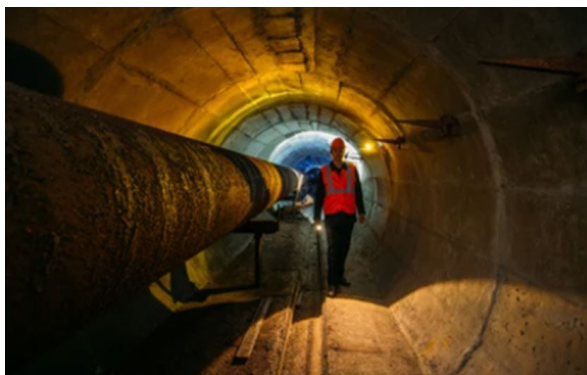


Figura 3.73: Ejemplo de obra de túnel para instalación de ducto

Fuente: <https://www.shutterstock.com/>

3.6.4 Marcos H

Una solución posible para cruzar los ductos en áreas con deslizamientos complejos son los marcos H, que se caracterizan por tener una importante cimentación (normalmente mediante pilotaje profundo) y secciones fijas que conectan la parte superior de dicho pilotaje.



Figura 3.74: Ejemplo de marcos H

Fuente: <https://definicionesyconceptos.com/>

3.6.5 Cortina de concreto con anclajes profundos

Otro tipo de obra de estabilización especial son las cortinas de concreto con anclajes profundos, con las cuales se puede aumentar la resistencia del suelo y contención del DDV.



Figura 3.75: Talud estabilizado mediante anclajes, cortina de concreto y drenajes sub horizontales

Fuente: OCENSA

4

Diseño del Ducto



4 Diseño del Ducto

El presente capítulo describe aspectos generales a tener en cuenta en el trazado de líneas de transporte de hidrocarburos, considerando la identificación de los principales aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, ambientales y de diferentes tipos de cruces de los ductos con diferentes entornos, a diferentes escalas y así, poder definir las diferentes obras de geotecnia preliminar y definitiva necesarias para garantizar la estabilidad del DDV a lo largo del ciclo de vida de operación del ducto.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS Y CONDICIONES CONSTRUCTIVAS

En el marco general de la definición de un proyecto relacionado con la construcción de una línea de conducción de hidrocarburos, es importante identificar los aspectos que pueden generar algún efecto, positivo o negativo, al momento de realizar los estudios previos, la ingeniería (conceptual, básica y de detalle) y la construcción del proyecto. Por lo anterior, se realiza un análisis de identificación de las dificultades y facilidades constructivas que permiten cuantificar y proyectar los requerimientos de atención al momento de la ejecución de actividades bajo una metodología específica que debe ser definida para cada proyecto.

Los principales aspectos que deben considerarse en la Identificación de la Dificultad Constructiva (conocida en algunos casos como IDC), hacen parte de las diferentes etapas del diseño del proyecto, tales como: prefactibilidad, factibilidad, ingeniería, construcción, entre otras. A continuación, se presenta una referencia de los principales temas asociados con la determinación de la dificultad constructiva:

- a. Análisis de información normativa, localización político-administrativa, descripción fisiográfica de los posibles trazados.
- b. Evaluación de impactos sociales, ambientales, económicos y de incidencia del proyecto con el entorno (cruce con vías, ríos, zonas naturales protegidas, poblaciones, expansión urbana, entre otros).
- c. Identificación de condiciones ideales, aceptables y de dificultad para la construcción, considerando escenarios de logística, suministros, accesibilidad, permisos técnicos, autorizaciones de terceros, entre otros.
- d. Definiciones de escenarios técnicos de condición topográfica, geológica, hidrológica, meteorológica, entre otros, que deben ser realizados mediante estudios técnicos especializados.

4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Una vez que se identifica la necesidad de transportar hidrocarburos desde un lugar de origen a uno de destino, es necesaria la selección de un corredor como primera actividad. La caracterización geológica de dicho corredor tiene como principal objeto evidenciar las adecuadas características geotécnicas de los materiales sobre los que se realizará el trazado, definir sus condiciones de estabilidad identificando estructuras, zonas de falla y la dinámica de los procesos denudativos propios del paisaje en el que se enmarcará.

4.2.1 Unidades básicas

La identificación de unidades geológicas básicas, y su caracterización, permiten evidenciar la génesis de los suelos y unidades superficiales, estructuras heredadas y deducir los potenciales modos de falla y procesos morfodinámicos que se pudiesen presentar sobre el corredor del trazado en estudio.

Si bien la identificación y caracterización de las unidades básicas permite definir el tipo de suelo residual en que podría descomponerse la roca o el tipo de materiales que compondrían depósitos de suelo, es finalmente la caracterización de las unidades superficiales la que gobernará tanto la selección del trazado, como los diseños de obras geotécnicas definitivas.

En la Figura 4.1 se muestra un esquema típico de mapa geológico de unidades básicas, comparado con la topografía que la suprayace.

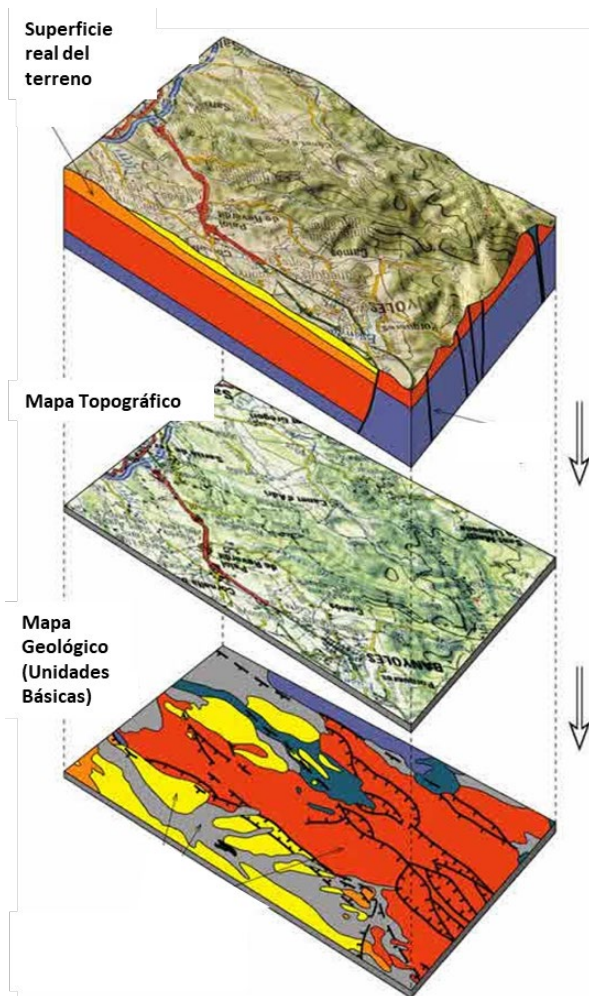


Figura 4.1 Mapa geológico de unidades básicas

Fuente: adaptado del Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya, 2019.

Este tipo de caracterización se realiza predominantemente a partir de mapas geológicos existentes, desarrollados por entes estatales de libre acceso y consulta por parte de grupos sociales interesados. Es usual encontrar este tipo de mapas en escalas 1:1.000.000 y superiores, debido a las áreas que abarcan, por lo que la descripción de unidades litológicas, estructuras y contactos se realiza de manera regional.

En la Figura 4.2 se muestra el mapa de unidades geológicas básicas a escala regional de Sudamérica donde debido a su escala (i.e. > 1:20.000.000), se agrupan las unidades litológicas por períodos geológicos de formación y se muestran únicamente los sistemas de falla principales, como la zona de subducción en el Océano Pacífico debido a la interacción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana.

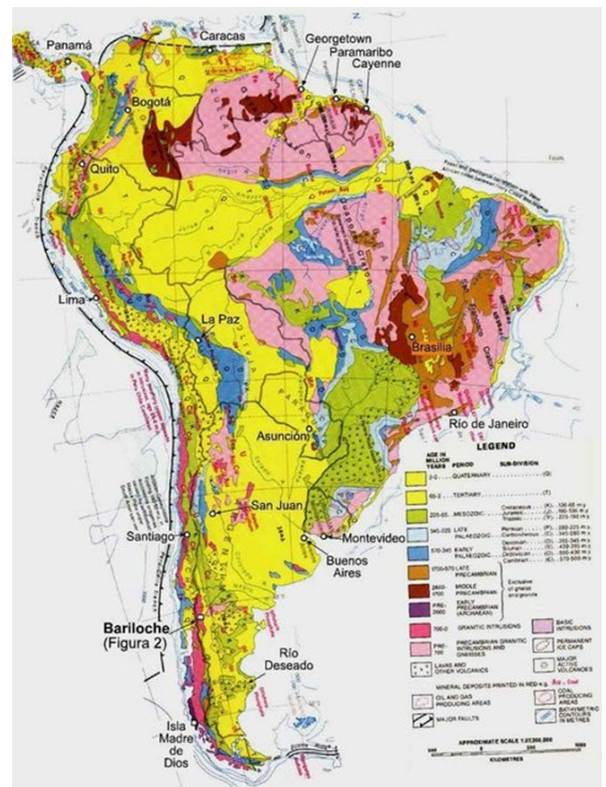


Figura 4.2 Mapa Geológico Regional de Suramérica

Fuente: adaptado de Gifex.com, 2009. Mapa físico e hidrológico de América Latina.

4.2.2 Unidades superficiales

La identificación y descripción de las unidades geológicas superficiales se realiza usualmente en dos etapas, la primera de ellas mediante la caracterización a escala regional donde se incluye una fotointerpretación geológica para la identificación de unidades y estructuras. A partir de esto, se elabora un mapa con Unidades Geológicas regionales y contactos, así como desarrollo de perfiles geológicos en escala recomendada de 1:25.000, donde se identifique el corredor preseleccionado en un buffer o ancho de 1km aproximadamente. Adicionalmente, se realiza la identificación a escala regional de procesos morfodinámicos y tectónica.

Como segunda etapa, se lleva a cabo la caracterización geológica local donde se detalla la información obtenida durante la fase de caracterización geológica regional, identificando unidades, contactos y estructuras geológicas. Se recomienda efectuar a una escala con el nivel de detalle que permita identificar aspectos de interés para cada etapa del diseño del trazado. De igual manera, se debe realizar un levantamiento de procesos morfodinámicos tanto de origen antrópico como natural, con el fin de presentarlos en el mapa geológico; lo anterior, permitirá definir el plan de exploración del subsuelo con el fin de llevar a cabo la zonificación de estabilidad del corredor del trazado, a partir de la definición del modelo geológico-geotécnico.

En la Figura 4.3 se muestra un ejemplo de mapa geológico de unidades superficiales, donde se aprecia el contacto entre dos unidades geológicas diferentes, los procesos morfodinámicos existentes y las curvas de nivel del terreno. Con base en este mapa, es de esperarse que se realicen perforaciones en el subsuelo para la extracción de núcleos y posterior caracterización en laboratorio de cada unidad litológica, teniendo en cuenta las composiciones granulométricas de cada una.

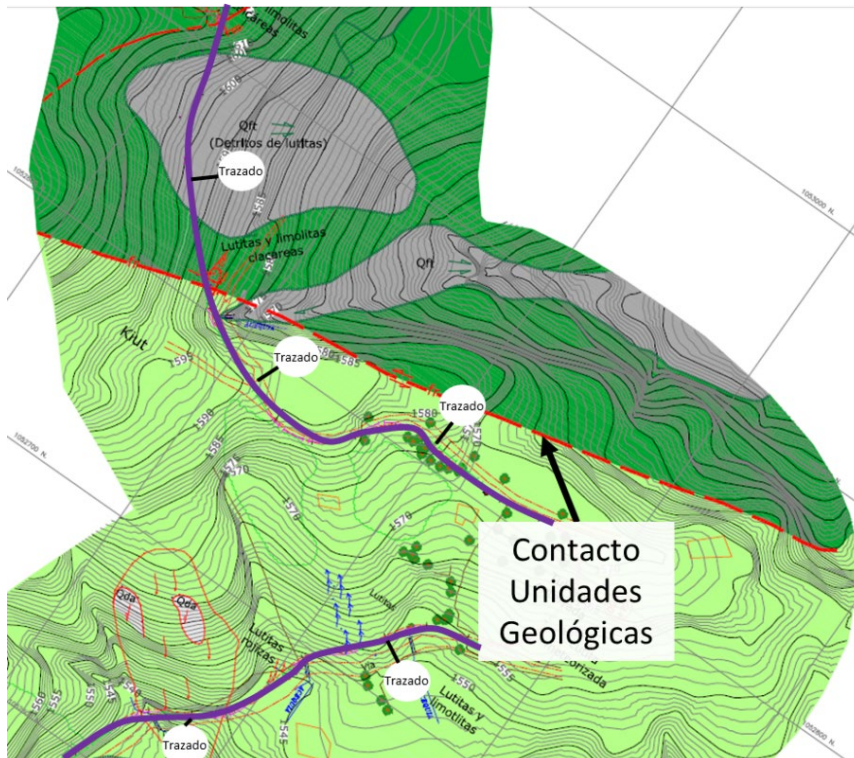


Figura 4.3 Mapa geológico de unidades superficiales

Fuente: C&T 2012.

4.2.3 Fallas geológicas

Debido a la actividad tectónica entre placas que conforman la corteza terrestre, se presenta la acumulación de esfuerzos de compresión, usualmente, en sentido perpendicular a la estratificación. Este tipo de esfuerzos genera el plegamiento de las unidades geológicas cuyo comportamiento tiende a ser dúctil, pero en unidades con un comportamiento más frágil genera su fracturamiento una vez que supera la resistencia al corte del material. En la figura 4.4 se muestra lo anteriormente descrito, donde -en la imagen de la izquierda- se presenta el plegamiento de los horizontes litológicos ante las fuerzas compresivas en sentido horizontal mientras que, en la imagen de la derecha, se plasma el fracturamiento (i.e. falla) de las unidades una vez que el campo de esfuerzos supera la resistencia al corte de los materiales térreos. El comportamiento frágil / dúctil de los materiales dependerá de la presión y temperatura en la corteza donde actúan los esfuerzos.

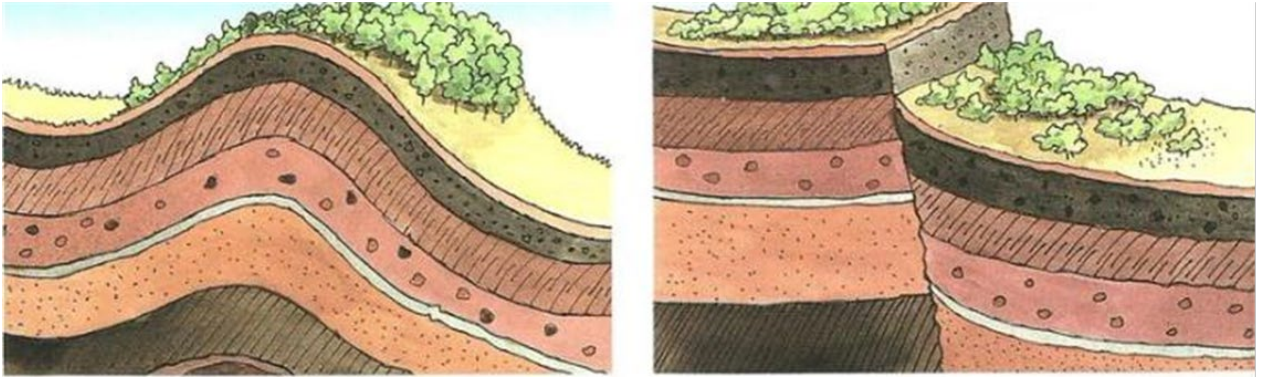


Figura 4.4 Esfuerzos compresionales causantes de fallas geológicas

Fuente: Flibertador.mx, fallas geológicas activas en el subsuelo del valle de México causa principal de los sismos de baja magnitud

En la práctica, en el momento de realizar la selección del trazado para una línea de transporte de hidrocarburos, es fundamental identificar el rumbo y buzamiento de la zona de falla que pueda interferir con el corredor proyectado, debido a que este tipo de discontinuidades tiene el potencial de actuar como zona de concentración de esfuerzos derivados de los desplazamientos diferenciales acumulados, o eventualmente ante la ocurrencia de sismos; además, en la zona de falla, los materiales están fuertemente debilitados, usualmente meteorizados, deformados y alterados. En la figura 4.5, se muestra el afloramiento de dos unidades litológicas diferentes, cuya posición obedece a la actividad de la falla geológica existente entre ambas.



Figura 4.5: Afloramiento de Unidades Geológicas en Traza de Falla

Fuente: Vixdata, tipos de fallas geológicas.

Pese a que en el párrafo anterior se mencionó la necesidad de identificar la interacción de fallas existentes con el trazado proyectado, es importante tener en cuenta su actividad ya que, con base en las tasas de desplazamiento de cada sistema, existe mayor potencial de movimiento relativo de los bloques que interactúan. De acuerdo con lo anterior, tendrá mayor relevancia cruzar o proyectar el trazado en cercanías a un sistema de fallas cuya tasa de movimiento exhiba varios centímetros por año, en comparación con un sistema que no registre movimientos evidentes en el último centenar de años. En todo caso, las fallas se deben cruzar preferiblemente de forma perpendicular, de manera que se minimice la longitud del ducto en la zona de debilidad.

En la Figura 4.6 se muestra un ejemplo en Colombia del levantamiento de los sistemas de fallas identificados a nivel regional, que se complementa con un documento donde se especifica la actividad y tasa de desplazamiento de cada una. Este tipo de mapas e información en cuanto a la actividad debe ser consultado con el fin de identificar aquellas zonas de movimientos relativos entre bloques estructurales, y así determinar procesos potenciales de interacción con el ducto o de amplificación de ondas sísmicas.

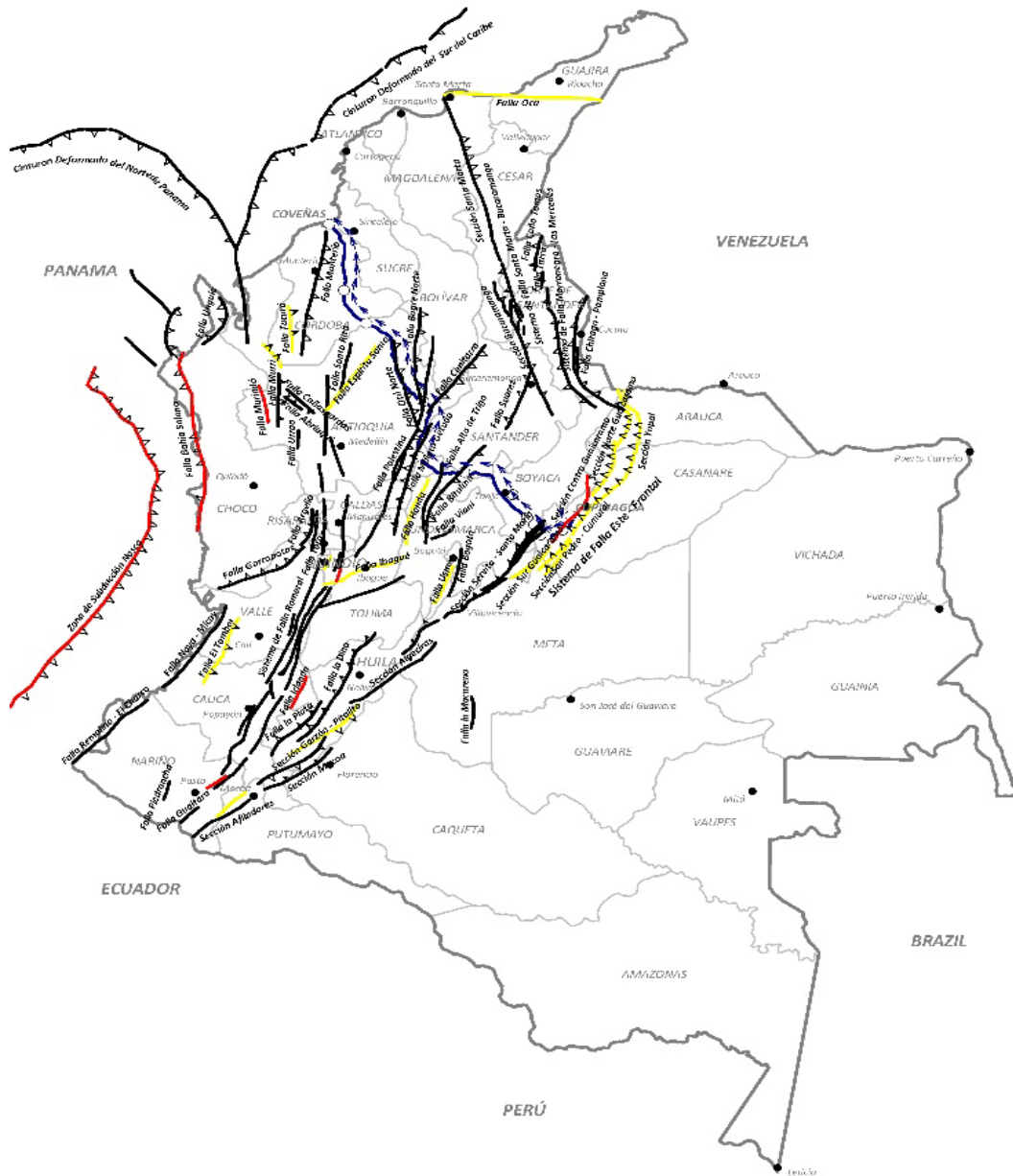


Figura 4.6 Ubicación de las fallas geológicas en la zona noroccidental colombiana sobrepuestas al oleoducto OCENSA. Fuente: OCENSA.

4.2.4 Vulcanismo

En múltiples textos científicos se ha definido al vulcanismo como el proceso en el que el material fundido del interior de la tierra, presente en el manto por debajo de la corteza, asciende a la superficie a través de grietas y discontinuidades generadas por la actividad tectónica.



Figura 4.7 Emisión de ceniza volcánica

Fuente: Vulcanismo moderno enraiza primeros tiempos.

Debido a la posición geográfica del continente americano, su costa occidental se encuentra en las zonas de contacto de las placas que subyacen el Océano Pacífico y las placas continentales, que conforman el costado oriental del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. En este último, se localizan más de 400 volcanes (cerca del tercio de los volcanes existentes en el mundo) donde se encuentran los de mayor actividad identificada. En la Figura 4.8 se muestra un esquema del Cinturón de Fuego.



Figura 4.8 Cinturón de fuego del pacífico

Fuente: ciencia.unam.mx.

Con base en lo anterior, el riesgo asociado a actividad volcánica en los países de influencia a la cordillera de los Andes en Sudamérica, a la cordillera centroamericana y a las montañas rocosas en Norteamérica es alto, hecho que determina la necesidad de incluir el vulcanismo cuando se realiza la selección del trazado.

Teniendo en cuenta esto, el trazado se debe plantear fuera del área de influencia directa de un volcán, ya que es una zona con una alta actividad tectónica y potencial de inestabilidad del terreno. Sin embargo, pese a que el trazado puede encontrarse a varias decenas o centenas de kilómetros de un volcán, su actividad puede desencadenar efectos secundarios como los que se mencionan a continuación:

- Sismos;
- Deslizamientos generados por erupciones y sismos;
- Descongelamiento de glaciación y avenidas torrenciales;
- Agrietamiento del terreno debido a erupciones;
- Caída de material piroclástico;
- Aumento superficial de la temperatura del suelo por las deposiciones de las coladas de lava.

Como herramienta para identificar las zonas de amenaza asociadas tanto a la existencia de un volcán como a su actividad, cada organismo gubernamental desarrolla Mapas de Amenaza Volcánicas, como el mostrado en la Figura 4.9.

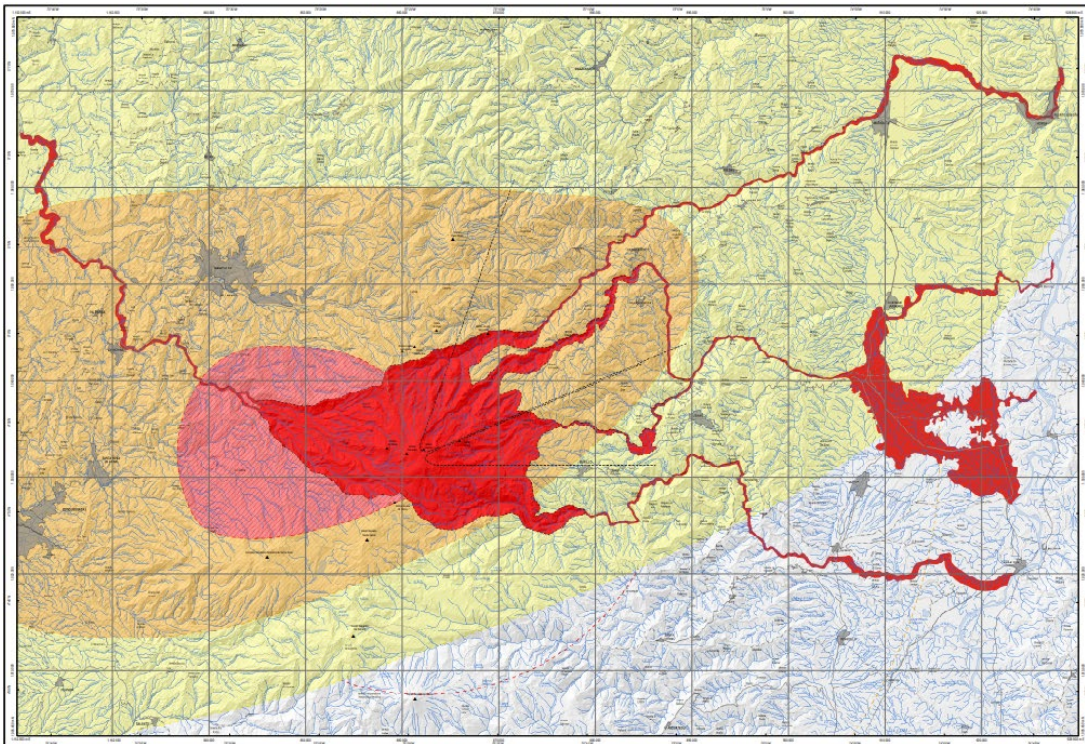



Figura 4.9 Ejemplo de mapa de amenaza volcánica

Fuente: Sistema Geológico Colombiano, mapa de amenaza Volcán Nevado del Ruíz, 2015



En el caso del ejemplo detallado en la Figura 4.9, se identifican tres zonas de amenaza: Alta (tonalidades rojizas), Media (tonalidad naranja) y Baja (tonalidad amarilla). En la zona de Amenaza Alta existe probabilidad de afectación debido a flujos y oleadas piroclásticas, proyectiles balísticos, lahares, flujos de lava y avalanchas de escombros a través de quebradas y drenajes circundantes al edificio volcánico, ondas de choque, gases volcánicos, caída de ceniza y lapilli con acumulaciones mayores a 10 cm. La zona de Amenaza Media se caracteriza por potencial de caída de ceniza y lapilli con acumulaciones entre 1 cm y 10 cm, mientras que, para la zona de Amenaza Baja, estas acumulaciones de cenizas y lapilli oscilan entre 0,5 mm y 1 cm.

Teniendo en cuenta el ejemplo anterior, es posible identificar las zonas con mayor potencial de afectación en caso de una erupción volcánica, así como los drenajes (i.e. ríos y quebradas) por donde descenderían avalanchas de escombros y/o flujos de lava y lahares. Debe procurarse realizar el trazado con diseño detallado en los cruces de dichos drenajes de modo tal que los periodos de retorno de estos eventos sean tenidos en cuenta. Se deben trazar cruces aéreos con suficiente gálibo o cruces subfluviales por debajo de la cota de socavación y con la suficiente extensión por fuera de la zona de afectación; evitar las zonas de valles donde se desarrollarían los conos de deyección y no menos importante, evitar la zona de Amenaza Alta.

4.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La caracterización geomorfológica tiene como objeto detectar los contrastes de relieve, donde se describa la litología superficial, las unidades de paisaje y subpaisaje, así como las formas y procesos morfodinámicos dominantes. El análisis de las características geomorfológicas debe incluir morfogénesis (análisis del origen de las diferentes unidades de paisaje), morfografía (análisis de las formas de las laderas), morfodinámica (análisis de los procesos de tipo denudativos) y morfoestructuras (análisis y definición de las formas de tipo estructural que imperan sobre el relieve).

A continuación, se presenta para fines prácticos del trazado de líneas de transporte de hidrocarburos, la descripción de unidades geomorfológicas ideales para tal fin, así como aquellas que, por sus condiciones inherentes de estabilidad, deben ser evitadas en la medida de lo posible.

4.3.1 Unidades geomorfológicas idóneas para trazado

Las zonas de baja o nula pendiente, comprendidas ya sea por planicies residuales, aluviales o antrópicas, poseen -en términos generales- condiciones de estabilidad aceptable, donde el reto principal radica principalmente en la selección de zonas donde los suelos presenten capacidades de carga aptas para la cimentación de las estructuras asociadas al soporte del ducto. Se deben identificar las zonas correspondientes a llanuras inundables y zona de influencia de ríos y quebradas (incluso lechos abandonados o donde potencialmente pueda divagar un río), dado que en estos sitios se deben tener en cuenta consideraciones de flotación de ductos, profundidad de enterramiento y la posibilidad de erosión hidráulica. Por lo anterior, el foco se centrará en la descripción de las unidades idóneas para el trazado en zonas de montaña y altas pendientes, por tratarse del paisaje más común encontrado en las áreas de influencia de la cordillera de los Andes.

En este sentido, las unidades geomorfológicas compuestas por lomos angostos o amplios, correspondientes a divisorias de agua, locales o regionales, se destacan por sus condiciones aceptables de estabilidad. Dichas unidades geomorfológicas se caracterizan por ser la divisoria de una unidad geológica que compone alguno de los flancos de una estructura plegada, bien sea sinclinal o anticlinal; en términos locales, en el caso de rocas sedimentarias o metamórficas, los flancos de esta geoforma se componen de una pendiente y contrapendiente estructurales, donde en la primera, se encuentran predominantemente suelos residuales o depósitos de espesores considerables (debido a la menor pendiente), con potencial de procesos de inestabilidad. Por su parte, el flanco de contrapendiente estructural se caracteriza por tener una mayor pendiente, donde no es usual encontrar depósitos o suelos residuales de espesor considerable, siendo los afloramientos de roca y los procesos de inestabilidad comprendidos por formaciones de cuñas, volcamientos y fallas planares en macizos rocosos, aquellos con mayor potencial de ocurrencia. En caso de contar con la presencia de homoclinales (estratos paralelos en una sola dirección con una pendiente determinada sobre la ladera), y de no poder instalar el ducto en el

lomo de esta última, es conveniente siempre disponer la línea por el flanco de la ladera donde los estratos inclinan contra la pendiente de esta última. En la Figura 4.10 se muestra una sección transversal de una unidad geomorfológica comprendida por un lomo, donde se destaca la alta existencia de procesos morfodinámicos en sus flancos, siendo el mencionado lomo el idóneo para el trazado de una línea de transporte de hidrocarburos.

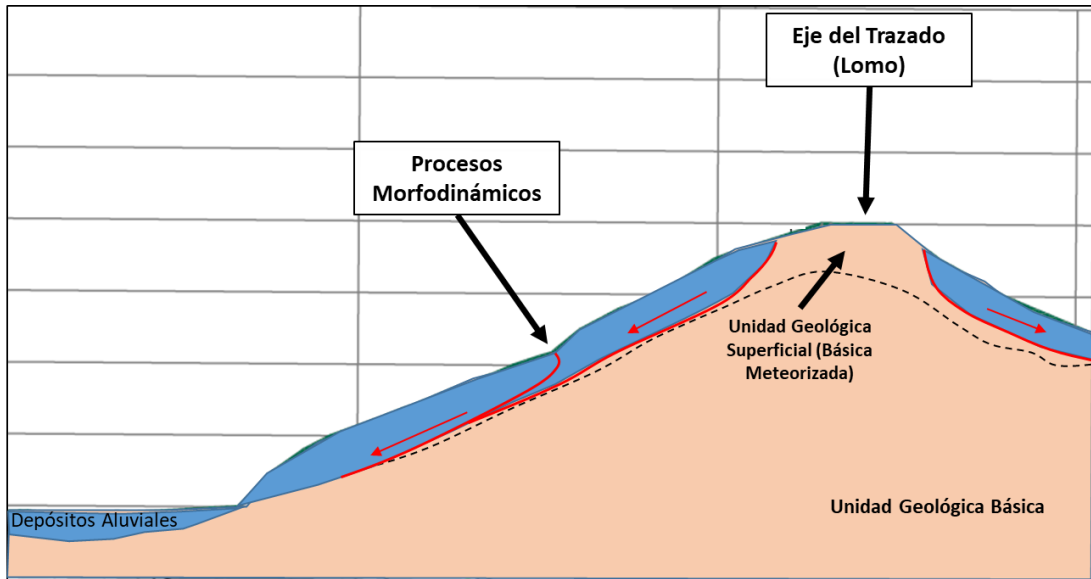


Figura 4.10 Sección transversal de trazado en lomo

Fuente: C&T 2013.

En la Figura 4.11 se muestra otro ejemplo del planteamiento de trazado a lo largo de un lomo o divisoria local de aguas, esta vez, visto en planta, donde se destaca la alta densidad de procesos morfodinámicos sobre cada uno de sus flancos, comprendidos por depósitos coluviales (o de ladera) y aluviales.

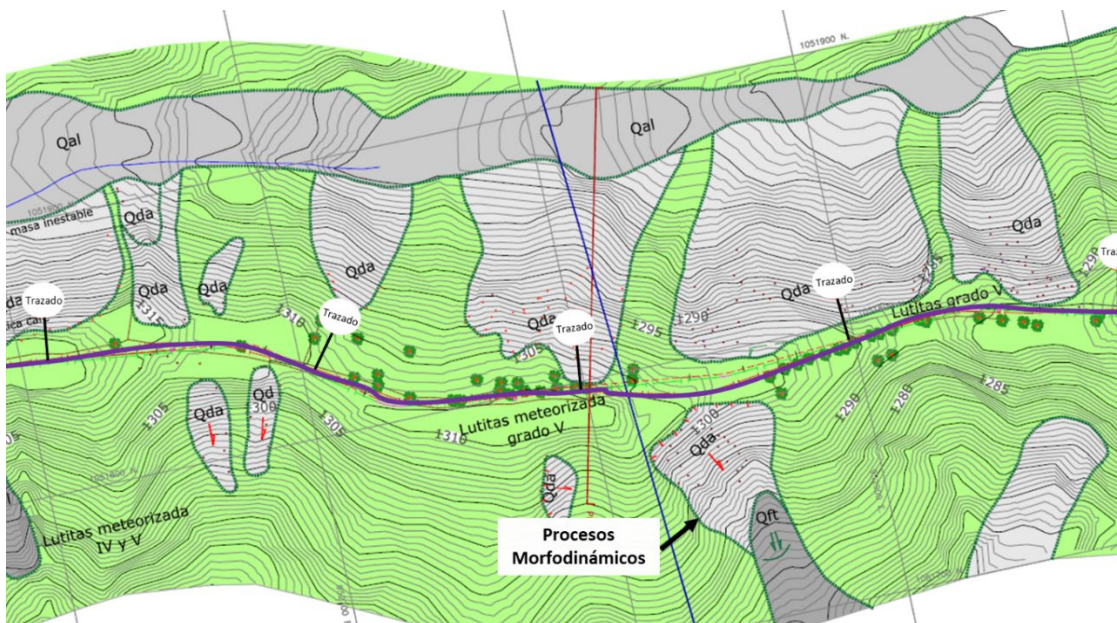


Figura 4.11 Trazado sobre lomo rodeado de procesos morfodinámicos.

Fuente: C&T 2012.

Pese a que esta geoforma compuesta por lomos representa aquella con características de estabilidad generalmente más aceptables, es importante mencionar que ante la ocurrencia de un sismo, ésta tiende a amplificar sus ondas sísmicas por su forma similar a la de un diapasón, como se muestra en la Figura 4.12.

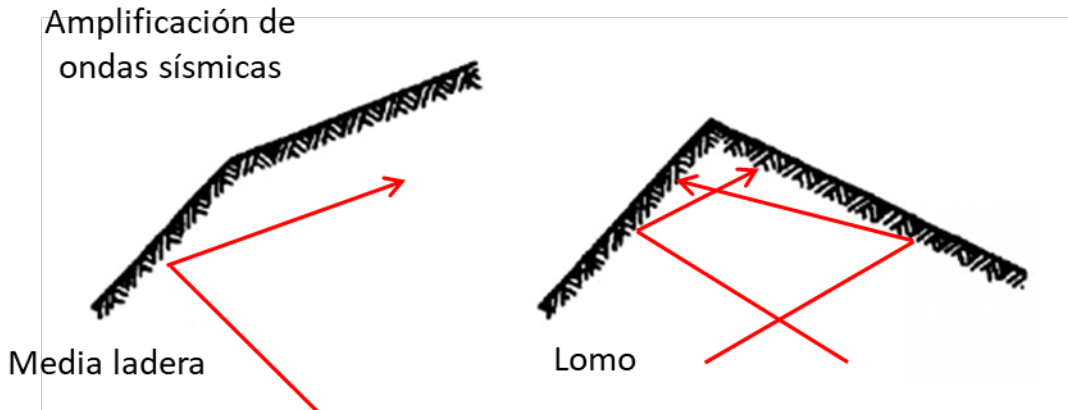


Figura 4.12 Amplificación de ondas sísmicas por efectos topográficos

Fuente: adaptado de Metodología para Evaluación de Alternativas, C&T 2013.

Lo anterior se justifica en el efecto topográfico asociado a los cambios abruptos de pendiente y al rebote de la onda sísmica, donde deben ser tenidos en cuenta efectos locales en cuanto a la potencial respuesta dinámica, asociada al contenido frecuencial de la onda, y su efecto en la aceleración del terreno y cómo se puede amplificar.

4.3.2 Unidades geomorfológicas a evitar durante el trazado

Generalmente, los avances de tecnologías de construcción y los análisis de ingeniería donde se incluyen obras de estabilización geotécnica, permiten adecuar y mejorar las condiciones de estabilidad y aptitud para alojar una línea de transporte de hidrocarburos en condiciones y escenarios extremos. Sin embargo, en la medida que se realice una adecuada caracterización geológica y geomorfológica durante las fases de ingeniería y diseño, es posible identificar unidades que por sus características naturales pueden ser evitadas anticipadamente. Lo anterior, con el fin de optimizar los costos de construcción asociados a obras de estabilización o confinamiento, robustas y complejas.

A continuación, se menciona un listado a manera de resumen de las unidades geomorfológicas propensas a ser evitadas, debido a sus características de estabilidad, usualmente precarias. Lo anterior no significa que la evasión de este tipo de unidades deba ser estricta, debido a que en ocasiones representan la única alternativa de trazado. Sin embargo, en el caso eventual de requerirse realizar el trazado sobre las mismas, debe procurarse trazarlo de forma óptima a partir de una caracterización detallada y rigurosa en términos geológicos, de estabilidad geotécnica a partir del análisis de estabilidad de taludes, y establecer todos los controles con el fin de garantizar la estabilidad del DDV, como instrumentación geotécnica y herramientas de monitoreo.

- Laderas coluviales.
- Zona media de piedemontes, usualmente formados por coalescencia de abanicos coluviales.
- Tálus (depósitos clasto-soportados por caída de rocas).
- Valles aluviales (si se deben cruzar, que sea en sentido longitudinal).
- Escarpes.
- Lomeríos coluviales (laderas coluviales de poca altura).
- Glacis coluviales (producto de deslizamientos fluviogravitacionales).
- Conos de deslizamientos (conos coluviales).
- Rellanos coluviales (depósitos producto de deslizamientos planares, avalanchas, flujos terrosos y desplomes de tierras).
- Conos de derrubios (acumulación de derrubios al pie de paredes de valle glacial).
- Mantos de Loess (depósitos eólicos altamente colapsables).
- Dolinas (formados en ambientes kársticos por disolución, desplome, subsidencia o sumisión de corrientes).
- Bajos topográficos con alta tasa de deflación, médanos y/o dunas con alta tasa de movimiento.

Como se puede apreciar, la mayoría de estas unidades geomorfológicas corresponden a zonas de depósitos por agentes hidrogravitacionales, hecho que gobierna sus condiciones de estabilidad. Es importante mencionar que no representan la totalidad de unidades geomorfológicas, sino los tipos de unidades geomorfológicas comunes objeto de evasión si se tiene alternativa.

En caso de encontrar depósitos como los anteriormente citados, pero que se encuentren confinados por bloques o unidades que brinden algún tipo de contrafuerte; o aquellos que por su edad hayan experimentado precipitación de cementantes que mejoren su comportamiento mecánico, podría haber excepciones. Como se mencionó con anterioridad, en caso de ser inevitable transcurrir con el trazado por estas unidades, una adecuada investigación del subsuelo podría evidenciar su aptitud para alojar el corredor.

4.4 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Durante la selección del trazado debe realizarse la caracterización hidrogeológica de las unidades superficiales con el fin de determinar el régimen de flujo de agua subsuperficial (si lo hay), el tipo de reserva de agua subterránea en función de la conductividad hidráulica (i.e. acuíferos, acuitardos y acuífugos) y el potencial de existencia de manantiales.

La necesidad de identificar las características de agua subterránea y la existencia de manantiales no radica netamente en satisfacer requerimientos técnicos, sino que usualmente representa un requisito ambiental establecido a nivel legislativo siendo, por ejemplo, la existencia de manantiales o afloramientos de agua, una restricción para la definición del trazado.

4.4.1 Flujo de agua subsuperficial

Las rocas existentes en la superficie usualmente se encuentran fracturadas en cierto grado. Este grado de fracturamiento puede ser leve, resultando en juntas bastante espaciadas, o puede presentarse en un grado más severo cuando se trata de brechas de falla donde la roca está completamente triturada. Según lo anterior, la permeabilidad en los macizos rocosos se divide en dos clases: primaria y secundaria. La permeabilidad primaria es la original de la roca durante su litificación y es aquella comprendida por los espacios o vacíos existentes entre los granos y la permeabilidad secundaria; es originada posteriormente en la roca ya formada (por ejemplo, por esfuerzos tectónicos) y es la compuesta por fracturas y discontinuidades existentes en la roca. Generalmente, las discontinuidades son mucho más permeables que el manto poroso. Por lo tanto, es posible encontrar agua subterránea tanto en los poros existentes entre los granos, como en las discontinuidades o fracturas. En la Figura 4.13, se muestra la porosidad intergranular alta de un material granular mal gradado (izquierda), la porosidad intergranular más baja de un material granular bien gradado (centro), ambas porosidades primarias y por último (derecha), la porosidad a través de las fracturas o discontinuidades correspondiente a porosidad secundaria. Los suelos residuales, heredan estos sistemas de estructuras, y su permeabilidad puede estar controlada por ellas.

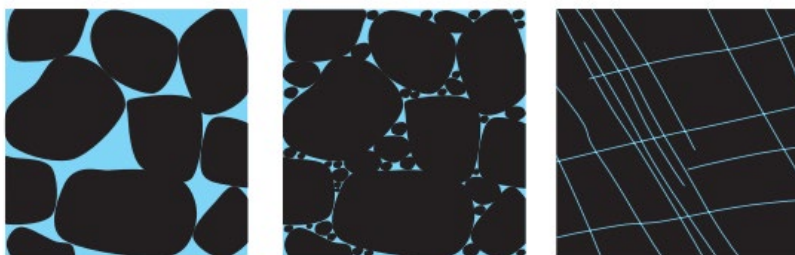


Figura 4.13 Tipo de permeabilidad de acuerdo con el grado de fracturamiento o meteorización de las rocas

Fuente: adaptado de Fitts, 2002.

A partir de múltiples observaciones en campo y ensayos de laboratorio, para identificar las características de infiltración y flujo de agua en materiales arenosos, se plantean las siguientes observaciones:

- En ausencia de flujo de agua en el terreno el nivel freático es horizontal.
- Un nivel freático inclinado indica que el agua existente en el terreno fluye.
- Las zonas de descarga del agua existente en el terreno se encuentran en puntos topográficos bajos.
- El nivel freático posee la misma forma general de la superficie topográfica.
- El agua presente en el terreno generalmente fluye desde puntos topográficamente altos hacia puntos topográficamente más bajos.

En la Figura 4.14 se muestra cómo las líneas de flujo tienden a divergir de las áreas de recarga y a converger hacia las zonas de descarga.

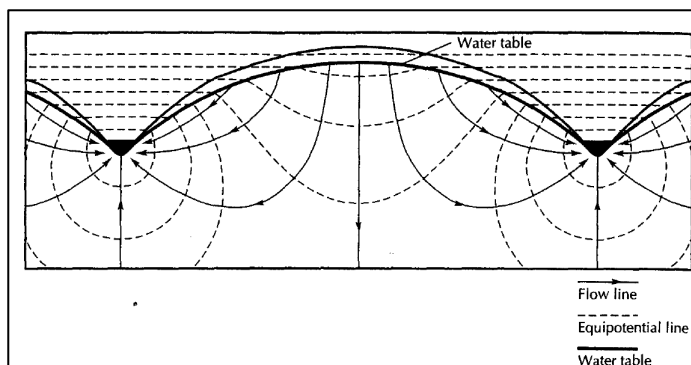



Figura 4.14 Red de flujo en sección transversal de un acuífero isotrópico y homogéneo

Fuente: adaptado de Fetter, 2001



En la parte superior de la colina el nivel freático está profundo y el flujo de agua subsuperficial se presenta hacia abajo en el acuífero; el punto anteriormente descrito corresponde a un área de recarga. Por su parte, el flujo de agua en el suelo debajo de los valles tiene una dirección ascendente, indicando que estos sitios corresponden a un área de descarga. Las zonas bajas de los valles son áreas de concentración de descarga de agua subsuperficial hacia las corrientes de agua (ríos) donde convergen las líneas de flujo. Por otro lado, la cresta (parte más alta) del nivel freático es una divisoria de agua subsuperficial que ocasiona que el flujo de agua se presente a cada lado de esta y en direcciones opuestas.

Teniendo en cuenta el potencial de existencia de flujo subsuperficial asociado a la topografía del terreno, resulta necesario reconocer dicho proceso como un factor detonante de deslizamientos en las laderas sobre las que se plantea el trazado, dados los siguientes efectos:

- El incremento de las presiones de poros intersticiales: las presiones positivas reducen el esfuerzo efectivo de los materiales térreos.
- La existencia de presión de agua en las grietas, juntas, espacios y otras discontinuidades reduce también el esfuerzo efectivo de los materiales.
- Se puede producir presión de filtración, donde el esfuerzo de arrastre contribuye al incremento del esfuerzo cortante, causando de esta manera erosión subsuperficial y una reducción en el soporte subyacente de los materiales.
- Al transformar unidades arcillosas en sedimentos lodosos que provocan superficies de deslizamiento de los materiales suprayacentes o adyacentes.
- El incremento del peso total de la columna de suelo: la sobrecarga causada por el agua genera inestabilidad de suelos, particularmente en el caso de sedimentos y materiales ricos en minerales arcillosos.

Por lo anterior, se hace necesaria una rigurosa caracterización hidrogeológica en términos de flujo subsuperficial, ya que éste tiene la capacidad de disminuir la resistencia del terreno sobre el que se plantea el trazado.

4.4.2 Acuíferos

Los materiales térreos poseen un amplio rango de valores de conductividad hidráulica que varían respecto al arreglo de partículas y a la interconexión entre los vacíos existentes. En proximidades a la superficie, un número muy bajo o nulo de formaciones geológicas se pueden calificar como absolutamente impermeables, debido a que la meteorización y el fracturamiento asociado a la tectónica afectan a la mayoría de las rocas en algún grado. Conforme con lo anterior y con base en la permeabilidad y cantidad de vacíos interconectados de las rocas, las unidades geológicas se pueden clasificar como acuíferos o como capas confinantes.

Un acuífero es una unidad geológica capaz de almacenar y transmitir agua, a tasas lo suficientemente altas como para suplir pozos con cantidades considerables de fluido. Entre algunos materiales representativos de acuíferos se encuentran gravas y arenas normalmente consolidadas, areniscas, calizas y dolomitas, flujos basálticos, rocas plutónicas y metamórficas fracturadas.

Por su parte, las capas confinantes, son aquellas unidades geológicas cuya capacidad de almacenar y transmitir agua es bastante limitada, y suelen dividirse en acuitardos, acuicludos y acuífugos. Los acuitardos son capas de materiales de baja conductividad capaces de almacenar agua subterránea y transmitirla lentamente de un acuífero a otro (también conocidos como capas confinantes “porosas”). Los acuicludos son aquellas unidades con valores extremadamente bajos de conductividad hidráulica, mientras que los acuífugos, corresponden a unidades absolutamente impermeables, incapaces de almacenar o transmitir agua.

Según la distribución espacial en el subsuelo de los acuíferos, estos pueden clasificarse como acuíferos libres o inconfiados, o confiados. Cuando un acuífero se encuentra cercano a la superficie del terreno y está compuesto por materiales con altos valores de permeabilidad que se extienden desde la superficie del terreno hasta la base del acuífero, se denomina acuífero de nivel freático o acuífero libre o inconfiado. Ver Figura 4.15.

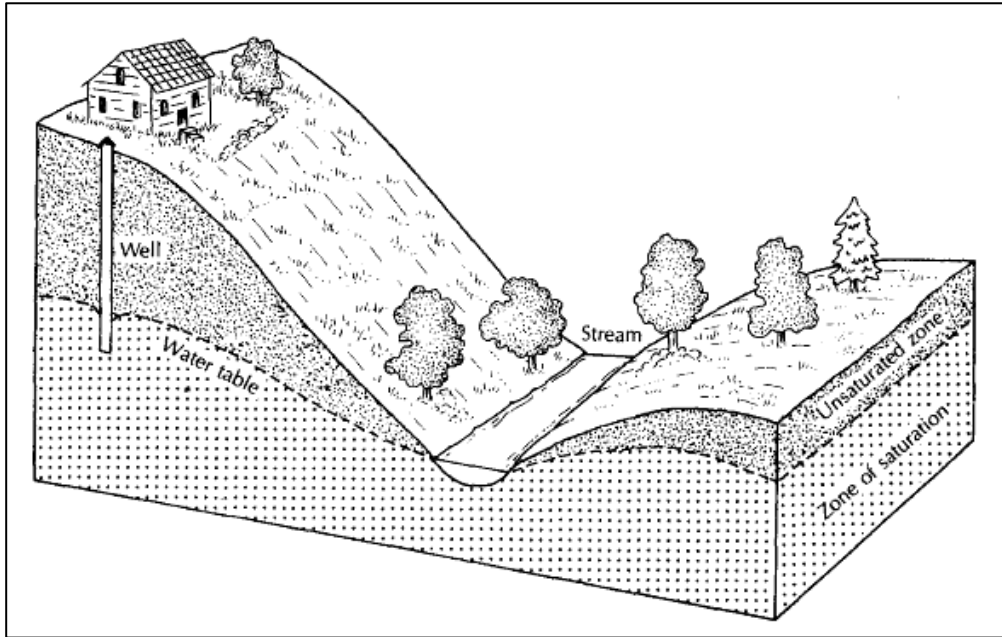


Figura 4.15 Acuífero no confinado o de nivel freático

Fuente: adaptado de Fetter, 2001

Durante el trazado de una línea de transporte de hidrocarburos, encontrarse con este tipo de acuíferos es bastante común debido a las profundidades de influencia de instalación del ducto, que oscilan en promedio desde 1,0 m hasta 3,0 m en línea regular, a excepción de los cruces especiales, como por ejemplo los desarrollados por la técnica de perforación horizontal dirigida, que podrían alcanzar profundidades superiores a los 10 m.

Es importante tener en cuenta que una vez que se realiza la instalación de un ducto enterrado, de quedar por debajo del nivel freático en un acuífero no confinado su régimen de flujo puede modificarse debido a la apertura de la zanja, ya que se está proporcionando una zona de conductividad hidráulica diferencial por donde podría tender a converger dicho flujo de agua. Este tipo de modificación puede ser tratado con drenes subsuperficiales u otro tipo de obras geotécnicas para el manejo de agua.

4.4.3 Manantiales

De acuerdo con la distribución espacial en el subsuelo de las unidades hidrogeológicas, en algunas ocasiones pueden presentarse descargas o afloramientos del agua subterránea en la superficie del terreno, las que se denominan manantiales. En dichos manantiales, el nivel freático interseca la superficie del terreno, situación que ocurre con mayor frecuencia en la base de taludes bastante inclinados. Los puntos

topográficos bajos proveen el mecanismo más simple para la formación de manantiales, presentándose en estos sitios los denominados manantiales de depresión, que se forman cuando el nivel freático alcanza la superficie del terreno, como se aprecia en la Figura 4.16-A.

Asimismo, cuando una unidad rocosa permeable suprayace otra unidad con una permeabilidad mucho más baja, se forma lo que se conoce como un manantial de contacto. Un contacto litológico, en ocasiones, es marcado en la superficie del terreno por una línea de manantiales que pueden encontrarse ya sea en el nivel freático principal como en niveles freáticos colgados. En este tipo de manantiales, la roca subyacente no tiene que ser necesariamente impermeable, basta con que la diferencia de conductividades hidráulicas sea suficientemente amplia como para restringir la transmisión del agua que fluye a través del horizonte superior. Ver Figura 4.16-B.

Otra clase de manantiales son aquellos formados por fallas, donde se crea un control geológico que favorece la formación de dichos afloramientos. Por ejemplo, posterior a una falla geológica puede quedar localizada una roca impermeable adyacente a un acuífero, generando una frontera regional para el movimiento del agua subterránea, situación que provoca que el agua del acuífero se descargue a manera de un manantial de falla. Ver Figura 4.16-C.

Las zonas donde se presentan los manantiales de mayores dimensiones son aquellas donde se presentan substratos rocosos compuestos por calizas. En estas áreas, la escorrentía se transporta en mayor parte o totalmente, en forma de flujo subterráneo, pudiendo presentarse como flujo difuso existente en los poros y en las fracturas de la roca o como flujo canalizado a través de cavernas. Estos manantiales son denominados manantiales de sumidero y se encuentran en sitios donde una caverna se conecta a una “chimenea” natural que emerge al terreno. En la Figura 4.16-C se representa la clase de manantiales anteriormente descritos.

Otro tipo de manantiales son los denominados manantiales de juntas o manantiales de fracturas, ya que se forman debido a la existencia de discontinuidades o zonas de fallas permeables en rocas de baja conductividad hidráulica. Por lo tanto, el flujo a través de estas rocas se presenta principalmente a través de las fracturas, formándose estos tipos de manantiales donde tales fracturas intersectan la superficie del terreno en zonas topográficamente bajas. Ver Figuras 4.16-E y 4.16-F.

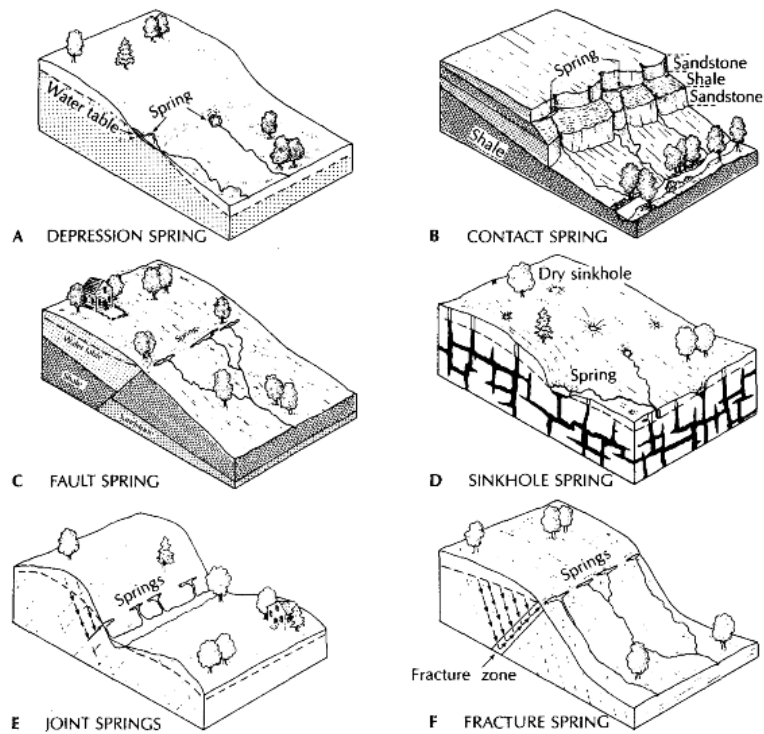


Figura 4.16: Tipos de manantiales

Fuente: adaptado de Fetter, 2001

Con base en las anteriores descripciones, es de notar la alta probabilidad de ocurrencia de manantiales sobre laderas naturales con algún grado de actividad tectónica o por la existencia de unidades impermeables que sirven como barreras para el ascenso de flujo de agua a través de un acuífero. Como se mencionó con anterioridad, debido a las exigencias de entes reguladores es necesario realizar la identificación y caracterización hidrogeológica de cada uno de estos afloramientos; ya que, en algunos casos, exigen una distancia mínima entre éstos y el DDV. Previo a realizar el diseño y construcción del ducto atravesando zonas de manantiales, se debe revisar lo que estipule la legislación ambiental local.

Hasta aquí hemos estudiado los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos que nos pueden orientar o ayudar a definir la mejor traza posible para un ducto nuevo a construir o que necesite ensayar una variante. No obstante, también es importante tener en cuenta a la hora de la evaluación final, la posición relativa del ducto respecto a cauces, fallas, laderas, etc., ya que variaran los recaudos constructivos o los factores de seguridad a adoptar.

4.5 ASPECTOS AMBIENTALES

En términos generales, en la etapa del diseño de un nuevo ducto o variante a construir es necesario tener en cuenta la normatividad local en materia de licenciamiento ambiental para la construcción, que generalmente incluye una serie de estudios específicos del corredor de la línea, donde se identifican zonas sensibles como parques naturales, nacedores, corrientes de aguas, especies en peligro y vedadas, entre otras. Todos estos elementos se incluyen en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) que es la base con la que los entes de control ambiental otorgan las licencias y toman las medidas respectivas.

Una vez que el ducto ha sido construido, la licencia ambiental, o una variación de la de construcción, es la que permite operar y regula los cuidados ambientales a tener en cuenta y reportar en los mantenimientos del DDV y de las diferentes instalaciones del ducto.

4.6 FACILIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Simultáneamente a la selección del trazado de la línea de transporte de hidrocarburos, se debe realizar la identificación de facilidades para la construcción del proyecto, tales como vías de acceso, zonas de acopios de materiales de construcción (i.e. tubería, soportes, estructuras, entre otras), y zonas de acopio del material excavado y de los productos de cortes de taludes para la apertura del DDV. La identificación temprana de estas facilidades es fundamental para la definición de los costos de construcción, ya que, al dificultarse el transporte terrestre de los insumos por medio de vehículos, deberá evaluarse la necesidad del transporte de dichos materiales, ya sea manualmente o -en casos extremos- vía aérea mediante helicópteros.

4.7 TIPOS DE CRUCES DEL DUCTO

4.7.1 Cruces subfluviales

4.7.1.1 Caracterización de ríos y su comportamiento

Existe una gran variedad de cursos de agua en el mundo, los cuales van desde simples zanjas o arroyos pequeños, hasta ríos que desaguan enormes extensiones de tierra, tales como el Paraná, el Amazonas o similares. De allí que su comportamiento varíe con sus dimensiones,

geografía y relieve que atraviesan, materiales y componentes del lecho y márgenes, así como también con la cantidad de lluvia que reciban. Existen muchas clasificaciones desarrolladas dentro de la hidráulica de ríos, tales como la de Rosgen, en donde se hace un esfuerzo por clasificar los ríos según distintas variables. A continuación, se presenta una descripción general de los cursos de agua más comunes encontrados a lo largo de un DDV.

4.7.1.1.1 Ríos de montaña

Son ríos de gran pendiente que tienen asociadas grandes velocidades de agua. Si bien su lecho presenta granulometrías mayores, predominan las erosiones de lecho o fondo. Otra característica de estos ríos es la ocurrencia de flujos de barros, densos o de detritos, que arrastran grandes rocas al tener mayor densidad. Esto implica que son incompatibles con tuberías expuestas por la posibilidad de impactos.

4.7.1.1.2 Ríos trenzados

Se dan principalmente cuando un río deja el ambiente montañoso en forma gradual para escurrir en terrenos más llanos. La granulometría del lecho es aún gruesa, no así la de las márgenes. El caudal del río se distribuye entre varios brazos, cuya contribución varía en el tiempo. Pueden presentarse erosiones de márgenes cuando dichos brazos se orientan hacia ellas. Ver Figura 4.17.



Figura 4.17 Río trenzado, en los llanos orientales colombianos

Fuente: Río Cusiana, OCENSA

4.7.1.1.3 Ríos de piedemonte

Son ríos de variadas dimensiones que se caracterizan por un cambio de pendiente al pasar de un terreno inclinado a uno más llano, en una distancia relativamente corta. Los cruces ubicados en este tipo de ríos presentan curvas y meandros, produciéndose tanto erosiones de fondo como corrimientos laterales de márgenes y cotas. Durante crecidas pueden arrastrar grandes cantidades de troncos y ramas que impactan en las tuberías expuestas.

4.7.1.1.4 Ríos de llanura

En estos casos la pendiente disminuye notoriamente, produciéndose curvas y meandros. Las velocidades alcanzadas son importantes durante las crecidas, pero menores si se las compara con los ríos de montaña. Son proclives a inundar las tierras aledañas, alcanzando un ancho mucho mayor que el del río, provocando amplios valles de inundación. Ver Figura 4.18.



Figura 4.18 Río meándrico de llanura en la sabana norte colombiana.

Fuente: OCENSA

4.7.1.1.5 Cursos artificiales

Representados principalmente como canales de riego y drenaje, presentan un caso muy común asociado a actividades agrícolas. Normalmente, no presentan un ancho ni una pendiente considerables. Por ello, el foco pasa a las tareas de mantenimiento que pudieran experimentar, ya que la sobre excavación o la limpieza de ellos pueden proporcionar un golpe de las maquinarias sobre la cañería.

4.7.1.2 Problemas asociados a cruces de ríos

La causa principal de los problemas de integridad en cruces de ríos es la interacción entre una estructura fija (el ducto) y el río que cambia de posición en el tiempo. La configuración del ducto permanece invariable en el tiempo a partir de su construcción. Sin embargo, durante la vida útil de un ducto (50 años o más), el comportamiento del río sigue un proceso natural que implica que tanto su alineación en planta como su profundidad cambien significativamente en el tiempo. Por ello, en la instancia de diseño, el cruce debe contemplar la situación presente del río y su posible evolución. A continuación, se presentan los principales problemas asociados a cruces de ríos.

4.7.1.2.1 Corrimientos verticales

- Socavación localizada: en este caso un obstáculo o singularidad ubicada en el cauce provoca una socavación localizada alrededor del objeto o una concentración del escurrimiento en un ancho reducido del río. Esto provoca una pérdida de tapada en el ducto, asociada a un ancho reducido de la tubería. Ver Figuras 4.19 y 4.21.
- Socavación generalizada: en este caso la totalidad del lecho del río descende. En forma correspondiente, la longitud de cañería afectada es mayor. Ver Figura 4.20.
- Sedimentación, depósito de sedimentos o agradación: en este caso la tapada disponible sobre el ducto aumenta, siendo este fenómeno mayormente favorable a la integridad de la cañería.



Figura 4.19: Socavación localizada -de fondo- en quebrada en el piedemonte colombiano.

Fuente: OCENSA.



*Figura 4.20: Socavación generalizada de lecho en un cruce ubicado en el piedemonte
Fuente: Transportadora de Gas del Norte*



*Figura 4.21: Socavación vertical localizada del lecho en un río de cauce trenzado
Fuente: Transportadora de Gas del Norte*

4.7.1.2.2 Corrimientos laterales

- a. Erosiones de márgenes en cruces: normalmente suceden en las curvas experimentadas por los ríos. Debido a la existencia de corrientes secundarias, la corriente erosiona la margen depositando el material en la margen opuesta. Con el tiempo, se pueden descubrir o destapar las acometidas, bayonetas o cuellos de cisne de los ductos, diseñados según la configuración de la margen original. En las siguientes figuras se presentan ejemplos referenciales de erosiones de márgenes.



Figura 4.22 Erosión de margen resultando en ducto sin apoyo luego de una crecida en un río de régimen intermitente

Fuente: Transportadora de Gas del Norte



Figura 4.23 Erosión lateral con ducto descubierto y parcialmente apoyado en un río caracterizado por meandros

Fuente: Transportadora de Gas del Norte



Figura 4.24 Socavación lateral que descubre bayonetas de ducto

Fuente: Serranía de Las Quinchas, Colombia, OCENSA

- b. Erosiones de márgenes en ductos cuya traza va paralela al curso de agua: en este caso, no se trata de un cruce especial diseñado con las consideraciones del caso. A diferencia del caso anterior, grandes longitudes de cañería pueden quedar destapadas. La corriente en este escurre en la misma dirección del eje del ducto. Ver Figuras 4.25 y 4.26.



Figura 4.25 Corrimiento lateral de margen con ducto paralelo a la misma en un cañadón de un ambiente desértico de la Patagonia

Fuente: Transportadora de Gas del Norte



Figura 4.26 Corrimiento lateral de margen con ducto paralelo a la misma en un río de montaña de la Patagonia Argentina
Fuente: Transportadora de Gas del Norte

4.7.1.2.3 Cambios en el curso del río

- a. Cambios en el curso: ya sea por presencia de obstáculos, por efectos de crecidas o por efectos antrópicos (rectificaciones), el río pasa a escurrir por otro lugar, fuera del tramo diseñado como cruce. Esto implica que el ducto debe acondicionarse o protegerse de manera adicional ya que no estaba previsto que el agua pase por allí.
- b. Corta de meandros: en los ríos caracterizados por la presencia de meandros, es muy común que los mismos se corten, ya sea de forma natural o artificial. Las consecuencias son las mismas explicadas en el caso anterior. Ver Figura 4.27.



Figura 4.27 Cambio de curso por corta de meandro en un río de piedemonte, previo a la desembocadura
Fuente: Transportadora de Gas del Norte

- c. Fuga del río por el DDV: este es un caso particular que se da cuando el río abandona su curso para escurrir mayormente por el DDV. Normalmente, el DDV no tiene la capacidad de resistir la erosión de caudales significativos, produciéndose la flotación de largos tramos de la cañería luego de la pérdida de tapada. Ver Figura 4.28.



Figura 4.28 Cambio de curso por fuga por el DDV en el valle de inundación de un río cuyo cauce principal está colmatado por sedimentos

Fuente: Transportadora de Gas del Norte

4.7.1.2.4 Tensiones transmitidas por la corriente de agua a los ductos

Una vez que se produce la exposición del ducto debido a uno o varios de los procesos erosivos descritos anteriormente, la corriente de agua pasa a transmitir esfuerzos a las tuberías. Entre estos se pueden enumerar:

- a. Flotación: las cañerías que flotan reciben un empuje vertical proporcional al volumen de agua desalojado.
- b. Esfuerzos de arrastre: la corriente ejerce una fuerza de arrastre sobre la superficie expuesta proporcional al cuadrado de la velocidad del agua. Esta superficie, puede ampliarse considerablemente en el caso en que ramas, troncos o cualquier material arrastrado por la corriente se trabe entre el ducto y el lecho, aumentando así la probabilidad de rotura.
- c. Esfuerzos de fatiga inducidos por vórtices: en el caso de un caño expuesto a una corriente de agua y que no tenga apoyo (free-span), el agua al pasar a su alrededor libera vórtices de turbulencia en la zona de aguas abajo intermitentemente desde arriba y desde abajo de la tubería. Esto provoca que oscile con una cierta frecuencia que, si coincide con la natural de la cañería, puede llevarla a su rotura.
- d. Torsión: este esfuerzo aparece cuando el corrimiento lateral del río o erosión de margen, deja expuesta y sin apoyo la acometida o cuello de cisne del cruce, que tiene un extremo mucho más alto (margen) que el otro (lecho o cauce).
- e. Impactos de objetos arrastrados por la corriente: los ríos arrastran todo tipo de objetos, catalogados bajo la palabra detritos. Entre ellos, los más comunes son: rocas, troncos, madejas de ramas y escombros de estructuras. Ver Figuras 4.29 y 4.30.



Figura 4.29 Impacto de una roca sobre un by-pass en un río de montaña sujeto a flujos de detritos

Fuente: Transportadora de Gas del Norte



Figura 4.30 Impacto de troncos y ramas en ductos expuestos en un río de piedemonte

Fuente: Transportadora de Gas del Norte

4.7.1.2.5 Aspectos relacionados con el diseño de cruces de ríos

En función de lo expresado anteriormente, el diseño de un cruce de río debe contemplar las características del cruce al momento de la construcción, así como también su evolución futura. A continuación, se enumeran las principales consideraciones del diseño de un nuevo cruce:

- a. Socavación vertical: en función de ella se define la elevación o cota a la cual se va a colocar la cañería. El esquema de cálculo comienza por un análisis hidrológico para obtener un caudal de diseño. Un parámetro importante en su definición es la recurrencia o período de retorno asociado a la crecida de diseño. No hay un consenso generalizado en cuanto a su adopción, pero en la bibliografía específica aparecen comúnmente valores de 50 a 100 años. Una vez obtenido el caudal de diseño se estima la socavación tanto local como generalizada, esta socavación tiene que ver con la granulometría del material del lecho y las condiciones particulares de erosionabilidad, más una profundidad adicional como seguridad o cumplimiento normativo. Finalmente, se define la elevación a la cual será tendida la cañería. Es importante trabajar con elevaciones y cotas y no con profundidades, ya que una vez iniciada la excavación se pierde el nivel de referencia. Esto produce falsas profundidades de tapada o cobertura ya que el relleno final disminuye una vez que el río vuelve a escurrir con su pendiente natural.
- b. Corrimiento lateral: este concepto está asociado a la distancia en que la cañería se integra o ingresa en la margen a la misma elevación que en el lecho, previo a que levante su acometida o cuello de cisne. A los efectos de prever y estimar esto, se realiza un análisis cuantitativo a partir de ecuaciones disponibles, además de un análisis cualitativo. En este último caso, es fundamental el análisis cronológico de la evolución pasada del río por medio de imágenes satelitales, fotos aéreas y relevamientos topográficos o LIDAR. Una vez estimada esta distancia lateral, se contrapesa con la correspondiente excavación, ya que a la cobertura del lecho se le suma la de la altura de la margen, llegando a excavaciones de profundidades considerables cuya estabilidad pasa a tener preponderancia.

- c. Espesor del ducto: normalmente se usa un mayor espesor de ducto en correspondencia con los cruces de ríos y también se le da un mayor factor de diseño según las normativas de aplicación.
- d. Contrapesado: para contrarrestar los efectos de la flotación se contrapesa la cañería a través del uso de distintos medios: contrapesado continuo con un espesor de concreto u hormigón, contrapesos abulonados, o contrapesos tipo caballetes. Como protección adicional, el contrapesado continuo ofrece una protección mecánica contra el impacto de objetos arrastrados por la corriente y contra la acción abrasiva de la corriente y sus sedimentos.
- e. Estructuras de mitigación: en aquellos casos en que la excavación de la zanja a cielo abierto tenga una magnitud significativa, se puede optar por la implementación de obras de mitigación de margen que acerquen la acometida o cuello de cisne a la margen. De forma análoga, se puede implementar una estructura para controlar la socavación de fondo, a expensas de tender la cañería menos profunda, a una elevación superior.

Para atravesar las corrientes de agua es posible utilizar diferentes construcciones, dependiendo de la importancia de la corriente, de su zona de divagación, y de su capacidad erosiva. Por eso se identifican diferentes tipos de cruces: dirigido, con excavación de zanja a cielo abierto y aéreo.

4.7.1.3 Cruce dirigido

Cuando se trata de corrientes de profundidad y caudal muy importantes tipo ríos navegables, o ríos con amplia zona de divagación (tipo trenzado o meándricos) se requiere la construcción de un cruce dirigido, lo que implica realizar una perforación con equipos rotatorios especializados por debajo del lecho del río y con sus bayonetas o cuellos de ganso ubicadas por fuera de la zona de divagación histórica de la corriente.

Dado que la técnica constructiva es de un grado de especialización y costo importantes, requiere estudios detallados de geotecnia, geología e hidrología para definir: profundidad de socavación máxima del río, cauce y dinámica actual, zona de divagación histórica del cauce, ubicación de bayonetas de salida a ambos lados, y estratificación del subsuelo. Este estudio de diseño también debe contener la recomendación del tipo de equipo a utilizar y las especificaciones técnicas para su construcción.

El objetivo finalmente es atravesar el río por debajo de su profundidad de socavación ante una avenida extrema, en una longitud tal que los laterales salgan por fuera de la zona en la que el río pudiera potencialmente llegar a socavar o mudar su cauce y, por tanto, exponer y afectar el ducto. El alineamiento geométrico de la línea, necesario para garantizar transiciones suaves, define también la longitud del cruce. Es importante la determinación de los estratos subsuperficiales, dado que la escogencia de un material a excavar homogéneo y con características adecuadas de dureza y adherencia a las brocas, puede ser clave para garantizar el éxito de la perforación. En la Figura 4.31 se puede observar un equipo de perforación dirigida.



Figura 4.31 Ejemplo de actividad de construcción de un cruce dirigido

Fuente: <https://flowtexhdd.com.ar/>

4.7.1.4 Cruce con excavación de zanja a cielo abierto

La mayoría de los cruces enterrados de corrientes pequeñas o medias, se hacen ejecutando una excavación con equipo mecánico directamente sobre el lecho del cauce, abriendo una zanja, como si fuera en línea regular, para bajar y posteriormente tapar la tubería. Dependiendo de las características del cruce subfluvial, debe protegerse el ducto mediante revestimientos especiales o recubrimiento en concreto. Ver Figura 4.32.

Típicamente, la profundidad máxima alcanzada por este tipo de cruces es de aproximadamente 5 m, que es la longitud máxima de avance que tienen los brazos de retroexcavadoras comunes. Para evitar el impacto ambiental y para que la zanja no se anegue de agua de la corriente, se utilizan obras temporales de manejo de aguas, como -por ejemplo- encauzar la corriente por tubería o construir ataguías para hacer desvíos del agua hacia un costado y bajar la tubería en el costado contrario.



Figura 4.32 Ejemplo de actividad de construcción de un cruce con excavación a cielo abierto

Fuente: <http://www.bolinter.com/>

4.7.2 Cruce aéreo de tuberías

En muchos casos, para cruzar ríos con relieve muy accidentado y cuando la legislación lo permite es posible construir estructuras metálicas con torres en los extremos y soportar el ducto con cables de acero como si se tratara de puentes colgantes; esta estructura es conocida como cruce aéreo.

La ubicación de las torres laterales debe ser el resultado de un estudio geotécnico – hidrológico, de manera que se garantice estar en zona estable, por fuera de la zona de socavación histórica, de esta manera queda definida su longitud. Estos puentes deben tener un diseño estructural que garantice su resistencia y la dimensión de sus partes.

Para evitar que la socavación de fondo disminuya la tapada o descubra la tubería se construyen estructuras para proteger el cruce, como son las placas en el lecho y estructuras de gaviones en las márgenes. La elección de este tipo de estructuras depende de las características de la corriente y el tamaño de sedimentos que puede transportar.



Figura 4.33: Estructura de cruce aéreo de gasoducto en DDV compartido con OCENSA

Fuente: OCENSA.

4.7.3 Cruces con vías vehiculares férreas

Los ductos, al igual que las vías vehiculares y férreas son estructuras lineales, razón por la cual es común que haya cruces y paralelismo entre ellas. Los ductos cruzan enterrados bajo las vías y es necesario garantizar su integridad. Por esta razón, es necesario realizar el diseño del cruce de manera que se verifique que los esfuerzos aplicados por las sobrecargas debidas al tráfico no afecten a las tuberías.

Para ello, hay unas recomendaciones mínimas sugeridas por la norma ASME B31.4 en cuanto a profundidades de ductos enterrados.

ZONA	COBERTURA cm (in)
Áreas industriales, comerciales y residenciales	90 (36)
Cruce de cuerpos de agua con un ancho mayor a 30,5 m	120 (48)
Zanjas de drenaje en carreteras o carrileras	90 (36)
Zonas seguras de puertos en aguas profundas	120 (48)
Áreas costa afuera en donde el nivel del agua es menor a 3,7 m medido en marea baja.	90 (36)
Cualquier otra área	75 (30)

Tabla 4.1: Profundidad mínima recomendada para ductos enterrados según ASME B31.4

Fuente: ASME



Sin embargo, con base en la experiencia de los autores, estos valores son indicativos y en muchas ocasiones se requieren estudios específicos para determinar la transmisión de esfuerzos.

El cálculo de los esfuerzos actuantes sobre las tuberías, debidos al paso del tráfico, se debe realizar teniendo en cuenta el camión o tren tipo para diseño de estas vías; la transmisión de esfuerzos se debe estimar siguiendo las metodologías propuestas en la literatura técnica como los modelos analíticos (por ejemplo, el de Bousinnesq) o los métodos de elementos finitos, y se deben comparar con los esfuerzos admisibles de la tubería. Por lo tanto, se debe conocer el tipo de suelo existente sobre la tubería, la densidad y compactación, propiedades de esfuerzo y deformación, la profundidad, y características del acero del ducto, espesor y condiciones de operación, mantenimiento y la ocurrencia de abolladuras o algún tipo de debilidad en el tramo. En el caso de presentarse debilidades se debe analizar el cambio del sitio de cruce o del tramo de tubería.

Para estas evaluaciones se sugiere la metodología propuesta en la práctica recomendada 1102 del API "Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways", en su última edición. La referencia indica cuatro verificaciones de esfuerzos: i) Esfuerzo Admisible Circunferencial de Barlow debido a la presión interna máxima de operación, ii) Esfuerzo Circunferencial Cíclico debido a la carga viva ($L' \cdot SHr$), iii) Esfuerzo Longitudinal Cíclico debido a la carga viva ($L' \cdot SLr$) y iv) Esfuerzo Efectivo ($Seff$), que es una combinación de los esfuerzos debidos a la carga de tierra, la carga viva y la presión interna máxima en la tubería.

Cuando la tubería está a suficiente profundidad o las características del suelo son muy competentes (debido a su granulometría y compactación), es posible que no se requiera ningún tipo de protección adicional. Sin embargo, cuando no es así se tienen las siguientes opciones:

- a. Reemplazo de tuberías: esta alternativa consiste en el reemplazo de las tuberías existentes por tuberías de mayor espesor, de tal manera que los esfuerzos actuantes no excedan los esfuerzos admisibles. Esta alternativa es particularmente viable en el diseño de nuevos ductos, donde se puede recomendar una tubería reforzada para el cruce.
- b. Encamisado de las tuberías con una tubería externa: para la implementación de esta alternativa es necesario excavar hasta llegar a las tuberías existentes; posteriormente, se instala una protección alrededor de las tuberías, con otra tubería de mayor diámetro. En este caso, se debe estudiar cómo opera la protección catódica del sistema en este tramo.
- c. Protección de las tuberías por medio de una estructura de concreto: este tipo de protección consiste en una placa de concreto (colocada sobre la tubería que se va a proteger) apoyada sobre zapatas, pilotes preexcavados o pantallas preexcavadas, de tal manera que los esfuerzos que se transmitan al terreno no tengan influencia sobre la tubería. Bajo la placa, entre ésta y el terreno, se coloca una capa de material compresible (tal como icopor o suelo de diferente característica), con el fin de que la mayoría de los esfuerzos que actúan sobre la placa sean transmitidos a los apoyos.
- d. Cambiar el alineamiento de la vía vehicular o férrea: si la vía está en etapa de diseño, es posible cambiar el alineamiento vertical para que la vía pase a una mayor cota, de manera que la cobertura sobre el ducto sea tal que no haya sobre esfuerzos sobre el mismo. En muchas ocasiones, reemplazar el suelo natural in-situ por un relleno seleccionado, permite reducir los esfuerzos de manera que no sea necesaria una protección adicional.

En el caso de paralelismos se han detectado varias causas de problemas para la tubería:

- i. Desestabilización del DDV: esta es la clásica interferencia en la cual el trazado de la vía cambia las condiciones geométricas del talud y se origina una falla de este. En este caso, la vía pasa sobre la parte baja de la ladera donde está instalada la tubería. Ver Figura 4.34.

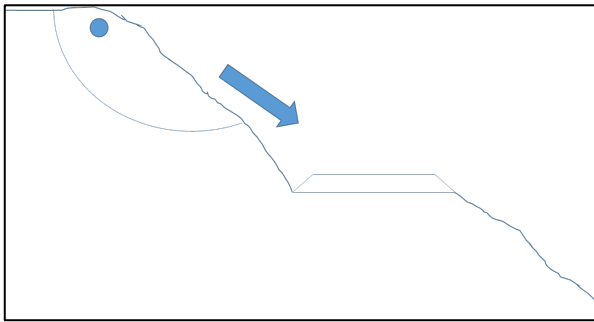


Figura 4.34: Mecanismo de falla de talud por corte
Fuente: IPG Conference 2019. Paper IPG2019-5313.

- ii. Material de excavación almacenado inadecuadamente o producto de deslizamientos sobre el DDV: en ocasiones, al realizar cortes o excavaciones en la vía o en caso de presentarse deslizamientos, el material de la vía cae sobre el DDV y por ende, el sobrepeso puede ocasionar falla del talud y socavación en el caso de presentarse flujos o cambios en las corrientes de agua por represamientos. En este caso, la vía pasa sobre la parte alta de la ladera donde está instalada la tubería. Ver Figura 4.35.

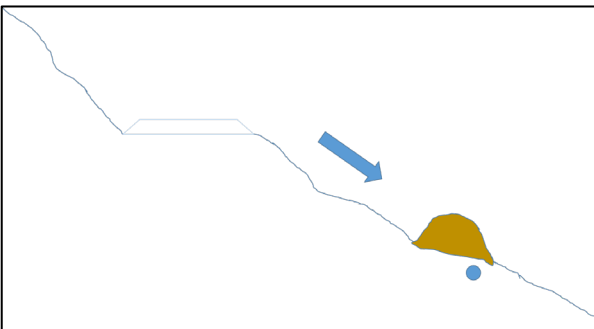


Figura 4.35 Mecanismo de falla por caída de material
Fuente: IPG Conference 2019. Paper IPG2019-5313.

- iii. Manejo de aguas: la vía se vuelve por sí misma un cortacorrente gigante, los sitios donde se descargan estas aguas se convierten en focos de socavación si no son tratados adecuadamente. El mecanismo de falla es similar al del material que cae sobre la vía.
- iv. Abultamientos: este caso es poco común pero su ocurrencia en suelos blandos se debe a la falla al corte del suelo bajo el terraplén de la vía o el terraplén de relleno en el caso de las Zonas de Manejo de Escombros y Material de Excavación (ZODMES). Ver Figura 4.35.

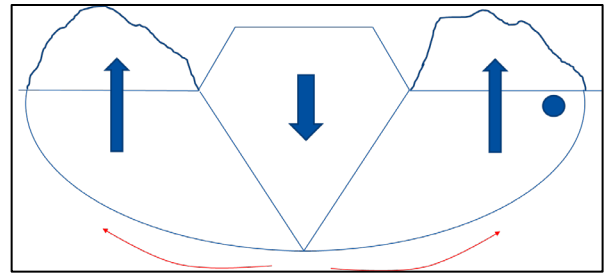


Figura 4.35 Mecanismo de falla por sobrepeso. Falla de corte.
Fuente: IPG Conference 2019. Paper IPG2019-5313.

4.7.4 Cruces con otros ductos

Los nuevos sistemas de oleoductos, gasoductos, acueductos, etc., deben instalarse por debajo de la tubería existente. Por otra parte, las líneas de servicios públicos como teléfono, cables de fibra óptica y de distribución de gas natural, de diámetros pequeños, es posible instalarlas por encima de la tubería existente, siempre y cuando se cumpla con los requerimientos establecidos tales como: i) las distancias mínimas, y ii) se ejecuten las acciones preventivas que aseguren la integridad de los dos sistemas durante su vida útil.

Se debe mantener un ángulo en el punto de cruce entre ambas líneas de 90°. De no ser posible, se recomienda que este ángulo no puede ser inferior a 70° (según API Recommended Practice 1102 Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways.).



Figura 4.36 Paso de tubería por debajo de ducto existente. Se respetan distancias mínimas.

Fuente OCENSA.


Si la tubería del tercero es de un material metálico, se deberán implementar las acciones que permitan lograr la correcta protección catódica y evitar interferencias entre ambos sistemas.

Para todos los cruces de tuberías se deben instalar protecciones mecánicas entre las facilidades, típicamente placas de concreto reforzado, que aseguren la integridad de estas durante excavaciones de emergencia, actividades de mantenimiento, etc. por parte de cualquiera de las dos compañías. De forma referencial, la protección mecánica debe quedar a más de 50 cm de distancia de las tuberías superior e inferior.



Figura 4.37: Proceso de colocación de placas de concreto protegiendo tubería inferior en cruce.

Fuente: OCENSA



Con relación a la identificación de placas y ductos, se debe realizar una demarcación de “PELIGRO -Tipo de Facilidad- ABAJO” sobre las protecciones mecánicas (placas de concreto) en letras negras sobre fondo rojo. Ejemplos: “PELIGRO GASODUCTO ABAJO”, “PELIGRO OLEODUCTO ABAJO”, etc, según aplique. De igual manera, cuando se tengan ductos de pequeño diámetro sobre líneas de conducción, se deben colocar las demarcaciones con cintas que indiquen la presencia de ducto enterrado.

En todo caso, tan importante como los cuidados durante la construcción del cruce, son los planos de obra terminada “as built” para posterior identificación de la localización de los cruces. También se recomienda la utilización de marcadores visibles en superficie, tipo postes, que indiquen la existencia de un cambio de hombro.

4.7.5 Paso por zonas pobladas

En la medida de lo posible, debe evitarse el paso de tuberías troncales principales por los centros poblados. A continuación, se referencian algunos aspectos relevantes a considerar en el escenario de que se requiera cruzar por zonas pobladas o que la expansión urbana se integre al DDV:

- a. En todo caso, no debe haber estructuras permanentes sobre el DDV (que típicamente tiene 20 a 25 m de ancho). Este aspecto se debe complementar con la verificación de las regulaciones locales que pueden ser más restrictivas que esto.
- b. El paso de tuberías en centros poblados debe ser protegido mediante la instalación de placas de concreto sobre el ducto, de manera que instale una protección física y aviso de que hay una tubería enterrada.
- c. El monitoreo permanente de dichos escenarios, son medidas importantes para hacer seguimiento a la expansión urbana que puede interferir con las líneas troncales principales y DDV.

4.7.6 Seguimiento del estado de los cruces con terceros

Para minimizar los riesgos por las actividades relacionadas con los cruces con vías, líneas de transmisión de energía, zonas de expansión urbana y en general, con cruces con terceros, se realizan diferentes medidas cuyos objetivos principales son disuadir al tercero, advertir la existencia del ducto o detener las actividades. Entre las medidas a realizar se encuentran:

1. Patrullajes permanentes aéreos o terrestres.
2. Placas de concreto, acero o de otros elementos sobre el ducto.
3. Señalización con marcadores de colores embebidos en el suelo.
4. Instalación de señales de advertencia, especialmente en cercanías a centros poblados o cruces de vías de comunicación.
5. Sensores de fibra óptica.
6. Acuerdos con otros operadores y constructores.

Las medidas anteriores se detallan en el documento titulado: Guía ARPEL de Monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las Geoamenazas, 2016.

5

Construcción de Obras Civiles en el DDV



5

Construcción de Obras Civiles en el DDV

Durante el proceso constructivo, las obras geotécnicas tienen como finalidad evitar el deterioro del DDV por el proceso de instalación del ducto y preparar las superficies intervenidas para la recuperación de las coberturas vegetales en un corto plazo, así como el adecuado comportamiento en términos de estabilidad geotécnica en el mediano y largo plazo; es decir, durante la puesta en marcha y operación del sistema.

Es importante mencionar que previo a la construcción se identifican, definen y planifican actividades asociadas al diseño, tales como: estudios de prefactibilidad y factibilidad, desarrollo de ingeniería básica y de detalle, estudios socioambientales y de inversión, entre otros. Las principales características de las actividades de diseño se presentan en el capítulo 4 de esta guía.

En el presente capítulo se mencionan los aspectos más relevantes a tener en cuenta en cada una de las etapas del proceso constructivo de un DDV, para lo cual, se referencian las obras mencionadas en el capítulo 3 de la presente guía, sin incluir sus descripciones.

5.1 ASPECTOS GENERALES DE LA CONSTRUCCIÓN

El proceso constructivo comprende el desarrollo de la planeación y programación de todas las actividades que permitan la ejecución del proyecto en los tiempos estimados y con la calidad técnica según la normativa social, ambiental y constructiva que corresponda. A continuación, se presentan los principales aspectos asociados al proceso constructivo del DDV.

5.1.1 Frentes de obra

Los frentes de obra se establecen en función de tramos de construcción relativamente homogéneos y la localización de centros poblados o logísticos. Cada uno de éstos tiene un equipo de trabajo independiente y recursos suficientes con el fin de garantizar la ejecución del proyecto en los tiempos estipulados y gestionar de manera oportuna los sitios de interés identificados por su condición de complejidad constructiva (ej., la atención de ciertos pasos especiales durante la temporada de lluvias bajas).

Cada frente de trabajo puede referenciarse considerando algunos de los siguientes aspectos:

- Abscisa inicial y final de referencias de construcción.
- Número e identificación de cruces de vías principales, secundarias y terciarias.
- Localización y longitud de vías nuevas.
- Localización y longitud de zonas de acceso.
- Número e identificación de corrientes de agua principales, secundarias y menores.
- Identificación de tramos en DDV compartido.
- Identificación de cruces con otros ductos.
- Identificación de tramos con complejidad constructiva.
- Localización y número de campamentos, y patios de acopio de ducto y materiales de construcción.

5.1.2 Subfrentes y cuadrillas de trabajo

En los proyectos de infraestructura lineal es usual dividir los frentes de obra en sub-frentes con el fin de minimizar los tiempos de desplazamiento, y contar con grupos de trabajo especializados en la ejecución de las actividades propias de la construcción de sistemas de transporte de hidrocarburos y en ciertas actividades específicas con cierto riesgo constructivo (ej. prueba hidrostática, adecuación de vías, adecuación de patios y campamentos, transporte de ducto y maquinaria).

Normalmente, en línea regular se deben estimar las siguientes cuadrillas que participarán dentro y fuera del DDV:

- Localización y replanteo.
- Adecuación de cercas y construcción de broches.
- Tala de árboles y arbustos.
- Geotecnia preliminar.
 - De construcción de trinchos.
 - De apertura del DDV.
 - De construcción de alcantarillas.
- Predoblado de tubería.
- Riego de tubería.
- Doblado de tubería.
- Lastrado de tubería.
- Alineación y soldadura.
- Ensayos no destructivos.
- Revestimiento de juntas.
- Excavación de zanja y bajado del ducto.
- Construcción de barreras en zanja.
- Tapado y reconformación final.
- Geotecnia definitiva.
- Suministro de materiales y combustibles.

En pasos o cruces especiales:

- Cruces con perforación dirigida o con tunelera de vías principales.
- Cruces de corrientes de agua principales y secundarias a cielo abierto.
- Cruces con otros ductos o líneas en operación.
- Paso en zonas con relieve escapado y abrupto.
- Paso en zonas restringidas (ambientalmente sensibles, por ejemplo).

5.1.3 Otros aspectos a considerar

Dependiendo del sector por donde se realice la construcción del ducto, se pueden presentar aspectos técnicos especiales. A continuación, se referencian algunos de ellos:

- a. En aquellos casos en los cuales inevitablemente se debe pasar/cruzar por centros poblados, se deben asignar recursos adicionales para el control de ingreso a los frentes de obra de personas ajenas al proceso constructivo.
- b. En zonas de alta montaña la variabilidad de la altitud tiene incidencia en el rendimiento de los equipos mecánicos y del personal.
- c. Las condiciones sismo-tectónicas pueden ser de interés en zonas de amenaza sísmica muy alta dada la probabilidad de ocurrencia de eventos con potencial afectación a los trabajos, por la generación de procesos de inestabilidad geotécnica en las zonas de influencia del proyecto, o afectación a trabajos propios de la construcción (por ejemplo, modificación del terreno mediante reconformación geométrica).
- d. Las condiciones de cobertura vegetal inciden en los rendimientos constructivos, siendo de mayor dificultad en zonas con vegetación densa respecto a zonas de pastos, que presentan menor dificultad.

5.2 ACTIVIDADES PRELIMINARES

En construcción de sistemas de transporte de hidrocarburos, el objetivo principal es la instalación de dicho sistema. Por ello, la temporalidad en la definición de las etapas se basa en dicha premisa. De este modo, todas aquellas actividades previas que tengan como fin principal preparar el DDV para el proceso constructivo, se conocen como “Actividades Preliminares” e incluyen el tránsito de equipos y personal que se da de manera paralela al tendido de la tubería, soldadura de lingadas y bajado.

En condiciones normales, este proceso se da como un proceso continuo a lo largo del trazado de la ruta seleccionada. Sin embargo, pueden existir dificultades en la liberación de algunos predios que impiden esta continuidad e involucran la desmovilización del tren de construcción. Esto último, puede coincidir con la condición presentada en tramos cortos de construcción, por ejemplo, cuando se construyen realineamientos en trazados existentes.

5.2.1 Construcción de accesos y adecuación de los existentes

Con base en los análisis de ingeniería y como se comenta en el capítulo 4 de este documento, en la etapa de diseño se pudo identificar la accesibilidad al proyecto, aspecto que suele tener una relevancia importante en la definición de alternativas, por cuanto, con una disponibilidad importante de accesos se minimiza el impacto ambiental y social del proyecto. Sin embargo, existen proyectos en los que la accesibilidad es mínima o nula y, por ende, el tránsito del tren de construcción debe ejecutarse a lo largo del DDV.

De esta manera, y cuando es posible, se identifican las vías principales que permiten contar con accesos directos a las diferentes rutas de las alternativas analizadas y a través de vías secundarias, terciarias o carreteables, que permitan un acceso al DDV en puntos intermedios; a partir de los cuales se transita mediante carreteo de los equipos a lo largo del mismo.

Dependiendo de las características topográficas del DDV, puede ser necesaria la construcción de accesos laterales en los tramos en que las pendientes no permitan el desplazamiento a lo largo de éste y el uso de helicópteros para la disposición de la tubería en sitios estratégicos para su tendido. En caso de optarse por esta alternativa, estos accesos laterales forman parte

de las actividades de reconformación y revegetación, de manera que no se constituyan en accesos o zonas de tránsito permanentes.

Normalmente, cuando se emplean vías de uso público, se requiere una adecuación mínima para prevenir daños por el tránsito de vehículos y en ellas no se recomienda el tránsito de vehículos de orugas por lo que será necesario, para su traslado, el uso de camabajas o camiones adaptados para este servicio. En este sentido, las obras que normalmente se ejecutan tienen que ver con el reforzamiento de alcantarillas y/o pontones, donde se identifique que no tienen la capacidad de soportar las cargas a desplazar en el proyecto.

Como práctica común, dentro del plan de manejo de vías, se debe efectuar un procedimiento de registro del estado inicial de las mismas, elaborado con las autoridades municipales, las comunidades, los contratistas y la interventoría del proyecto, para asegurar que al final de este, las vías estén en iguales o mejores condiciones que antes de la iniciación del proyecto.

5.2.2 Instalaciones temporales

Las instalaciones definidas como temporales corresponden a aquellos lugares donde se desarrollan actividades tales como: administrativas y de alojamiento, talleres de maquinaria, zonas de almacenamiento de materiales, acopios de tuberías, sistemas de potabilización y tratamiento de agua, cascos de alimentación, sistemas de recolección de residuos sólidos y líquidos domésticos, así como la disposición de residuos sólidos industriales, provenientes del mantenimiento de maquinaria, vehículos y equipos.

En casos especiales, cuando en las poblaciones cercanas al proyecto no se tiene la capacidad para asimilar la población flotante asociada al proceso constructivo, se deben construir instalaciones de habitación de personal con los servicios que se requieran para apoyo y sostenimiento (servicios sanitarios, cascos, etc.), ubicadas a una distancia adecuada para no generar efectos negativos sobre las poblaciones.

Los campamentos pueden ser principales como secundarios, y deben ser identificados desde los estudios de factibilidad del proyecto, comprendiendo aspectos como: licencias y permisos, localizaciones y tipo de implementación con base en los frentes de trabajo, entre otros.

A continuación, se presentan los principales aspectos a considerar para realizar una instalación temporal:

- Conocer el área requerida para las instalaciones.
- Distancia a poblaciones y accesibilidad al proyecto.
- Presencia de fuentes hídricas y de energía.
- Incidencia social y ambiental.
- Localización de estaciones de paso o de bombeo.
- Facilidad en su construcción.
- Ubicación en terreno firme evitando su interacción con procesos de inestabilidad.

Por otro lado, se listan a continuación una serie de ítems que pueden considerarse para la identificación en proyectos de construcción:

- Número identificador
- Localización en el proyecto (abscisa)
- Nombre del predio
- Nombre del campamento/acopio
- División política correspondiente (municipio, localidad, etc.)
- Coordenadas geográficas
- Área (Ha)
- Uso del suelo predominante
- Distancia al DDV (km)
- Observaciones (ej. con relación a su ubicación relativa a centros poblados o sitios de interés)

Las actividades de adecuación y mantenimiento que se realizan en esta clase de instalaciones son las siguientes:

- Desmonte, descapote, limpieza y retiro de vegetación para alistar el terreno donde se efectúa la construcción de las instalaciones y las obras provisionales, tales como: campamentos, oficinas, instalaciones sanitarias, etc. Se debe disponer de un área para apilar la capa orgánica removida, para su posterior incorporación en los procesos de recuperación y revegetación del terreno ocupado.
- Descapote, corte y relleno de zonas, con el fin de dar la configuración base para la localización de las obras proyectadas.

- Construcción de obras civiles, labor que a su vez implica la ejecución de excavaciones de tipo zanja y pozo para las obras de cerramiento del lote, construcción de sistemas de acueducto, instalación de tuberías y sistemas del suministro de agua potable y extracción de aguas servidas, construcción de cimentaciones y estructuras (metálicas, de concreto y tanques), vías internas y placas de piso, entre otros.

5.2.3 Localización y replanteo

Consiste en la materialización y delimitación en el terreno de las áreas a utilizar o intervenir para las obras a construir, a partir de las coordenadas y cotas establecidas en los planos de diseño y las carteras topográficas de campo.

Mediante el uso de equipos de topografía se replantea el eje de la línea, se determinan y demarcan los límites de intervención a partir del ancho establecido para el DDV y se definen chaflanes (sitios de corte y relleno). Asimismo, se define la localización de las obras de control de protección geotécnica que se deben construir y los sitios específicos para la disposición de materiales de corte (sean temporales o definitivos).

Durante el replanteo deben delimitarse las áreas sensibles ambientales o de comunidades (bosques, nacederos, bocatomas, etc.) que los estudios ambientales hayan determinado proteger, para evitar que se vean afectados por la construcción del proyecto.

5.3 ACTIVIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo comprende el ciclo de actividades que inician con la preparación de la pista del DDV, hasta la construcción de obras de geotecnia definitivas y limpieza final. A continuación, se realiza una breve descripción de cada una de ellas y de las obras que pueden asociarse.



5.3.1 Desmante y descapote

El desmante y descapote es la remoción de la vegetación y el horizonte orgánico del suelo del área del DDV. Previo al inicio de la actividad se debe realizar la delimitación de las áreas a desmontar, de acuerdo con los planos de diseño, así como el inventario forestal (demarcación de los árboles que sea estrictamente necesario afectar).

El material orgánico, producto de esta actividad, puede disponerse temporalmente a un lado del DDV con el fin de evitar que se mezcle con material producto de la excavación de la zanja. Adicionalmente, se debe evitar la migración del material hacia las zonas aledañas del DDV, para lo cual, se requieren obras en función tanto de la pendiente longitudinal como de la pendiente transversal, por lo que se pueden emplear desde barreras en sacos rellenos de suelo (en zonas planas) hasta trinchos en madera o incluso estructuras de contención como muros en gaviones o trinchos metálicos.

El desmante se restringe al ancho del DDV autorizado y debe tener en cuenta las premisas planteadas en el diseño según su topografía (por ejemplo, cuando el corredor se encuentra ubicado en lomos angostos con fuerte pendiente).

5.3.2 Geotecnia preliminar

Corresponde a la construcción de obras previas a la conformación del DDV, para almacenar temporalmente el material de corte removido durante la conformación del corredor y para la protección de áreas ambientalmente sensibles, como cuerpos de agua o infraestructura próxima al DDV, que se puedan ver afectados por el arrastre de materiales provenientes del movimiento de tierras.

Las obras de geotecnia preliminar son, entre otras: trinchos en madera para el acopio de material de corte y excavación, alcantarillas provisionales o enrocados y sedimentadores, para el paso de maquinaria a través de los cuerpos de agua, zanjas, cunetas, canales y coronas en sacos rellenos con suelo para acordonar el material de descapote y manejo e interceptación de aguas de escorrentía.

5.3.3 Apertura y conformación del DDV

Esta actividad consiste en la construcción de una pista (franja de terreno) de características tales que permitan la circulación de los equipos y el manejo de los materiales que se utilizan para la adecuación y la instalación de la tubería.


Para la conformación del DDV se requiere el retiro de vegetación, obstáculos naturales y/o de origen antrópico, retiro y disposición (o almacenaje) de materiales de corte y estériles, así como la construcción de obras de protección geotécnica del DDV (estabilización, protección, control de arrastre de sedimentos, etc.).

El material de corte debe ser manipulado de forma tal que se prevenga la generación de procesos erosivos y de inestabilidad del terreno y que pueda ser utilizado posteriormente en la reconformación final del terreno. Generalmente se utiliza equipo pesado (buldóceres, retroexcavadoras, etc.) y explosivos en algunos puntos específicos (zonas de afloramientos de macizos rocosos).

El volumen de los productos de las excavaciones de preparación de la pista dependerá de la topografía del terreno en el DDV y sus zonas aledañas. Del mismo modo, dicha topografía genera una limitación en las estructuras.

Por lo anterior, en zonas planas se pueden requerir trinchos en madera o en sacos de suelo, con el fin de confinar el material y limitar la migración de finos a zonas por fuera de la pista.

Los trinchos en madera pueden ser aplicables en diferentes topografías del terreno, sin embargo, normalmente se pueden limitar a una altura de aproximadamente 1,50 m, con el fin de evitar su colapso durante la construcción por efecto del empuje del terreno que contienen. Cuando la preparación de la pista involucra terrenos de topografía montañosa, se puede requerir el uso de doble bancas para disminuir el movimiento de tierras.



En zonas alejadas donde se transita por lomos, se recomienda el diseño de zonas de disposición de estériles, ya que la acumulación del material de dichos cortes en la corona de los lomos genera efectos de desestabilización de las laderas por sobrecarga.

5.3.4 Transporte, acopio y tendido del ducto

Consiste en el transporte de tuberías a los diferentes centros de acopio y posteriormente a los sitios de instalación a lo largo del DDV para su utilización en la construcción de la línea/ducto.

Normalmente, se tienen acopios mayores localizados en sitios estratégicos para el almacenamiento temporal del ducto y desde allí, se trasladan a acopios intermedios menores o directamente al DDV.

Los centros de acopio se determinan a partir de la logística adecuada a la estrategia de construcción correspondiente, teniendo en cuenta, además, aspectos como: facilidad de acceso, seguridad operativa (maniobrabilidad), espacio, características ambientales del sitio, proximidad (distancia mínima) a cuerpos de agua, etc.

En el DDV se ubica o dispone el ducto de modo que quede alineado a un lado del eje de instalación definitiva, a lo largo del cual se abre posteriormente la zanja y se coloca/instala el ducto soldado (lingado), labor que se realiza a lo largo de todo el trazado.

Para la actividad de tendido del ducto se emplean grúas en los centros de acopio y tractomulas o camiones para el transporte al DDV, en donde son descargados y colocados, debidamente protegidos, a lo largo del DDV. Para esta última actividad generalmente se usan equipos de manejo del ducto de pluma lateral tipo tiende tubos (side-boom). En esta actividad, normalmente no se requieren obras adicionales a las ya mencionadas anteriormente.

5.3.5 Doblado, alineación y soldadura

Es una actividad que se centra directamente sobre el ducto de transporte de hidrocarburos y en la que se obtiene la lingada por medio de tubos con curvatura que se adapta a la morfología del terreno en los sitios donde cambia su alineamiento de forma horizontal o vertical.

Para esta actividad se emplean equipos de manejo de tubería (tipo side-boom) y de doblado, que transitan a lo largo del DDV, por lo que es necesario asegurar pistas de trabajo adecuadas a las condiciones geomorfológicas presentes.

En esto se tiene en cuenta la actividad de soldadura que, adicional a los equipos mencionados, requiere movilizar trineos y motosoldadores a lo largo del DDV.

5.3.6 Apertura de la zanja

En esta actividad se hace una zanja de profundidad y ancho suficientes para instalar el ducto, tomar medidas que garanticen su estabilidad, y controlar las aguas que afloran de la excavación y las lluvias que caen y escurren en él.

Como referencia, para la instalación del ducto normalmente se ejecuta una zanja con una profundidad de 2 m y ancho de 1 m (para diámetros convencionales), salvo en el sitio donde se presentan cruces de corrientes y vías, zonas de cultivos u otros casos; en los cuales, se modifica la profundidad y el ancho en función del tipo de materiales y las necesidades de estabilización.

Durante el proceso de apertura de la zanja y el tiempo en que ésta se mantenga abierta, deben prevenirse procesos erosivos mediante un adecuado manejo de las aguas lluvias al interior de la zanja y la adecuada desviación de las aguas superficiales en el DDV.

Del mismo modo, el material proveniente de la excavación de la zanja se dispone dentro del DDV (lateralmente a la zanja) y en caso de ser necesario, se confina adecuadamente para su utilización posterior en el tapado de la tubería y el llenado de la zanja.

5.3.7 Bajado y tapado del ducto

El bajado consiste en colocar/installar el ducto en el fondo de la zanja mediante el uso de equipos adecuados, tipo "side-boom", que garanticen un manejo seguro y adecuado del ducto.

Durante esta actividad, y antes del tapado final, se construyen obras de protección y control dentro de la zanja para garantizar su estabilidad y la del ducto, especialmente en zonas con altos niveles freáticos (donde se construyen sistemas de manejo del agua sub-superficial, como filtros) o fuertes pendientes del terreno (donde se construyen barreras en zanja que permitan una adecuada confinación del relleno cuando el ángulo de fricción natural del suelo supera al ángulo de inclinación de la ladera).

El tapado del ducto resulta básico para dar una adecuada protección a la misma y dar base firme para la reconfiguración del DDV. Para ello, se debe realizar el llenado de la zanja de manera que se logre una adecuada protección del ducto, y el debido relleno, conformación y compactación del material al interior de la zanja.

5.3.8 Limpieza final

Consiste en la recolección de los diferentes elementos utilizados durante el desarrollo de las actividades constructivas tales como retal de madera, sacos de fibra, papeles y plásticos; con el fin de disponerlos como se muestra en las fichas del plan de manejo ambiental.

La limpieza debe realizarse a lo largo del corredor y en las áreas intervenidas por el desarrollo de

los trabajos, y se realiza a medida que avanza el tren de construcción. Como actividad final, se procede a reconstruir las cercas, rehabilitar los pasos del ganado, reconstruir obras de arte en carreteras, restaurar los cauces y drenajes, retirar las alcantarillas temporales y recuperar los caminos veredales.

5.3.9 Revegetación de áreas intervenidas

Esta actividad es complementaria a la de limpieza general y permite -a largo plazo- el restablecimiento de las condiciones naturales y la restitución de hábitats y nichos. En general, se propicia la recuperación de estrato rasante en unos casos, mediante la siembra de semillas o estolón de especies herbáceas (pastos, no árboles) de rápido crecimiento y en otros, a través de la protección del área afectada con agro textil y siembra de estolones de especies herbáceas nativas de regeneración natural; de modo tal que, el tipo de cobertura vegetal seleccionada sea semejante a la que se encontraba antes de la apertura del DDV (para lo cual, según el caso, se establecerán viveros temporales).

Es una actividad de especial cuidado por la delicadeza de las plantas y la magnitud de las inversiones que se deben hacer, siendo necesario un seguimiento y mantenimiento prolongados para garantizar el éxito de la vegetación utilizada.

En la Figura 5.1 se presenta una referencia de la secuencia constructiva de línea regular de un ducto.

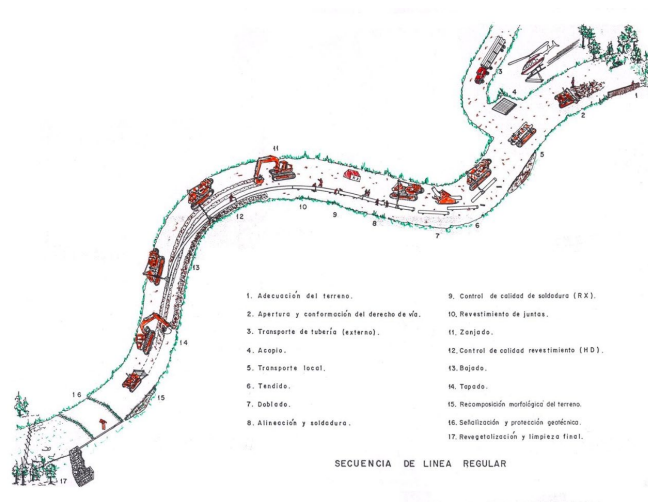


Figura 5.1: Esquema general de secuencia constructiva de línea regular de un ducto

Fuente: José Vicente Amórtégui (2021)

5.4 RECONFORMACIÓN DEL TERRENO Y OBRAS DE GEOTECNIA DEFINITIVA (PARA RESTAURACIÓN DEL DDV Y ZONAS ALEDAÑAS)

El objetivo principal de esta actividad es ejecutar medidas conducentes a la recuperación de las áreas afectadas por la construcción, con el fin de asemejar el terreno a su geoforma original suavizando los cortes para procurar su recuperación. Para el efecto, se moviliza el material de corte de la apertura del DDV mediante el retorno, en algunos casos, del material retenido en las obras de geotecnia preliminar, y en otros, del dispuesto contiguo a la zanja. Esta recuperación se realiza mediante el uso de buldócer y retroexcavadora, encargadas de reconformar los cortes realizados.

La estabilización del DDV se logra de manera natural o mediante la instalación de obras de protección geotécnica definitiva correspondientes a cortacorrientes, canales perimetrales y laterales, descoles en sacos con suelo-cemento para la evacuación de la escorrentía en los sectores de pendiente fuerte, y obras de protección del lecho y márgenes de corrientes o en los hombros del corredor como muros en gaviones.

En sectores donde se advierte la presencia de flujos de tierra o deslizamientos, deberá protegerse el corredor mediante la construcción de obras de manejo del drenaje y en casos también de contención. Por otro lado, las áreas donde el corredor corte el nivel freático deberán drenarse mediante la instalación de filtros. En general, estas obras garantizan la estabilización del suelo y el adecuado drenaje del área intervenida.

Cabe resaltar que, de forma inmediata, se efectúa la disposición del material de la capa orgánica y la revegetación de la franja, para permitir nuevamente, hasta donde sea posible, el uso del suelo, en especial, donde se cruza por zonas de terreno laborable (agrícola, ganadero, etc.).

Se culmina la actividad con el retiro y disposición de los restos de materiales de construcción y elementos sobrantes (equipos, herramientas, etc.) y en general todo tipo de material proveniente o resultante de las obras que sea ajeno al medio original.

5.4.1 En línea regular

En línea regular se identifica que las principales actividades son la recuperación de la capa vegetal y la integración del drenaje, alterada por el proceso constructivo y la instalación del ducto. Del mismo modo, en aquellos tramos donde existen sitios de interés geotécnico, dados sus inconvenientes de inestabilidad, se deben proyectar obras de mitigación asociadas con sistemas de drenaje superficial, profundo y de contención.

5.4.2 En cruces de vías y tramos especiales

Para los sectores que -por sus características físicas o ambientales- requieran procedimientos constructivos diferentes de los descritos para línea regular, se aplican procedimientos especiales. En general se consideran sitios especiales los cruces siguientes:

- Vías (principales, secundarias, férreas)
- Zonas pantanosas, inundadas o inundables
- Ductos existentes
- Pasos de topografía difícil
- Pasos de zonas altamente inestables
- Zonas de falla geológica o de riesgo sísmico
- Áreas urbanizadas
- Líneas eléctricas
- Áreas con potencial arqueológico determinado



5.4.3 En cruces subfluviales

En todos los cruces de estas corrientes la instalación de la tubería se puede ejecutar de manera subfluvial por el método de excavación a cielo abierto, para lo que se encauzan por medio del uso de tuberías en concreto o PVC colocadas en la dirección del flujo, captando el agua desde el hombro del corredor localizado aguas arriba, y vertiéndolas aguas abajo del sitio de cruce. Como medida complementaria, se propone la construcción de sedimentadores con trinchos aguas abajo, con el fin de minimizar la alteración de la corriente por el aporte de finos durante los trabajos.

Cuando el tren de trabajo requiera el paso de maquinaria y equipo sobre el cauce de los caños es necesario instalar alcantarillas, puentes provisionales o enrocados en material aluvial grueso para evitar el contacto directo de la maquinaria con el lecho de la corriente.

En otros casos, el tubo se puede instalar por el método de perforación horizontal dirigida. Este tipo de técnica constructiva permite la ejecución de un cruce de río sin necesidad de realizar una excavación a cielo abierto, o desviar la corriente de agua. Las consideraciones generales en un cruce de este tipo son:

- Elevación o cota de ubicación del ducto abajo del lecho del río: dichos valores deben ser definidos de manera específica para cada proyecto, considerando las características propias del río (ancho, caudal, profundidad de socavación, pendiente, etc.).
- Radio de curvatura de las partes curvas de la perforación: se toma como valor referencial desarrollado por la industria un radio de curvatura igual a 1200 veces el diámetro nominal de la cañería.
- Ángulos de entrada y de salida de la perforación: como referencia, el ángulo de entrada varía entre 8 y 20 grados, mientras que el de salida se recomienda que sea menor a 10 grados para facilitar las tareas de tiraje.

Con estos parámetros básicos se puede tener una idea preliminar de la longitud del cruce como paso previo a la compra de cañería (dos tramos rectos dados por los ángulos de entrada y salida, dos arcos de circunferencia dados por los radios de curvatura, y un tramo horizontal central abajo del lecho). Este tema reviste singular importancia por los tiempos para contar con los metros necesarios en el frente de obra. Una vez definida la traza preliminar, se deben verificar las tensiones de la cañería en función del espesor y el revestimiento elegidos, de manera que resista las tensiones durante la acción del tiraje de la tubería en la perforación ya terminada. Los relevamientos geotécnicos preliminares son fundamentales para definir la traza y el tipo de fluido de perforación.

Por último, la reconformación final en algunos cruces subfluviales puede requerir: construcción de muros de protección en las márgenes, instalación de colchonetas reno o enrocados en el fondo del lecho, o protección mediante sacos de fibra natural rellenos de suelo-cemento. Dichas obras tienen como objetivo evitar la generación de procesos de socavación (lateral o de fondo) que puedan afectar el ducto.

6

Operación y mantenimiento



6 Operación y mantenimiento

En el presente capítulo se presentan los principales aspectos a considerar para la operación y mantenimiento de las obras de geotecnia típicas que hacen parte de un DDV. Asimismo, es importante tener en cuenta que en muchas ocasiones las obras de geotecnia vienen asociadas a reparaciones metalúrgicas o mecánica/civiles, con lo cual, se hace relevante conocer qué tipo de producto se transporta y las condiciones operativas de la cañería en el momento de realizar las tareas.

6.1 ESTRUCTURAS DE DRENAJE

6.1.1 Descripción general

Siendo las aguas pluviales las principales causantes de deslizamientos, éstas se deben controlar con el fin de mantener la estabilidad geotécnica del talud. El manejo correcto de la capa freática es una medida fundamental para preservar la estabilidad durante un evento pluviométrico intenso.

Durante un evento de lluvia, parte del agua precipitada genera escurrimiento superficial y parte genera escurrimiento subsuperficial después de infiltrarse en el suelo. Como resultado, tenemos agua superficial y subterránea: la superficial debe conducirse por cunetas, canales y escaleras, mientras que el agua subterránea debe ser retirada a través de trincheras, barbacanas, drenajes profundos, pozos, etc.

Por tratarse de medidas bastante efectivas, pasivas y de bajo costo de implementación y mantenimiento, un sistema de drenaje muchas veces es la única medida de estabilización aplicada y de importancia fundamental para mantener bajas las presiones de poro, así como para reducir empujes en estructuras de contención (muro, cortinas de concreto, etc.). El correcto funcionamiento del sistema de drenaje debe garantizarse a través de un plan de mantenimiento.

De modo general, las estructuras de drenaje superficial son relativamente frágiles, pues no se proyectan con la función de contener el movimiento del suelo, sino de conducir las aguas. De esta manera, en los elementos conductores, comúnmente, surgen grietas y fallas de continuidad debido a acciones de la vegetación, variaciones volumétricas y pequeños movimientos de suelo, o incluso debido al pisoteo de animales de gran porte.

Cabe destacar que un drenaje dañado puede generar puntos de infiltración preferenciales y concentrados, pudiendo incluso resultar en áreas de inestabilidad en virtud de su fracaso operacional, como ejemplifica la figura debajo..



Figura 6.1 Drenajes dañados causando puntos de infiltración y erosión concentrados y preferenciales

Fuente: Transpetro

Con relación al plan de mantenimiento de estructuras de drenaje, éste debe elaborarse considerando las estaciones climatológicas del año, su relación con regímenes pluviométricos y eventuales caídas de material vegetal o sedimentación de suelos que obstruyan los drenajes superficiales. Cada zona y clima demanda un plan de mantenimiento distinto que debe componerse de aspectos de carácter preventivo y correctivo, definidos en acuerdo con la rutina de inspección del DDV.

Para que el sistema de drenaje mantenga la capa freática bajo control es fundamental que los drenajes estén siempre limpios y funcionales, en especial antes del período de lluvias.

6.1.2 Mantenimiento de sistemas de drenaje superficial

Las estructuras superficiales más comunes son las cunetas, cortacorrientes, canales, cajas de paso, escaleras y disipadores, que pueden ser de diferentes materiales, tales como: concreto armado, concreto, sacos de suelo-cemento, césped sintético, suelo, concreto premoldeado, etc.

Este tipo de estructura se mantiene con limpieza periódica, removiendo el material sólido depositado que pueda obstruir el paso del agua. El material de estas estructuras (comúnmente concreto o saco suelo-cemento) debe repararse apenas se detecte la falla estructural del mismo, evitando, de esa manera, infiltraciones en puntos preferenciales y concentrados. En la Figura 6.2 se observa un ejemplo de canal sedimentado, con poca funcionalidad y con requerimiento de mantenimiento correspondiente a su limpieza y recomposición.



Figura 6.2 Cuneta obstruida por falta de limpieza periódica

Fuente: Transpetro

La interfaz suelo/estructura debe permitir que el agua de escurrimiento superficial del terreno se dirija a la cuneta. Ante la pérdida de suelo en la interfaz, se recomienda que el vacío se llene con material resistente al arrastre por las aguas. Ver Figura 6.3.

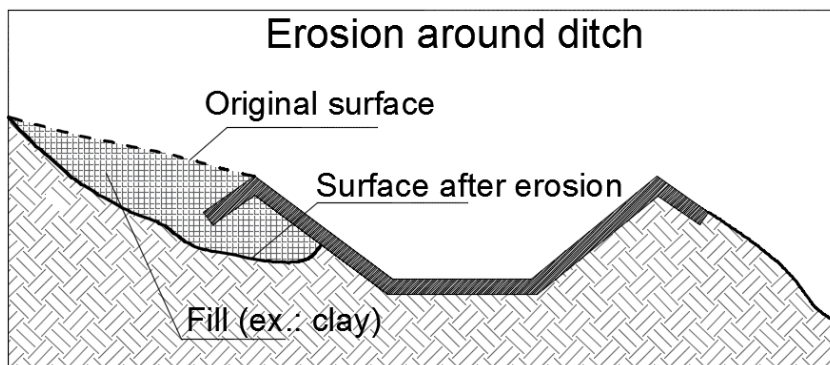


Figura 6.3 Interfaz suelo/estructura con pérdida de material. Rellenar con suelo de arcilla compactado

Fuente: Transpetro

Las reparaciones y construcciones efectuadas deben ejecutarse de forma que sean moldeados in situ, a fin de que el material utilizado se acomode a la zanja excavada en la superficie y así evitar vacíos en donde pueda haber flujo preferencial y concentrado, comúnmente observado en cunetas del tipo premoldeada. Ver Figura 6.4.

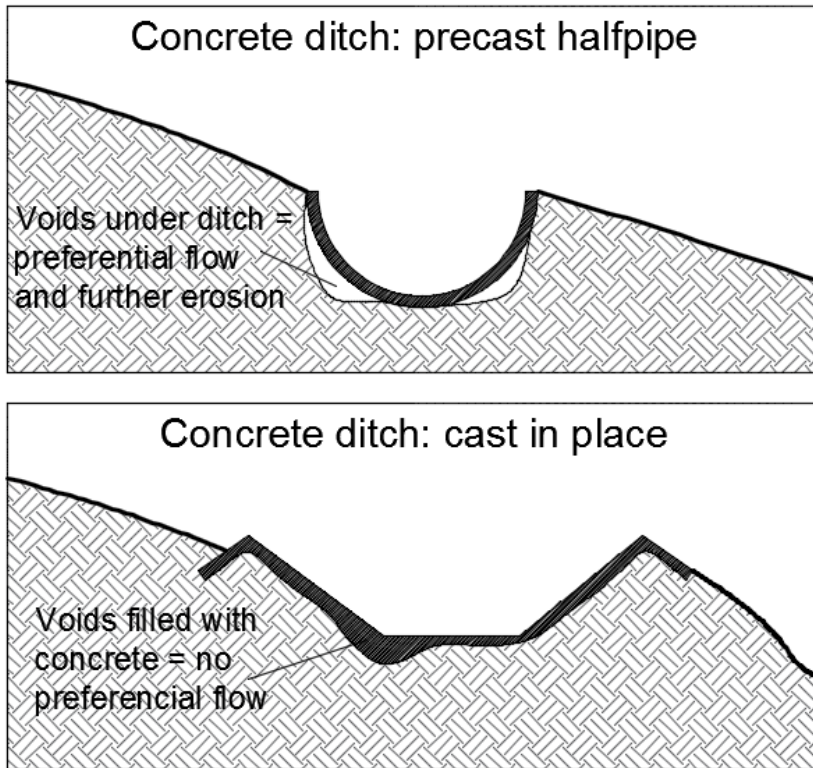


Figura 6.4 Comparación entre tipos de construcción de cuneta

Fuente: Transpetro

En la Figura 6.5 se presenta un ejemplo referencial del mantenimiento de cortacorrientes y canales en saco suelo-cemento. Las acciones principales que se efectúan en dicho mantenimiento comprenden su limpieza, recomposición y reparación.



Figura 6.5 Manejo superficial de aguas mediante canales de saco suelo cemento

Fuente: OCENSA

Con relación a las estructuras de concreto para drenaje superficial, éstas deben construirse con capacidad suficiente para soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidas. En el caso de pequeñas cunetas, normalmente se refuerzan con una malla metálica para soportar esfuerzos comunes, tales como: pisoteo de animales, paso de vehículos livianos, pequeños efectos de raíces, pequeños movimientos y variación volumétrica de los suelos. Tanto en la construcción como en las reparaciones, el concreto utilizado debe ser de baja relación, para evitar la instalación de raíces e inicio de procesos de deterioro de la pieza. En las Figuras 6.6, 6.7 y 6.8 se presentan algunos ejemplos referenciales de daños en estructuras de concreto para drenaje superficial.



Figura 6.6 Escalera con concreto en principio de deterioro por falta de armadura y porosidad

Fuente: Transpetro



Figura 6.7 Daños en la base del drenaje e instauración del proceso de erosión

Fuente: Transpetro



Figura 6.8 Lateral de canal que requiere reparación externa simplificada

Fuente: Transpetro

Con el fin de evitar un punto de infiltración, las piezas con fisuras deben someterse a reparación estructural, respetando el recubrimiento mínimo y la superposición de armadura. Eventualmente, el puente de adherencia entre las piezas del elemento de drenaje. Siempre que sea necesario, las fisuras deberán ser agrandadas para una correcta recuperación estructural.

Se debe tener en cuenta la correcta compactación del terreno de fundación y la colocación de cortacorrientes transversales para evitar el sifonamiento (piping) longitudinal de material fino. Dichos cuidados especiales son indispensables cuando la pieza está dañada en su base, donde generalmente hay presencia de agua. En los laterales de los canales se pueden ejecutar reparaciones simplificadas y externas sin grandes compromisos, ya que esas regiones poseen paso de agua esporádica, y están menos sujetas a erosión laminar continua.

Para estructuras existentes que tengan concreto poroso, se recomienda la aplicación periódica de una capa de mortero de cemento y aditivos.

Los canales y cunetas, por su gran extensión y exposición a los rayos solares, deben tener un tratamiento especial de las juntas, ya que éstas suelen ser puntos preferenciales y concentrados de infiltraciones. Siempre que sea posible, deben constituirse de elementos distintos con cajas en sus uniones. En la Figura 6.9 se presenta el estado final de un canal colector, después de su mantenimiento. Asimismo, en la Figura 6.10, se presenta un esquema de mantenimiento de canales o cunetas mediante la adecuación de cajas disipadoras.



Figura 6.9 Vista general de canal con mantenimiento finalizado

Fuente: COGA

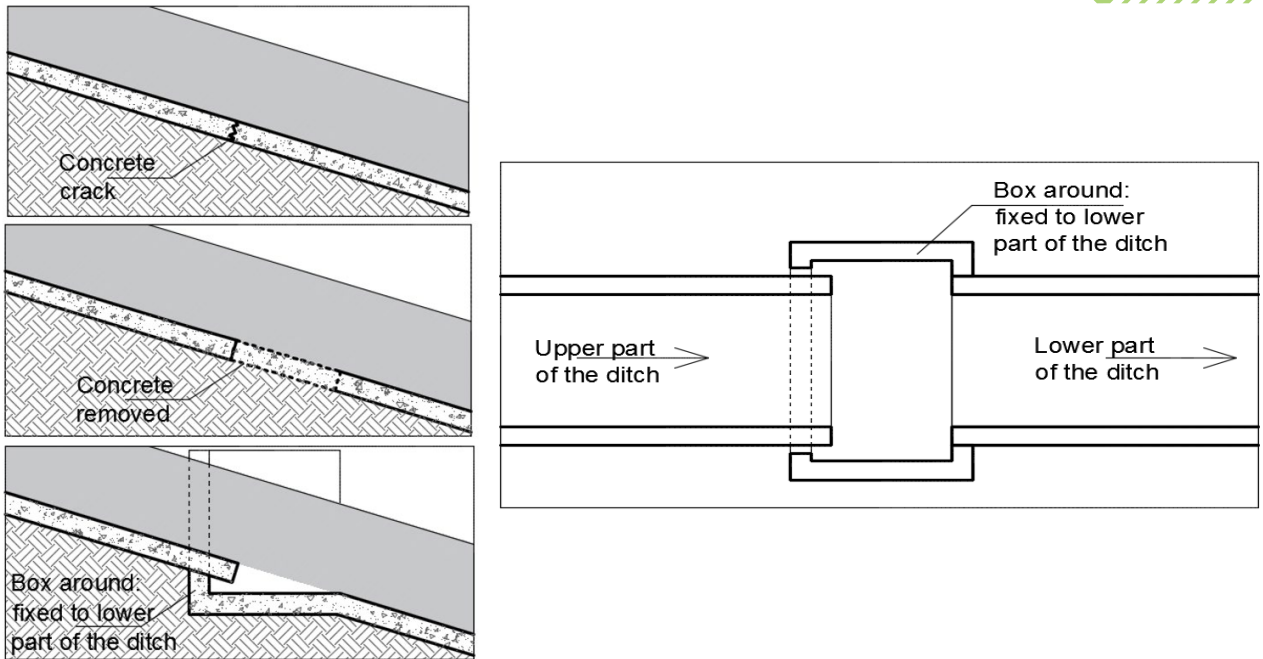


Figura 6.10 Corrección de cunetas con separación longitudinal (vista perfil a la izquierda y planta a la derecha)

Fuente: Transpetro

6.1.3 Mantenimiento del sistema de drenaje subterránea

Los sistemas de drenaje subterráneo, dada su mayor dificultad de limpieza y mantenimiento, deben construirse previendo evitar la necesidad de mantenimiento, de ser posible. Las estructuras de drenaje subterráneo más comunes son los DHP (Dren Horizontal Profundo), trincheras de drenaje, pozos y barbacanas.

Generalmente, el proceso de limpieza se realiza a través de la inyección de fluido presurizado de modo de invertir el flujo y eliminar atascos. Igualmente, la limpieza mecánica para remoción de raíces y tierra también se hace necesaria en muchas estructuras.

6.1.3.1 Drenaje horizontal profundo – DHP

Las estructuras de drenaje horizontal profundo deben limpiarse mecánicamente, removiendo raíces de vegetación y tierra depositada en su interior y por medio de presurización de agua en su interior para eliminar atascos del material filtrante de su entorno. Ver Figura 6.11.

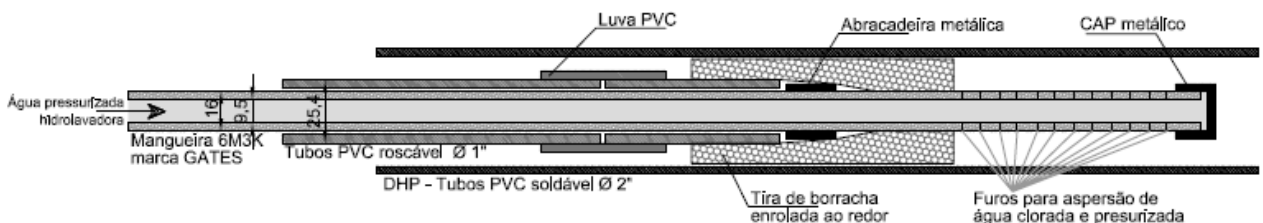


Figura 6.11 Ejemplo de un émbolo para aspersão de água pressurizada e clorada dentro do ducto do DHP

Fuente: Transpetro

El chequeo del caudal de los DHP es importante, no solamente en el acompañamiento del atasco de los filtros, sino también en la verificación del eventual rompimiento del ducto por movimientos del terreno. Por eso, se recomienda el plan de verificación de toda la extensión del ducto a través de la inserción de barras largas. La medición periódica del caudal de los drenes constituye una buena práctica, en especial en períodos antes y después de la limpieza, para poder verificar la efectividad del proceso.

En el caso de seccionamiento de DHP con caudal activo, debe realizarse la ejecución de uno nuevo. En este momento, se destaca que el sencillo mantenimiento de caudal de un elemento seccionado puede tener correlación con el avance de la línea freática, lo que disminuye la reserva de estabilidad en eventos pluviométricos extremos. Ver Figura 6.12.



Figura 6.12 Sistema de desarrollo del DHP con voladura de los filtros

Fuente: Horta et. al. VALE

Comúnmente se instalan elementos vegetales (raíces) a lo largo del DHP ocasionando la retención de finos acarreados por el agua percolada, obstruyendo el DHP. Debido a tal fenómeno, debe realizarse la limpieza mecánica con la remoción de estas raíces, generalmente, realizada a través de la inserción de una larga barra metálica con un gancho en su extremo. Ver Figura 6.13.



Figura 6.13 Gancho utilizado para limpieza mecánica (izquierda) y Raíces retiradas con auxilio del gancho (derecha)

Fuente: Transpetro

Para una limpieza más efectiva pueden utilizarse herramientas y maquinarias propias y comunes en desobstrucciones de tuberías de desagües, tipo “roto-rooter”. Ver Figura 6.14.



*Figura 6.14 Típico equipamiento de desobstrucción de ducto de desagüe (izquierda).
Raíces retiradas en el proceso de limpieza (derecha)*

Fuente: (a) Desentupidora Porto Alegre RS. (b) Transpetro.

En algunos tipos de suelos hay formación de finos taponamientos que bloquean los elementos filtrantes (geotextiles y telas de nylon). En algunas regiones, estos elementos fisicoquímicos son llamados “ocre” y se originan por actividades bacterianas. En la Figura 6.15 se muestra el acarreamiento del ocre adentro del DHP.



Figura 6.15 Presencia de ocre en agua drenada por el DHP.

Fuente: Transpetro

Preferentemente, los DHP deben construirse con inclinación negativa (abajo de la vertical), de este modo, al trabajar “ahogado” se evita el desarrollo de bacterias formadoras de ocre. Para el caso de DHP con inclinación positiva, la existencia de oxígeno en su interior propicia la formación de ocre a lo largo de su extensión.

La aspersión de agua presurizada y a velocidad dentro del DHP posibilita la segregación y remoción del ocre, sin embargo, se necesita agregar cloro al agua de inyección para remover las bacterias que dieron origen al elemento, resultando en una limpieza más efectiva y duradera.

6.1.3.2 Barbacanas

El proceso de mantenimiento de barbacanas es bastante similar al de los DHP. Por ser sencillo, de fácil acceso y de pequeña profundidad, pueden limpiarse fácilmente durante la etapa de inspección, removiendo raíces y elementos grandes existentes. Eventualmente, se puede realizar un proceso de lavado con agua presurizada, como el realizado en DHP.

En caso de errores de construcción/proyecto, puede ocurrir pérdida del material drenante por dentro del ducto de la barbacana. En este caso, hay que mitigar dicho proceso que ocasiona erosión interna del macizo, insertando elementos drenantes dentro del pequeño trecho de ducto a partir de la instalación de una nueva tubería (revestida por geotextil/tela nylon) por dentro de la existente.

6.1.3.3 Pozos verticales

De significativo empleo e importancia durante la atención de emergencias de escorrentía, los pozos poseen elevada capacidad de drenaje y disminución del nivel de la capa freática, pero necesitan el bombeo forzado. No obstante, son elementos no pasivos, de alto costo operacional y por ende, de baja utilización.

En situaciones de emergencia se necesita tener la estructura apta para operación. En el caso de pozos de drenaje, su limpieza podrá ocurrir cuando este es del tipo revestido. La limpieza deberá realizarse similarmente a la limpieza de DHP, o sea, con la remoción mecánica de raíces además de inyección de agua clorada y presurizada.

6.1.3.4 Trincheras

Las trincheras de drenaje son elementos de poca o ninguna necesidad de mantenimiento. De modo general, el único servicio necesario es la limpieza mecánica en el punto de desagüe del agua.

En raras ocasiones, los movimientos de suelos y raíces vegetales pueden perjudicar su funcionamiento pues, de modo general, las trincheras son elementos bastante flexibles y se acomodan sin romperse.

En el caso de superficies de ruptura de grandes desplazamientos o raíces de grandes vegetaciones que alcancen el elemento drenante, puede llegar a comprometerse significativamente su funcionalidad. De esa forma, hay que realizar el corte de vegetación en la región de la trinchera drenante, además del mantenimiento correctivo en los casos específicos de grandes deformaciones.

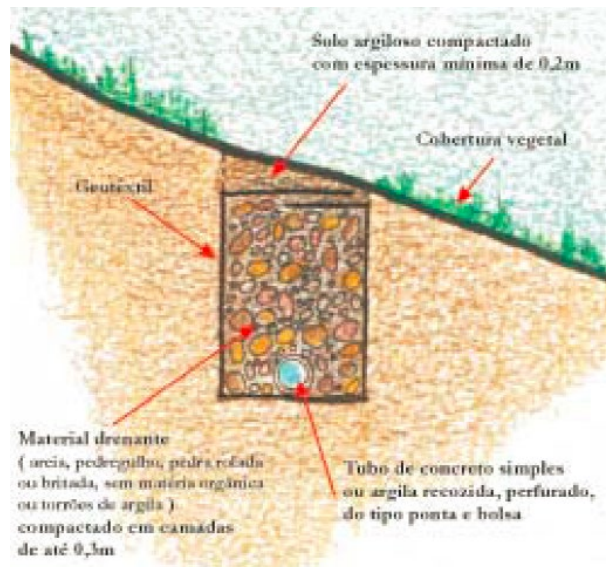


Figura 6.15 Presencia de ocre en agua drenada por el DHP.

Fuente: Transpetro

6.2 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

6.2.1 Descripción general

Sean de tipo gravedad, atirantados o clavados, los muros de contención están entre las principales medidas de estabilización de taludes y en especial, de franjas de ductos que crucen por ella.

De fundamental importancia, dichas estructuras deben tener su desempeño original garantizado a través de un proceso de mantenimiento preventivo. Siempre que el mantenimiento preventivo no sea efectivo, hay que considerar que la estructura puede estar sin su factor de seguridad original y aunque no presente patología o indicios de pérdida de desempeño, podrá resultar en rompimiento estructural en un momento único y esporádico, es decir, durante un evento de lluvia significativa.

En casos donde la estructura presente patologías evidentes, su simple corrección puntual podrá no ser suficiente, pues muchas veces, la estructura presenta falla de proyecto y no solamente de falta de mantenimiento preventivo. De todos modos, es necesario realizar las correcciones puntuales apuntadas en el proceso de inspección, así como evaluar el desempeño de la estructura verificando el cumplimiento de las premisas de proyecto y de su pertinencia.

Como son estructuras con dificultad de acceso, que demandan trabajo en altura, volumen significativo de material y mano de obra, la fase de mantenimiento debe ser bien evaluada, aún en la idealización del proyecto, es decir, siempre que sea posible se debe optar por estructuras de menor nivel de mantenimiento. Abajo sigue un ejemplo de suelo clavado con paramento (pared) en malla vegetal, evitando el mantenimiento, solo comúnmente utilizado en el caso de concreto proyectado. Ver Figura 6.17.



Figura 6.17 Suelo clavado con paramento en tela metálica galvanizada y revestimiento en PVC

Fuente: Transpetro

Sobre el plan de mantenimiento de las estructuras de contención, éste debe dividirse en mantenimiento preventivo y correctivo. El plan de mantenimiento correctivo debe realizarse a demanda según las necesidades indicadas en los procesos de inspección. El plan de mantenimiento preventivo es dependiente del tipo, material y desempeño de cada estructura en sí misma. Sin embargo, algunos puntos son, generalmente, aplicados a la gran mayoría de las contenciones como es el caso del mantenimiento de drenajes.

Luego, se entiende que el plan debe elaborarse según la respuesta práctica de cada estructura, y demandando revisión frecuente a fin de reflejar la experiencia acumulada.

De manera general, los planes de mantenimiento deben, casi siempre, incorporar procesos de limpieza y retiro de vegetación para permitir la inspección adecuada y el correcto mantenimiento correctivo.

6.2.2 Mantenimiento en el drenaje de estructuras de contención

De un modo general, las estructuras de contención son proyectadas sobre la premisa de funcionamiento pleno de elementos de drenaje. Con fuerte relación con el numeral 6.1 de este capítulo, los elementos de drenaje de una estructura deben ser constantemente mantenidos e inspeccionados para garantizar el desempeño de las contenciones.

De difícil inspección y verificación de desempeño, las estructuras de drenaje de trasdós y profundas pueden generar patologías aparentes en la estructura cuando su desempeño es insuficiente. En estos casos, podrán ser necesarios procesos de reconstrucción parcial o total de las estructuras de drenaje enterradas.

6.2.3 Mantenimiento en muros de contención pasivos

Generalmente, este tipo de contención presenta bajo nivel de mantenimiento, pues no existen elementos activos (tirantes) en su constitución. Su mantenimiento se hace necesario en los elementos de drenaje y en sus materiales de constitución donde, para cada material se requiere un proceso específico.

6.2.3.1 Muros en gavión

De menor necesidad de intervención y mantenimiento, este tipo de estructura presenta, básicamente, necesidad de mantenimiento con relación a su malla. Generalmente formados por elementos metálicos galvanizados y revestidos por polímeros, la durabilidad de dichos elementos es relativamente extensa. Sin embargo, en lugares puntuales es común ver pérdida de revestimiento polimérico (o su inexistencia) exponiendo de esa manera a la malla que podrá entonces sufrir oxidación por pérdida de su fina capa de protección.

Siempre que se observe tal fenómeno de manera generalizada en una sección homogénea de malla, es necesario proceder a la recuperación de este tramo a partir del refuerzo o recambio, a través de la inclusión de un nuevo tramo de malla aplicado al tramo dañado y siempre que sea posible, con aplicación de tensión en el nuevo tramo, evitando desplazamientos y deformaciones no deseados en la estructura.

En lugares donde puedan ocurrir desplazamientos de bloques, como en la orilla de ríos, la malla podrá romperse en virtud de los impactos. En esos casos, es común realizar su sustitución, conforme indicado anteriormente, además de aconsejarse el lanzamiento de concreto superficial para servir de capa de protección y evitar la ruptura de la malla por abrasión y punzonado.

En las estructuras de contención pueden ocurrir problemas específicos de proyecto, en cuyos casos es necesario realizar la reconfiguración de la estructura y la corrección/refuerzo necesarios para su desempeño adecuado. La Figura 6.18 muestra una ruptura de fundación, dando a entender que hubo falla en el desempeño de la estructura por el diseño inadecuado de un proyecto o por insuficiencia y limitación de investigación geotécnica.



Figura 6.18 Falla de la estructura de contención

Fuente: Transpetro



Figura 6.19 Gavión derribado debido al proceso de solapamiento de fundación, requiriendo reconstrucción como mantenimiento correctivo

Fuente: Transpetro

6.2.3.2 Muros en concreto

Conforme citado anteriormente, además del mantenimiento de los elementos de drenaje, hay que respetar el adecuado proceso de inspección y mantenimiento del material constituyente. En el caso específico del concreto, su mantenimiento se realiza a través de investigación y corrección, es decir, investigación por ensayos y corrección conforme la patología encontrada.

Para la investigación se necesita efectuar distintos ensayos como, por ejemplo: verificación del desplazamiento superficial del concreto armado, verificación del pH, verificación de la exposición y las condiciones de armadura, resistencia por toma de muestra con esclerómetro, etc. De origen vinculado al proyecto y proceso de construcción, las patologías comunes para cada estructura podrán demandar frecuencia de mantenimiento y plan especial para cada estructura, pero es posible especificar procesos de limpieza superficial por limpieza de panel por aspersion de agua, pinturas selladoras y cristalizadoras de superficie, tratamientos y renovación de polímeros en juntas, etc.

En las siguientes figuras se presentan algunos casos referenciales del estado de muros de concreto y su tipo de mantenimiento.



Figura 6.20 Contenciones en concreto con necesidad de tratamiento superficial y en juntas

Fuente: Transpetro



Figura 6.21 Estructura con armadura expuesta con necesidad de tratamiento anti-oxidación y recubrimiento con argamasa de reparación estructural

Fuente: Transpetro



Figura 6.22 Estructura con armadura expuesta en panel, con necesidad de tratamiento anti-oxidación y recubrimiento con argamasa de reparación estructural

Fuente: Transpetro

6.2.4 Mantenimiento de pantallas o cortinas de contención activas – atirantadas

Por ser altamente dependientes de los tirantes metálicos, las cortinas atirantadas deben ser frecuentemente verificadas con relación a la integridad de los tirantes y sus cargas activas.

Como este proceso de verificación de carga es bastante costoso y puede acarrear la ruptura de los elementos de contención, se aconseja que el proceso de mantenimiento/sustitución se realice junto con la evaluación, es decir, que al verificar los elementos también se puedan sustituir los tirantes.

El ensayo de verificación de carga en los tirantes debe ser incluido como muestreo en el plan de mantenimiento de las cortinas atirantadas. Tal actividad debe realizarse de manera distribuida en el panel y en aquellos tirantes aparentemente íntegros. Complementariamente, se recomienda la realización de ensayos no destructivos por ondas guiadas u otro método, que permita la verificación rápida de la integridad a lo largo del tirante, para -de esa manera- evaluar la mayor parte de los elementos.

Con los resultados de la evaluación de las nuevas cargas y de la integridad de los elementos, se debe analizar y juzgar la necesidad de reinstalación, sustitución de elementos rotos o, incluso la necesidad de refuerzo estructural de modo puntual o de la cortina en su totalidad. En la Figura 6.23 se presenta un ejemplo de cortina atirantada con necesidad de mantenimiento. Asimismo, en la Figura 6.24 se puede observar un ejemplo de ensayo de verificación de carga tirante.



Figura 6.20 Contenciones en concreto con necesidad de tratamiento superficial y en juntas

Fuente: Transpetro



Figura 6.24 Ensayo de verificación de carga en tirante

Fuente: Transpetro

La parte externa de los tirantes debe tener protección anticorrosión y en algunos casos, protección anti-vandalismo. Comúnmente, se emplean protecciones con cabezales en concreto alrededor. En ese caso, es importante que la interfaz entre el panel de la cortina y el cabezal esté sellada con el fin de evitar un punto preferencial de corrosión. Para facilitar los procesos de inspección visual, de integridad y de verificación de carga y reinstalación, es preferible realizar la protección con pintura epoxi.

En las Figuras 6.25, 6.26 y 6.27, se pueden observar algunos tipos de cabezales de tirantes con requerimiento de mantenimiento.



Figura 6.25 Cabezal de protección sin la correcta intercomunicación con el panel de la cortina, ni con argamasa resistente que propicie pasivado del herraje

Fuente: Transpetro



Figura 6.26 Cabeza de tirante en proceso de corrosión, con necesidad de pintura o cabezal de protección

Fuente: Transpetro



Figura 6.27 Cabeza de tirante después del retiro del cabezal de protección, con necesidad de pintura

Fuente: Transpetro

6.3 MANTENIMIENTO EN CRUCES DEL DUCTO

6.3.1 Cruces subfluviales

El mantenimiento de cruces en franjas de ductos con cursos de agua es altamente dependiente de la estacionalidad del cuerpo de agua y de la concepción de instalación en la construcción del ducto. Independientemente de que los cruces sean de tipo no protegidos o protegidos por estructuras de revestimiento de canaleta, se debe tener un proceso de inspección y mantenimiento a fin de que el cruce no ponga al ducto en situación de vulnerabilidad.

Se entiende por vulnerabilidad en cruces a las situaciones en las que el ducto pueda quedar expuesto y eventualmente suspendido, pues en el primer caso existe la posibilidad de que haya impactos directos en el ducto (o sea, bloques de roca, máquinas, etc.) y en el segundo, adicionalmente a la vulnerabilidad a impactos naturales o a acciones de terceros, se agregan la tensión permanente de su propio peso y los esfuerzos hidrodinámicos.

El plan de inspección y mantenimiento en cruces subfluviales debe realizarse, preferentemente, durante la estación estival, en especial si la estacionalidad seca el terreno. Durante el planeamiento de los servicios de mantenimiento se debe estar atento a los distintos regímenes que el cuerpo hídrico puede alcanzar, incluso en escalas de años o hasta décadas. Debido a esos aspectos, el plan debe estar dividido en mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

6.3.1.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo sirve para evitar que el ducto se someta a situaciones de vulnerabilidad durante un evento de alteración del canal del cuerpo hídrico. Las alteraciones, naturales o no, de las condiciones de caudal y velocidad del canal de drenaje deben monitorearse, pues en momentos de crecidas puede agrandarse el canal, desbordarse con erosión en regiones no previstas, excavarse el lecho, etc.

A continuación, se presentan algunas actividades de mantenimiento preventivo:

- Revestimiento del lecho y orilla evitando erosiones
- Dragado de canal evitando elevación de cotas

- Retiro de vegetación para reducción de rugosidad
- Inserción de vegetación para elevación de rugosidad y con ello, estimular la deposición
- Recomposición de geometría de las orillas para evitar rupturas en situaciones de rápido descenso del nivel de agua
- Limpieza del lecho mayor en sección mixta o de obras existentes

6.3.1.2 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se podrá requerir después de grandes eventos de movimiento del cruce. En esos casos, se debe intervenir, no para desacelerar el proceso, sino para recomponer la situación de protección del ducto. Generalmente este tipo de intervención genera la necesidad de realizar obras como gaviones, concretos u otro tipo de alternativa de obra.

- Las actividades de mantenimiento correctivo comprenden, básicamente, las siguientes acciones:
- Corregir áreas de erosión entre interfaces de materiales
- Recomponer orillas rotas y lechos excavados
- Proteger la franja contra intentos de formación/abandono de meandros en ríos activos
- Alterar la geometría y profundidad del ducto
- Reparar o reconstruir obras existentes

En las Figuras 6.28, 6.29 y 6.30, se pueden observar algunos ejemplos de cruces subfluviales con requerimiento de mantenimiento.



Figura 6.28 Lecho con necesidad de mantenimiento correctivo para lograr cobertura para protección mecánica

Fuente: Transpetro



Figura 6.29 Ducto que muestra la posición del lecho del río, cuando éste se encontraba subterráneo (ducto desactivado-fuera de operación)

Fuente: Transpetro



Figura 6.30 Ducto enterrado y con cobertura adecuada, con necesidad de mantenimiento preventivo en toda la orilla para evitar nuevos escurrimientos

Fuente: Transpetro

En la Figura 6.31 se presenta un ejemplo de trabajos de mantenimiento correctivo en un muro de gavión marginal de un cruce subfluvial.



Figura 6.31 Trabajos de mantenimiento correctivo en muros de gaviones conformado por cantos de roca

Fuente: OCENSA

6.3.2 Cruces aéreos

Los procesos de mantenimiento geotécnicos en cruces aéreos son similares a los de los cruces de ductos enterrados, pero sin las preocupaciones directas con relación al lecho de los cursos de agua. En el caso de cruces aéreos, son las bases de anclaje del ducto las que merecen atención dado que los procesos de solapamiento de cimientos e incluso de pérdida de soporte por saturación, pueden ofrecer riesgos y fallas en el desempeño de las estructuras construidas.

El plan de inspección debe realizarse en tales estructuras de cimientos para verificar la necesidad de mantenimiento preventivo o correctivo para garantizar o recuperar la integridad del cimiento. En la Figura 6.32 se presenta un ejemplo referencial de la ruptura del cimiento de la estructura de soporte de los ductos.



Figura 6.32 Cruce aéreo con pérdida de soporte debido a la ruptura de cimientos de la viga

Fuente: Transpetro

6.4 MANTENIMIENTO EN ÁREAS CON INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA-MONITOREO

Los instrumentos geotécnicos en taludes son de los más variados tipos, algunos de baja necesidad de mantenimiento y otros que demandan mantenimiento especializado, como es el caso de los instrumentos eléctricos y automatizados.

6.4.1 Instrumentos geotécnicos convencionales

Son llamados instrumentos geotécnicos convencionales aquellos de actividad típica de geotecnia, de mantenimiento y operación no dependientes de fabricantes o incluso de actividad especializada y exclusiva. En este tipo de instrumentos se incluyen los inclinómetros, piezómetros, medidores de nivel de agua e inclusive algunos casos con drenes horizontales DHP.

A excepción de los DHP, cuyo mantenimiento se mencionó anteriormente, los instrumentos convencionales no presentan alto nivel de mantenimiento. En este caso, el mantenimiento requerido se refiere a sus accesos, identificación y protección de su integridad física superficial, con control y atención al plan de mantenimiento de rutina. Ver Figura 6.33.



Figura 6.33 Mantenimiento de accesos a los instrumentos

Fuente: Transpetro

En el plan de mantenimiento deben estar las actividades de verificación de la integridad de los instrumentos, es decir, en el caso de inclinómetros, su integridad debe verificarse antes de la lectura propiamente dicha. En otras palabras, se debe ejecutar el paso de torpedos ciegos hasta el fondo del tubo vertical de modo de evitar pérdida del torpedo de lectura por estancamiento.

Para instrumentos de piezometría, la verificación de la integridad debe realizarse con el fin de evaluar la profundidad del instrumento analizado, es decir, si éste no está seccionado a lo largo de su extensión por problemas de movimientos. En las Figuras 6.34 y 6.35, se presentan algunos ejemplos referenciales de las protecciones de algunos instrumentos de monitoreo convencionales.



Figura 6.34 Protección de instrumento tipo piezómetro

Fuente: Transpetro



Figura 6.35 Mantenimiento en la identificación de los instrumentos

Fuente: Transpetro

6.4.2 Instrumentos automatizados

Son instrumentos automatizados aquellos equipamientos que requieren mantenimiento específico en procesos eléctricos y de automatización, tales como: extensómetros, tensiómetros, células de carga, pluviómetros, etc.

Para cada instrumento de este tipo se necesita seguir el procedimiento de mantenimiento y principalmente de calibración, conforme recomendado por el fabricante, sin perjuicio de los demás procedimientos de conservación de equipamientos de electrónica como limpieza de contactos, conservación de cables, baterías, etc.

En virtud de eso, el plan de mantenimiento de los instrumentos/taludes debe abarcar las especificidades de cada equipamiento. Aunque se haya citado anteriormente la conservación de los inclinómetros cabe destacar la necesidad de seguir con la calibración y el mantenimiento de la electrónica del torpedo de lectura de este tipo de equipamiento. En la Figura 6.36 se presenta un ejemplo de protección de instrumentos automatizados para el monitoreo del DDV.



Figura 6.36 Protección de instrumento automatizado en concreto

Fuente: Transpetro

6.4 MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS ESPECIALES – LIBERACIÓN DEL DUCTO

Durante las actividades de operación de un ducto y mantenimiento de un DDV se pueden presentar casos o situaciones en los cuales se deben realizar trabajos de mantenimiento correctivo. Algunos de los mantenimientos correctivos más representativos son: excavaciones y zanjas sobre el ducto, liberación del ducto en operación, reconfiguraciones del DDV, entre otros.

6.5.1 Generalidades para excavaciones sobre un ducto

En muchas situaciones, se deben realizar excavaciones o zanjas dentro del DDV. Dichas actividades deben garantizar: i) la seguridad de los trabajadores involucrados, ii) la integridad de la instalación (ducto) y iii) la estabilidad del DDV. Es importante mencionar que dichos aspectos de seguridad deben estar con permanente monitoreo, ya que una acción tomada no siempre será beneficiosa tanto para la estabilidad de tensiones en el ducto como para la estabilidad de las paredes de la excavación.

A continuación, se presentan algunas consideraciones importantes al momento de realizar una excavación y zanja sobre un ducto:

- Dependiendo de la complejidad local, cantidad de ductos, construcciones vecinas, tipo de suelo, profundidad, etc., el ingeniero debe verificar la necesidad de sondeo geotécnico y de realización del proyecto de excavación.
- En los análisis deben verificarse aspectos de seguridad de las paredes de excavación con enfoque en los trabajadores y prestar atención a superficies de ruptura que puedan pasar por el ducto en operación o por los ductos vecinos en operación. El efecto Tschebotarioff (fuerzas de empuje laterales) puede causar tensiones indeseadas en ductos vecinos, en especial en ductos en operación y cuando la excavación es parte de los servicios de contención o alivio de tensiones causadas por deformación del terreno.
- Antes de iniciar la excavación se deben evaluar otros aspectos relativos a la planificación de la zona de deposición del suelo excavado, como ser, el material para el nuevo terraplén, las estructuras de contención, y los accesos, entre otros. El material excavado debe colocarse en un lugar que no desestabilice la excavación y no transfiera cargas no deseadas a los ductos vecinos. En la Figura 6.37 se ilustran algunas medidas de protección, los recursos planificados y un esquema general de una excavación.

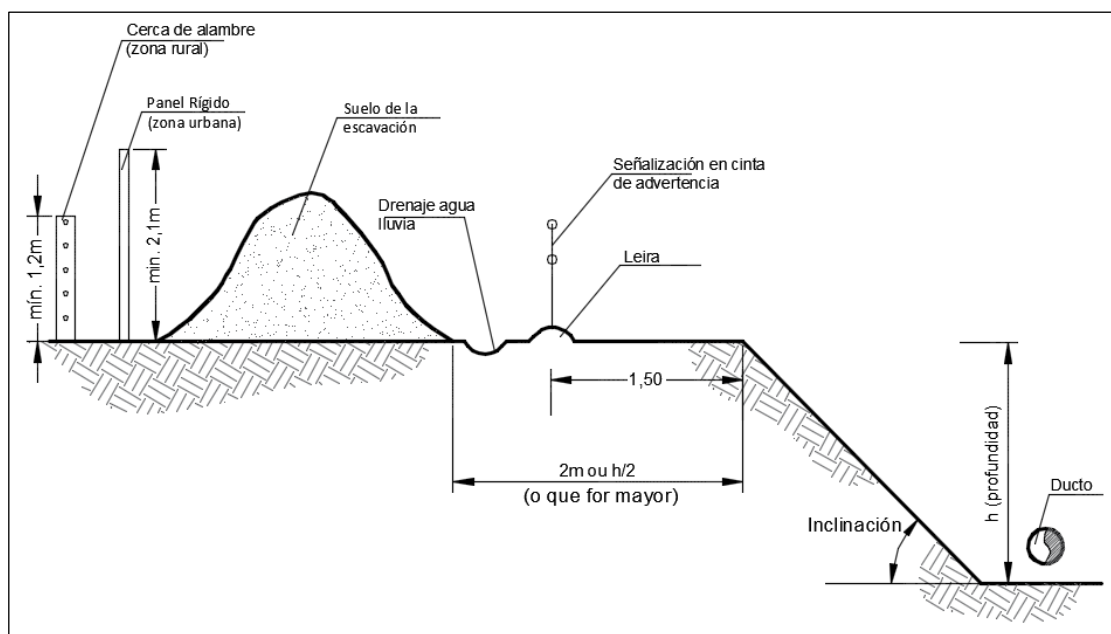


Figura 6.37 Esquema general de una excavación

Fuente: Transpetro

6.5.2 Excavaciones para ubicación del ducto

Cuando se requiere una inspección visual del ducto o para ubicarlo topográficamente, se debe realizar una excavación o sondeo manual directo para localizar el ducto y demás instalaciones enterradas, tales como: sistema de protección catódica, tuberías de drenaje, cables y señalizaciones, entre otros. Dicho sondeo manual directo es importante porque permite evitar el contacto accidental entre las herramientas de excavación/sondeo manual y las instalaciones subterráneas o ducto.

Los sondeos pueden ser directos o indirectos. El directo es una herramienta de excavación que llega al ducto físicamente pero no afecta su integridad física o la de su revestimiento, como es el caso de clavar manualmente varas metálicas con puntas protegidas por material blando. Los sondeos indirectos se refieren a las tecnologías del tipo georradar, electromagnéticas, acústicas, etc. En la aplicación de este tipo de sondeo se deben tener cuidados especiales con relación a las calibraciones, chequeos dobles, mantenimiento y principalmente, limitaciones como las que comúnmente se dan en el caso de interferencias de líneas de transmisión externas o próximas a otros ductos y equipamientos, que puedan desviar corrientes enterradas o generar interferencias diversas.

Los sondeos deben ser realizados según el procedimiento definido por el operador del ducto para cada una de las técnicas de identificación permitidas dentro de su operación. Una vez realizado el sondeo manual (ver Figura 6.38), se puede continuar la excavación de forma manual o con otro equipo de excavación (ver Figura 6.39) y finalmente, se debe ubicar el ducto en su parte superior (normalmente conocida como lomo de la tubería) para realizar las inspecciones o ubicaciones topográficas respectivas (ver Figura 6.40).



Figura 6.38 Sondeo manual directo sobre ducto

Fuente: <https://comunidadpipeline.blogspot.com/>



Figura 6.39 Excavación mecánica – posterior al sondeo manual directo sobre el ducto

Fuente: <https://comunidadpipeline.blogspot.com/>



Figura 6.40 Ejemplo de ubicación topográfica del ducto excavado

Fuente: <http://www.ducomsa.com/>

6.5.3 Excavaciones para liberación de ductos

Muchas veces, los ductos en operación necesitan ser excavados para inspección externa, reparaciones en la pared, en el revestimiento, para conexión eléctrica, cambio de tramo, etc. Siempre que ocurre este tipo de excavación para liberación de los ductos, hay un cambio en el estado de tensiones solamente en un pequeño tramo del ducto que se va a reflejar en sus condiciones de configuración.

Aunque el suelo no haya sufrido deformaciones después de la instalación, siempre hay tensiones originadas por el proceso de terraplén de zanja, instalación, soldadura, operación, etc., que, sumadas al cambio en el estado de tensiones debido a la ventana de excavaciones, traerán la posibilidad de movimiento del ducto en el proceso de liberación o corte programado.

A continuación, se presentan algunos aspectos de especial atención al momento de realizar excavaciones con ductos tensionados:

- a. Con origen en movimientos geotécnicos de la pendiente o de la zanja, la excavación debe ser realizada cuidadosamente para no generar resbalones o desestabilización de la zanja y ladera. De esa manera, siempre se debe evaluar la necesidad de realización de obras de contención y drenaje antes del inicio de los servicios.
- b. Se recomienda realizar un monitoreo continuo de los desplazamientos de la pendiente, así como de las tensiones en los ductos con instrumentos estratégicamente posicionados e instalados (normalmente con strain gages antes de realizar la liberación).
- c. Como referencia, las excavaciones deben realizarse hasta que el ducto pare de deformarse libremente, es decir, en una situación en la que el aumento de la excavación no genere más deformaciones. Generalmente, este proceso viene acompañado de medición topográfica y preferentemente de galgas de deformación pre-instaladas en secciones estratégicas antes del inicio de los alivios.
- d. Como esta situación (abertura máxima) es bastante desfavorable para la pendiente, se debe verificar la necesidad de realizar el apuntalado de la zanja de alivio para que los cargamentos puedan transferirse entre los laterales de la zanja y aun así, mantener el ducto libre de deformación. Hay que destacar

la posibilidad de que se necesite reposicionar el sistema de apuntalado (transferencia de carga entre paredes) para permitir la deformación del ducto y el alivio de tensiones requerido. Ver Figura 6.41.

- e. Finalmente es importante mencionar que, según el diámetro de la cañería, de las prácticas recomendadas por la operadora o contratista que lleva adelante las excavaciones y/o de la legislación vigente en cada país, se debe verificar cuál es la cantidad máxima de metros que la cañería puede quedar expuesta entre apoyos y si estos pueden ser fijos (suelo sin excavar) o provisorios (estaqueados con maderas o apoyos).
- f. Por otro lado, cabe mencionar que, por razones de seguridad, deben existir rampas de salida rápida en las excavaciones generadas, de manera de facilitar el rescate de operarios en caso de accidente, o incluso para ingresar o sacar equipos de la excavación de forma segura.

En la Figura 6.41, se presenta un ejemplo referencial de liberaciones de tensiones en un ducto.



Figura 6.41 Apertura de zanja para permitir recuperación de deformación del ducto

Fuente: OCENSA

7

Abandono técnico del ducto



7

Abandono técnico del ducto

7.1 MOTIVOS Y TIPOS DE ABANDONO TÉCNICO DEL DUCTO

Una de las principales etapas que se deben considerar en la gestión de los activos de un sistema de transporte de hidrocarburos es la que se define normalmente como abandono técnico. Dicha actividad puede aplicarse de manera temporal o permanente en el servicio del ducto, siempre y cuando se desarrolle un protocolo específico de su integridad (a nivel interno de cada operación), que permita definir y adoptar todas las acciones técnicas y administrativas necesarias para mantener un enfoque integral entre el medioambiente, la comunidad y el activo.

Dentro de los principales motivos para iniciar y realizar el abandono técnico se encuentran:

1. Finalización de la operación del ducto
2. Construcción de variantes (por aspectos geotécnicos, en ríos, sociales, etc.)
3. Reemplazo de ductos por capacidad de transporte

Por otro lado, los principales tipos de abandono geotécnico del DDV son:

- i. Abandono del ducto en su lugar de operación
- ii. Retiro total del ducto de su lugar de operación

Para cualquier proyecto de abandono a gran escala, es poco probable que solo se emplee una de estas opciones. Por el contrario, un proyecto de este tipo implicará una combinación del retiro y el abandono en el lugar, a lo largo del ducto. Un factor clave que influye en la elección entre las dos opciones corresponde al uso presente y futuro de la tierra.

En la práctica, la decisión de abandonar la tubería en el lugar o retirarla debe tomarse sobre la base de una evaluación integral específica del sitio considerando principalmente cuestiones ambientales y de uso de la tierra.

Desde el punto de vista geotécnico existe una serie de procesos relacionados con el abandono que pueden darse tanto si se toma la decisión de dejar el ducto en el lugar o retirarlo. Cuando se abandona el ducto se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones principales para el análisis de las acciones a adoptar en el DDV:

- a. Uso de la tierra
- b. Subsidiencias o hundimientos del suelo
- c. Cruces de agua (ríos, arroyos, canales, pantanos, lagunas, etc.)
- d. Erosión

7.2 ASPECTOS DE ANÁLISIS PARA EL ABANDONO TÉCNICO

7.2.1 Aspectos del uso de la tierra

Una vez definido el abandono del ducto se deben identificar todas las condiciones y oportunidades que se pueden generar, a partir de dicha acción de abandono, para la gestión del uso de la tierra (en economía, en lo social, en agricultura, de conservación, entre otros).

En el aspecto geotécnico del DDV, es de gran importancia que siempre se considere el potencial uso del suelo, ya que podría convertirse en una obstrucción física para el desarrollo de actividades de tipo agrícola, inmobiliaria, de conservación, entre otros. A partir de lo anterior, es recomendable establecer algunos protocolos que permitan mantener el DDV bajo una condición que permita ser intervenido (si aplica).

Como referencia, pueden considerarse algunos contextos geológicos, geotécnicos, ambientales, sociales y culturales, en donde es más recomendable el abandono del ducto en su lugar, frente a retirarlo; debido al impacto que causa esta última opción. Por lo tanto, algunas de las principales características que alientan a tomar la decisión de dejar el ducto en el lugar son las siguientes:

- a. Parques y áreas naturales protegidas
- b. Superficies inestables o altamente erosionables o cruces de agua
- c. Campos de riego por inundación
- d. Cruces de carreteras y ferrocarriles o con otros ductos
- e. Tubería con mucha profundidad de instalación
- f. Lugares con acceso deficiente o limitado

7.2.2 Aspectos de las subsidencias o hundimientos del suelo

En el escenario de los ductos en abandono, se debe considerar a largo plazo la condición posible de hundimientos de terrenos por el deterioro estructural del ducto por efecto de la corrosión. En particular, dicha condición puede generar problemas sociales, ambientales y de seguridad, relacionados con la posible afectación de la zona donde se encontraba el DDV con situaciones tales como: pérdida del suelo, formación de canales subsuperficiales y superficiales, afectación visual del entorno, entre otros.

7.2.3 Aspectos en cruces de agua (ríos, arroyos, canales, pantanos, lagunas, etc.)

El abandono de ductos en lugares con presencia de cruces de agua es de gran interés y atención por los controles que se deben adoptar para evitar daños al medioambiente y afectaciones sociales. Los principales aspectos que comprenden dicho escenario son:

- a. Riesgo de exposición del ducto en zonas de cruces de ríos y arroyos (originados por la dinámica fluvial)
- b. Posibilidad de flotación del ducto vacío cuando cruza un cuerpo de agua o un área húmeda (originados por la falta de efectividad de los mecanismos de control de flotación -contrapesos)

Por otra parte, si se decide el abandono con retiro es fundamental que el ducto esté lo más limpio posible antes de la excavación, para minimizar el potencial de contaminación del cuerpo de agua en caso de que el ducto se dañe y se produzca un derrame durante el procedimiento de extracción. Se recomienda cegar los extremos de la sección que se está retirando para evitar la contaminación por cualquier resto de material.

7.2.4 Aspectos en erosión de suelos

La actividad de abandono del ducto puede generar diversos tipos de potenciales afectaciones al entorno donde se encuentra el activo, dentro de las cuales se encuentra la erosión. Por tal motivo, se deben considerar algunos aspectos que permitan mitigar y controlar dicho fenómeno.

A continuación, se presentan algunos aspectos de interés con relación al tema de la erosión cuando se decide realizar el abandono de un ducto:

- a. La ocurrencia de la erosión del suelo es una preocupación durante todas las fases del ciclo de vida del activo, particularmente en lo que se refiere a la estabilidad de los taludes.
- b. Realizar el abandono del ducto en el sitio -es decir, no retirar el ducto- implica ciertas actividades en el DDV para asegurar un abandono responsable, como ser, excavaciones para confirmar la calidad de la limpieza y la instalación de tapones en la zanja.
- c. Se debe analizar el impacto potencial de la perturbación en las áreas cercanas al DDV. Por ejemplo, un área de bosque con frondosa vegetación puede no ser tan susceptible a la erosión, pero distinto puede ser una zona con praderas naturales con alta pendiente y fuerte escurrimiento superficial. Lo mismo puede suceder en zonas desérticas con precipitaciones estacionales intensas, que pueden dejar la cañería abandonada expuesta y susceptible de daño y pérdida de líquidos contaminantes residuales.
- d. Si se va a retirar el ducto, los problemas de erosión y estabilidad de taludes serán similares a los de la construcción de tuberías. Por ejemplo, el tráfico, la compactación del suelo y la erosión por viento y agua del suelo alterado pueden ser motivo de preocupación. Además, la tubería puede haberse convertido en un soporte estructural para muchas pendientes con el tiempo y su remoción puede afectar la integridad de la pendiente.
- e. Al desarrollar un plan de abandono, se debería revisar cualquier remediación por erosión que haya ocurrido durante la vida útil de la tubería. Si se han requerido regularmente medidas de control de erosión en ubicaciones específicas, se debería determinar si es apropiado implementar medidas de control de erosión a más largo plazo.
- f. Por lo general, es más apropiado abandonar la tubería en su lugar en el caso de existir pendientes inestables, debido al posible requerimiento de una remediación extensa si se retira la tubería. En pendientes sensibles, se debería analizar el uso de restricciones de acceso u otras medidas para desalentar el uso del derecho de paso.
- g. En áreas donde se monitoreó el movimiento de la pendiente durante la vida útil de la tubería, el programa de monitoreo debe reevaluarse y evaluarse su continuidad. Los caminos de acceso temporal a las pendientes deben recuperarse según corresponda.
- h. Las medidas de protección que se deben considerar al retirar una tubería de una pendiente son similares a las que se usan durante la construcción de la tubería. La integridad de la pendiente debe mantenerse durante las actividades de remoción, así como también después de remover la línea. Si la remoción requiere excavaciones puntuales en lugar de una remoción de zanja abierta, se debe evaluar la estabilidad de toda la pendiente, así como la región que rodea a los orificios de campana. Es posible que sea necesario volver a instalar las bermas de desvío y los tapones de las zanjas para evitar la canalización del agua.
- i. Los programas de revegetación de la zona de abandono del ducto deberían considerar la inclusión de una especie que se establezca rápidamente en la mezcla de revegetación, ya que esto puede ayudar a proporcionar un control de la erosión a corto plazo; sin embargo, se debe considerar el efecto ambiental de la introducción de una especie no nativa.

7.2.5 Criterios de interés para el abandono técnico

La actividad correspondiente al plan de abandono técnico debe comprender y asegurar que los problemas identificados se hayan abordado y que se abandone el ducto, de tal modo, que se asegure la participación significativa de todas las partes interesadas, así como que se garantice la seguridad de la población y el control ambiental.

A continuación, se referencian los principales aspectos que deberían considerarse al momento de evaluar los planes de abandono de ductos.

1. Revisar los requisitos regulatorios vigentes aplicables al proyecto de abandono técnico.
2. Recopilar toda la información relevante sobre el *ducto (ambiental, social, de servidumbre, logístico, demográfico, de mantenimiento, entre otros)*.
3. Realizar el análisis integral específico del sitio donde se evalúe la condición técnica para la justificación del abandono técnico del sitio de interés (*comprende el análisis del problema y solución, futuros mantenimientos, escenarios de afectación por no realizar el abandono o mantenimiento, estudios medioambientales, acciones de limpieza del ducto, responsabilidades post-abandono, entre otros*).
4. Desarrollar el plan de abandono en consulta con las partes interesadas (*propietarios de tierras, autoridades gubernamentales, entre otros*).
5. Asegurar las aprobaciones de todas las partes para ejecutar el plan de abandono (*de entes regulatorios, de propietarios de tierras, de contratistas, entre otros*).
6. Implementar el plan de abandono, cuyo alcance debe incluir las responsabilidades posteriores al abandono técnico.
7. Asegurar todas las aprobaciones de cierre del plan de abandono técnico por parte de todos los entes y partes interesadas (*marco regulatorio, propietarios de tierras, parte técnica, entre otros*).

8

Geomática aplicada



8

Geomática Aplicada

8.1 ANTECEDENTES

En la década de los sesenta del siglo pasado, el estudio de la forma y las dimensiones de la Tierra estuvo sujeto a constantes cambios debido a los avances científicos y tecnológicos en las materias afines a su estudio. Un ejemplo de lo anterior se identifica en la superposición de distintas capas de información para un mismo territorio; en la que su interrelación era un problema que enfrentaba una serie de aspectos difíciles de resolver. Específicamente en Norte América, en donde la fotogrametría, la cartografía, la geodesia y la topografía buscaban mecanismos que permitieran sistematizar procedimientos complejos.

Asimismo, hubo un incremento de necesidades a nivel mundial con relación a la ubicación, delimitación, georreferenciación, localización, etc., en donde el papel de las ciencias que estudiaban estas temáticas resultaba insuficiente. Es en esta década que el científico francés Bernard Dubuisson (reconocido topógrafo y fotogrametrista) propone por primera vez a la «geomática», como el término que integraba un mecanismo sistémico permitiendo juntar las ciencias para medir y localizar espacios en la Tierra.

De esta manera, la presión se hizo notar en ciertos países que comenzaron a invertir e investigar con el propósito de desarrollar herramientas geomáticas integrales con el fin de apoyar las problemáticas identificadas. Tal es el caso de los Estados Unidos de Norte América, que en el año 1978 lanza su primer satélite (en lo que hasta ahora es la constelación NAVSTAR) con la tecnología GPS (Global Positioning System).

Dichos avances dieron pauta para apoyar estudios sobre el territorio con la adaptación de la información geoespacial, que entonces comenzaba su uso civil, ya que en un principio el propósito era militar. Por otro lado, el desarrollo de la informática se hizo presente con la rápida evolución del hardware y software, los que permitían comenzar la gestión y tratamiento de la información geoespacial a través de los primeros sistemas, permitiendo explotar la componente espacial en su forma atómica, es decir, una coordenada en X e Y podía ser estructurada sobre primitivas (puntos, líneas y polígonos), dando vida a la visualización de vectores en forma lineal, figuras geométricas y, posteriormente, cualquier elemento u objeto geográfico tratado con lenguajes de programación.

Todo esto permitió que ciencias como la cartografía, topografía, fotogrametría, geodesia, hidrología, hidrografía, etc., fueran empleadas con el fin de proponer soluciones por medio de aplicaciones geomáticas.

8.2 GENERALIDADES SOBRE LA GEOMÁTICA

La geomática hace referencia a la integración de tecnologías de la información, comunicación y geociencias que permiten la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica (también llamada información espacial o geoespacial). Etimológicamente, el término «geomática» está compuesto por el prefijo "GEO" que significa Tierra, y el sufijo "MATICA" que significa informática. Es decir, el estudio de la superficie terrestre a través de la informática (tratamiento automático de la información). Este término nacido en Canadá ya es parte de las normas de estandarización de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, por su sigla en inglés) y está siendo reconocido en Europa, Asia, África, América Central y del Sur, como una nueva disciplina de la era geoespacial. Otros organismos, en especial en los EE.UU., han optado por el término **tecnología geoespacial** o recientemente "Geomatics Sciences".

Sobre la aplicación de la geomática, a escala mundial es relevante la aplicación de Naciones Unidas sobre la Gestión de la Información Geoespacial Global, conocida por sus siglas en inglés UN-GGIM (Global Geospatial Information Management), la cual lidera las pautas del desarrollo de la información geoespacial y la promoción de su uso para abordar los desafíos globales. Así, en el documento “Tendencias a futuro en la gestión de información geoespacial: La visión de cinco a diez años” se plantean claramente las perspectivas y necesidades de la geomática como una disciplina en continua evolución, que se adapta a los cambios tecnológicos y a las nuevas necesidades de la sociedad. En este documento, publicado por la UN-GGIM en julio de 2013, se indica que:

“Somos testigos de un crecimiento exponencial en el número de métodos de captura de datos y... en la cantidad de datos que se generan y capturan. La geografía, desde hace tiempo, se hizo “móvil”, y, de hecho, una de las tendencias más significativas de los últimos cinco a diez años ha sido el número de dispositivos en utilización que cuentan con funciones de Sistemas de Navegación Global Satelital (GNSS), además de conexión a internet, lo que redundo no sólo en el uso sino en la creación de información de localización.

Esta tendencia continuará en los próximos cinco a diez años... La proliferación de sensores de bajo costo, tecnología simple y conexiones en red... implicará la creación de cantidades de datos.

La creación de estas grandes cantidades de datos hará necesaria la habilidad de obtener provecho de todos ellos, y dicha necesidad por sí misma impulsará la demanda de información geoespacial, conforme la gente recurra a la localización para ayudar a encontrar sentido e identificar patrones del mar de datos que se está creando.”

En Europa, la importancia de la geomática está reconocida al amparo de la Directiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), que establece las reglas generales para el establecimiento de una Infraestructura de Información Espacial en la Comunidad Europea basada en las infraestructuras de sus estados miembros (Directiva 2007/2/CE). Bajo esta directiva, la información geoespacial o territorial «fidedigna» se ha convertido en un elemento imprescindible para el inventariado y la toma de decisiones.

Finalmente, es importante mencionar que la ingeniería geomática está constituida por polos de desarrollo como: producción de datos espaciales, tratamiento, almacenamiento, estructuración de la información y difusión de aplicaciones específicas de alto nivel.

8.3 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA GEOMÁTICA

La geomática se nutre de los avances tecnológicos de las últimas décadas en los ámbitos de la informática, la inteligencia artificial, los satélites y las comunicaciones. A continuación, se presentan los principales avances que se tienen en este aspecto y su utilidad:

8.3.1 Sensores GNSS, GPS y LIDAR

Los sensores GNSS (Global Navigation Satellite System), GPS (Global Positioning System), LIDAR (Light Detection and Ranging) se usan para el posicionamiento preciso planetario, la gestión de flotas de vehículos, el uso en la navegación en diferentes medios de transporte, o la distribución global de datos con apoyo de la telefonía móvil.

En el caso del LIDAR es una estación que genera un escaneo láser obteniendo en forma rápida una superficie en 3D del entorno con alta precisión. En poco tiempo puede cubrir grandes superficies, con detalles submilimétricos, donde queda registrado con mucho detalle la superficie del proyecto. También se ha utilizado en proyectos de peritaje para capturar la situación exacta de obras que han tenido algún problema, y donde el tiempo para esta captura es escaso.

8.3.2 Sensores remotos en aviones, drones y satélites

Hacen posible la teledetección para obtener información sobre objetos y fenómenos de la superficie terrestre. Del mismo modo permiten la toma de imágenes para la planificación territorial y urbanística, el proyecto y desarrollo de obras de ingeniería, estudios de impacto ambiental, y el monitoreo de fenómenos sobre la superficie terrestre como volcanes, incendios, inundaciones, meteorología, etc.

8.3.3 Sistemas terrestres móviles

Aplica sobre individuos, coches u otro tipo de vehículos para la documentación de entornos urbanos.

8.3.4 Realidad virtual en entornos 3D web y realidad aumentada

Aplica como ampliación de la cartografía digital, para documentar escenarios de cualquier carácter e incorporar información que permite al usuario experiencias inmersivas.

8.3.5 Cámaras y dispositivos versátiles de captura de imagen

Dispositivos que hacen posibles imágenes panorámicas esféricas, inmersivas, modulares, barredoras, térmicas, multiespectrales, ortofotos, con las que se puede derivar información multiuso.

8.3.6 CAD (Computer Aided Design). BIM (Building Information Modeling)

Facilita el uso de ordenadores para el diseño y producción cartográfica, cartografía 3D, multimedia, interactiva en cualquier ámbito, desde ocio, turismo o gastronomía, hasta equipos expertos multidisciplinares de las administraciones públicas.

8.3.7 Visión robótica e inteligencia artificial

Son técnicas que aportan capacidad para interpretar de manera automática el contenido de imágenes estáticas y en movimiento, y extraer de ellas información de interés.

8.3.8 Dispositivos móviles de medición: radar, georadar, láser e infrarrojo

Son instrumentos de precisión en la captura de grandes volúmenes de datos que el/la ingeniero/a es capaz de tratar y analizar. Son utilizados en teledetección o aplicaciones como la visión robótica. El uso de sensores híbridos (láser, cámara, GPS, sistemas inerciales, etc.) en contextos estáticos y dinámicos, terrestres o aéreos, consiguen precisión y versatilidad de la información capturada.

8.3.9 Aplicaciones: SIG (Sistemas de Información Geográfica), geoespaciales y de modelado 3D

Los SIG son sistemas de información capaces de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada, y permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos y mapas, y presentar los resultados de todas estas operaciones.

8.4 APLICACIONES DE LA GEOMETRÍA

La geomática es multidisciplinaria por naturaleza. Tanto la topografía y cartografía, teledetección, fotogrametría, geodesia, SIG, GNSS y GPS componen la geomática, y estas disciplinas, a su vez, se extienden a una amplia variedad de campos y tecnologías, incluyendo geometría digital, gráficos por ordenador, procesamiento digital de imágenes, realidad virtual, CAD, sistemas de gestión de bases de datos, estadísticas espaciotemporales, inteligencia artificial y tecnologías de Internet, entre otros. A continuación, se citan algunas aplicaciones de ejemplo.

8.4.1 Aplicación de la geomática en geotecnia e ingeniería

La geotecnia se refiere a la aplicación de principios geológicos y de ingeniería en el comportamiento de suelos, rocas y aguas subterráneas, además del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra para diseñar cimentaciones para estructuras como edificios y puentes, y estabilizar taludes, entre otras.

Algunas etapas para estos estudios incluyen la exploración, análisis de muestras, caracterización, diseño del proyecto y monitoreo geotécnico mediante instrumentos, el que puede llevarse a cabo durante las etapas de construcción, operación y cierre. Ver Figura 8.1.

Algunas tecnologías relacionadas a la instrumentación geotécnica corresponden a implementación de sistemas de comunicación inalámbrica para la transferencia de lecturas obtenidas, uso de fibra óptica, sensores MEMS, escáner láser y geo- radares, entre otras, implementados con comunicación inalámbrica o fibra óptica, para la transferencia de lecturas obtenidas.

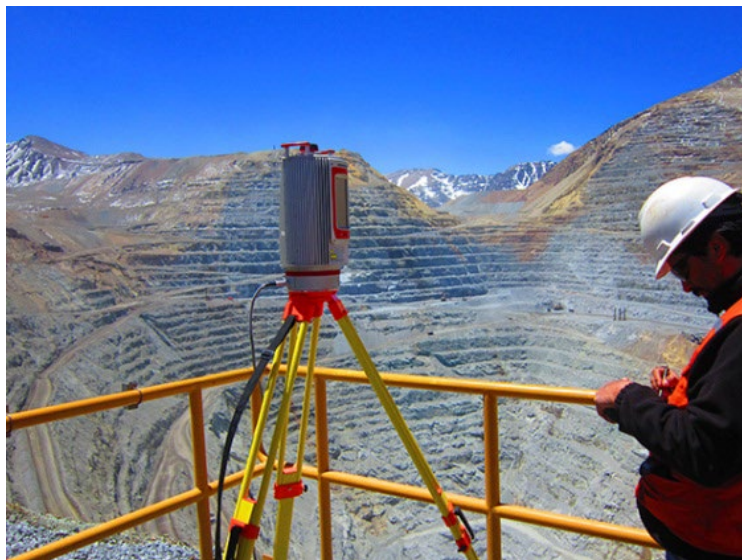


Figura 8.1: Monitoreo geotécnico

Fuente: <https://www.cdt.cl/geotecnia-en-mineria-la-importancia-del-estudio-del-terreno/>

8.4.2 Monitoreo geotécnico con aplicaciones y herramientas geomáticas

Uno de los aportes más importantes de la geomática en cualquier proyecto de ingeniería tiene que ver con la capacidad de integrar la información proveniente de instrumentos de monitoreo, lo que permite: revisar y controlar la ejecución del diseño realizado para el proyecto, entregar alertas de una desviación al mismo (como desarrollo de procesos de inestabilidad, o posibles daños a estructuras cercanas), cuantificar incertidumbres y mejorar el estado de la ingeniería, entre otros.

El monitoreo debe realizarse durante las etapas de construcción, operación y cierre, toda vez que puede y debe ser usado como un beneficio técnico y económico para cualquier proyecto.

8.5 GESTIÓN DE DATOS: ACCESO ABIERTO PARA ANÁLISIS

Los datos abiertos o que están disponibles en servicios web son muy importantes, ya que permiten interactuar con información muy útil de otras instituciones, normalmente mapas de tipo temático, esto con el fin de desarrollar análisis más precisos en los proyectos propios. Para ello, se utilizan estándares para poder disponer de esta información en la web o servicios web como el OGC.

8.5.1 ¿Qué son los servicios web OGC (Open Geospatial Consortium)?

Los servicios web OGC son un conjunto de tecnologías que facilitan la disponibilidad y el acceso a la información geoespacial usando un conjunto de estándares y especificaciones definidas por la OGC y que permiten que las aplicaciones operen bajo condiciones conocidas.

Los servicios web OGC garantizan la interoperabilidad entre sistemas.

La **interoperabilidad** es la capacidad para que diversos sistemas puedan comunicarse, ejecutar procesos o transferir datos entre ellos, sin necesidad de que el usuario tenga conocimiento específico del sistema.

Algunos de los servicios disponibles en muchos sitios son:

8.5.1.1 VWMS (Web Map Service)

Este estándar WMS proporciona una interfaz http simple que permite la consulta de mapas en formato imagen (jpg, png) a través de un navegador o desde una aplicación que permite la conexión a WMS.

8.5.1.2 WMTS (Web Map Tile Service)

El WMTS es un servicio web estándar que permite obtener mapas georreferenciados mediante mosaicos o teselas a través de internet. Es similar al WMS pero su rendimiento es mejor en peticiones simultáneas, porque en lugar de generar una nueva imagen en cada petición, devuelve imágenes pregeneradas.

8.5.1.3 CSW (Catalog Service)

El CSW (Catalog Service for the web) es un estándar de la OGC que permite descubrir, buscar y consultar metadatos relacionados con datos, servicios y recursos de tipo geográfico.

8.5.1.4 WFS (Web Feature Service)

El WFS define las interfaces para describir operaciones de manipulación de datos de entidades geográficas. Las operaciones de manipulación de datos incluyen:

- Obtener o consultar entidades basadas en constantes espaciales y no espaciales.
- Crear una nueva entidad.
- Eliminar una entidad.
- Actualizar una entidad.

El WFS básico permite hacer consultas y obtener entidades en formato GML. El WFS-T permite crear, eliminar y actualizar entidades.

8.5.1.5 OpenLS (Open Location Service)

Este servicio define una interfaz de comunicación RESTful que permite a aplicaciones de terceros hacer uso de los servicios de geolocalización como, por ejemplo, de geocodificación (geocode service), geocodificación inversa (reverse geocoding service), directorio (directory service), y de rutas (route service).

Para consultas se puede acceder a <http://www.opengeospatial.org/>.

8.5.2 Ejemplos de datos para consultas abiertas

A continuación, se presentan ejemplos de datos dispuestos para consultas abiertas:

8.5.2.1 Acceso a datos en Costa Rica

El Sistema Nacional de Información Territorial dispone de diversos servicios para el cargado de información importante para una gran diversidad de proyectos. Para consultas se puede acceder a http://www.snitcr.go.cr/servicios_ogc_completo. Entre la información que se puede acceder, se encuentra la siguiente:

a. Nodos locales

En estos nodos podemos encontrar información cartográfica digital en escalas 1:1000 y 1:5000. Igualmente se encuentra la información de ortofotos en estas escalas.

- [IGNOrtofoto](#)
- [IGN RASTER](#)
- [IGNVariasEscalas](#)
- [IGNCartografía1:1mil](#)
- [IGNCartografía1:5mil](#)
- [IGNCartografía1:25mil](#)
- [IGNNombresGeográficos](#)
- [IGN_RI](#)
- [IGN Cartografía 1:50mil](#)

b. Nodos externos

- [AyA](#)
- [CENAT-PRIAS](#)
- [CENIGA](#)
- [LANAMMEDEM](#)
- [LANAMMEPITRA](#)
- [MCJ](#)
- [MEP](#)
- [MH-ONT](#)
- [MOPT](#)
- [Municipalidad Carrillo](#)

8.5.2.2 Acceso a datos en Colombia

Uno de los accesos más importantes en Colombia son los datos generados y dispuestos por el Servicio Geológico de Colombia. Este geoportal tiene como finalidad presentar a los usuarios la información generada por geociencias básicas, recursos minerales, geoamenazas, asuntos nucleares, laboratorios y gestión de información, en cumplimiento de la Ley 1712 de 2014 "Ley de transparencia y el derecho de acceso a la información pública" y de acuerdo con los artículos 11 literal J y K, artículo 12, artículo 13 y artículo 14.

La información está almacenada en una geodatabase corporativa gestionada por el motor de base de datos Oracle, herramientas de la Suite de ESRI y aplicaciones web personalizadas utilizando Geoportal Server de ESRI (Software Open Source).

Mediante esta plataforma se administra la información de manera dinámica, y está dispuesta al usuario en línea. Asimismo, se cumple con estándares de código abierto (open source) como WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WCS (Web Coverage Service) y servicios REST (Representational State Transfer).

A continuación, se presentan algunos geoservicios disponibles en el geoportal del Servicio Geológico de Colombia:

- Amenaza volcánica:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Amenaza_Volcanica/Amenaza_Volcanica/MapServer/WMServer?
- Amenaza por movimientos en masa:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Nacional_Amenaza_Mov_Masa_100K/Mapa_Nacional_Amenaza_Mov_Masa_Raster_100K/MapServer/WMServer?
- Atlas geológico colombiano:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Atlas_Geologico_Colombiano/Atlas_Geologico_Colombiano/MapServer/WMServer?
- Estaciones GNSS:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Estaciones_GNSS/Estaciones_GNSS_SGC_2014/MapServer/WMServer?
- Estado de la cartografía geológica:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Estado_Cartografia_Geologica/Estado_Catografia_Geologica/MapServer/WMServer?
- Geofísica:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Geofisica/Geofisica_2014/MapServer/WMServer?
- Geomorfodinámica costera:
<http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Geomorfodinamica/Geomorfodinamica/MapServer/WMServer?>
- Mapa geológico colombiano:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Geologico_Colombia/Mapa_Geologico_Colombia/MapServer/WMServer?
- Mapa de intensidades máximas observadas:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Intensidad_Maxima_Observada_Colombia/Mapa_Intensidades_Maximas_Colombia/MapServer/WMServer?
- Mapa inventario muestra litoteca:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Inventario_Muestra_Litoteca/Mapa_Inventario_Muestra_Litoteca/MapServer/WMServer?
- Mapa metalogénico Colombia:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Metalogenico_Colombia_2002/Mapa_Metalogenico_Colombia_2002/MapServer/WMServer?
- Mapa potencial carbonífero de Colombia:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Metalogenico_Colombia_2002/Mapa_Metalogenico_Colombia_2002/MapServer/WMServer?
- Mapa metalogénico Colombia:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Potencial_Carbonifero_Colombia/Mapa_Potencial_Carbonifero_Colombia/MapServer/WMServer?
- Metadato geográfico:
<http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/METG/METADATO/MapServer/WMServer?>
- Reporte geológico de termales:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/MTE/R/Reporte_Geologico_Termal/MapServer/WMServer?
- Zonas de exploración criterio hidrogeológico:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/PEXAS/PEXAS_Zonas_Exploracion_Criterio_Hidrogeologico/MapServer/WMServer?
- Zonas de exploración criterio demanda:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/PEXAS/PEXAS_Zonas_Exploatacion_Criterio_Demanda/MapServer/WMServer?
- Diferenciación rocas sedimentarias y depósitos:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/PEXAS/PEXAS_Diferenciacion_Rocas_Sedimentarias_y_Depositos/MapServer/WMServer?

Listado de geoservicios WFS:

- Catálogo de dataciones radiométricas:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Catalogo_Dataciones_Radiometricas_Colombia/Catalogo_Dataciones_Radiometricas_Colombia_2015/MapServer/WFSServer?
- Estaciones GNSS Servicio Geológico Colombiano:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Estaciones_GNSS/WFS_Estaciones_GNSS_SGC_2014/MapServer/WFSServer?
- Mapa datos geofísicos 2014:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Geofisica/WFS_Mapa_Datos_Geofisicos_2014/MapServer/WFSServer?
- Atlas geológico de Colombia 2007:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Atlas_Geologico_Colombiano/WFS_Atlas_Geologico_Colombia_2007/MapServer/WFSServer?
- Mapa amenaza movimientos en masa:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Amenaza_MM/WFS_Mapa_Amenaza_Movimientos_Masa/MapServer/WFSServer?
- Inventario de muestras litoteca Servicio Geológico Colombiano:
http://srvags.sgc.gov.co/arcgis/services/Mapa_Inventario_Muestra_Litoteca/WFS_Mapa_Inventario_Muestra_Litoteca/MapServer/WFSServer?

Asimismo, otra de las fuentes de datos es dada por el Instituto Geográfico de Colombia "Agustín Codazzi". La siguiente es una lista de los servicios web geográficos WMS (Web Map Service) y WFS (Web Feature Service), que pueden ser consumidos a través de clientes ligeros, o clientes robustos como ArcGIS, gvSig o Quantum GIS, entre otros. El usuario encontrará en esta sección la url del servicio de mapas, pronta para ser copiada y usada en un cliente para consumir el servicio.

Servicios WMS:

- Cartografía básica escala 1:500.000 (Cubrimiento Nacional)
http://geocarto.igac.gov.co/geoservicios/quinientos_mil/wms
- Cartografía básica escala 1:100.000 (Cubrimiento Nacional)
<http://geocarto.igac.gov.co/geoservicios/cienmil/wms>
- Cartografía básica escala 1:2000 (Soacha, Barranquilla)
<http://geocarto.igac.gov.co/geoservicios/dosmil/wms>
- Cubrimientos de información disponible Subdirección de Geografía y Cartografía
<http://geocarto.igac.gov.co/geoservicios/cubrimientos/wms>
- Áreas de reglamentación especial
<http://geocarto.igac.gov.co:8080/geoservicios/sigm/wms>
- Ortofotomosaicos de municipios
<http://bni.gov.co:8080/geoservicios/ortofotomosaicos/wms>

Es importante indicar que, en casi todos los países de Latinoamérica, hay un servicio de información geoespacial disponible, por lo que es necesario que puedan consultar esta información y utilizarla en sus proyectos.

8.5.2.3 Acceso a datos de instrumentos

Muchas instituciones y organismos ofrecen información en línea sobre instrumentos tales como estaciones meteorológicas e hidrológicas, las cuales nos brindan información importante y forman parte de los análisis necesarios que podemos incluir en los escenarios de datos que nos permiten tomar decisiones con respecto a qué tipo de obras civiles de protección en ductos se deben desarrollar. Esto debido a factores como precipitación, temperatura, brillo solar, etc.

En Perú se cuenta con un sitio que brinda acceso a esta información en línea, datos de estaciones automáticas que pueden ser cargados en nuestros escenarios como si se tratara de una capa adicional de datos. En la siguiente figura se puede observar la distribución de las estaciones automáticas en el país andino.

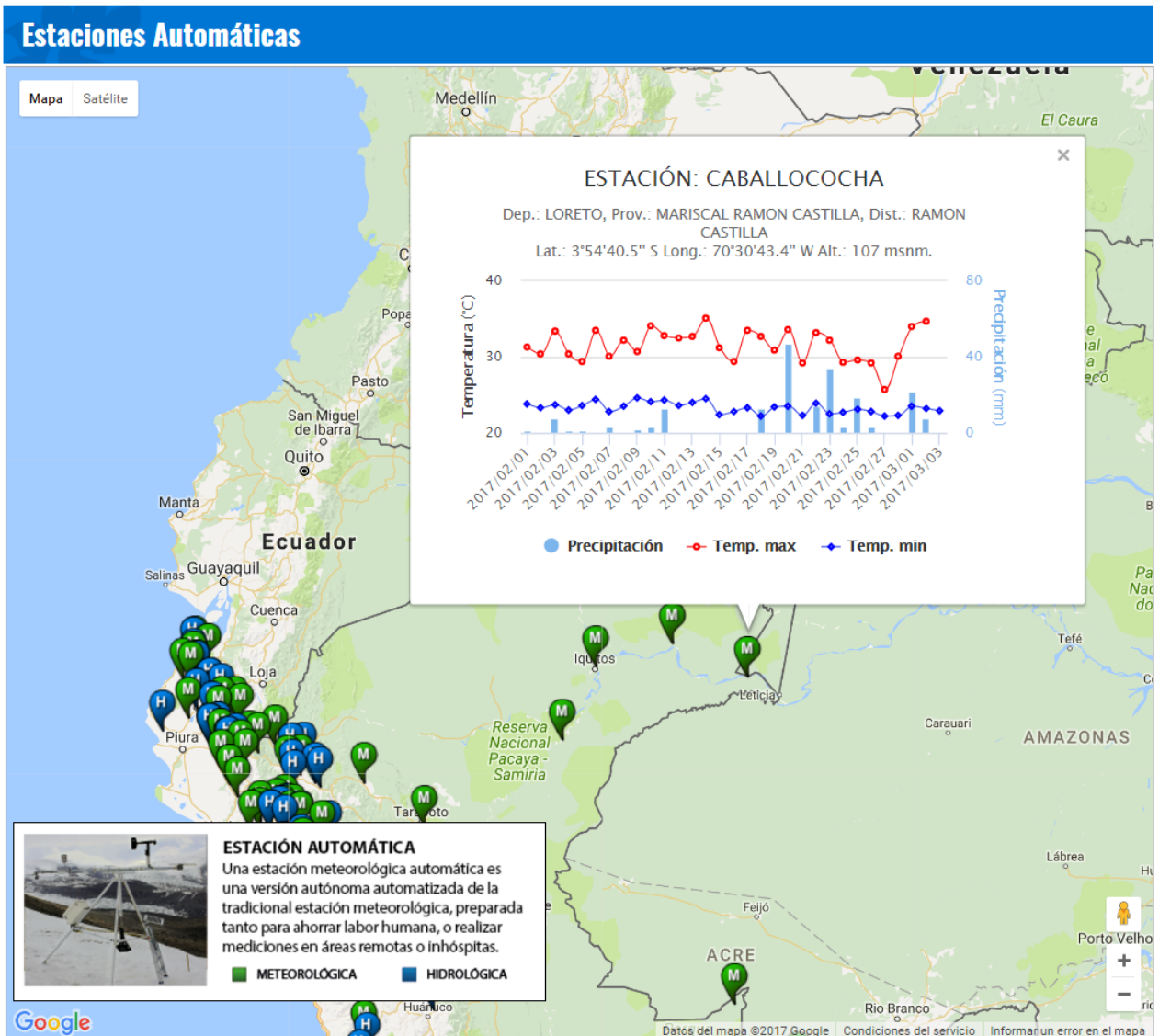


Figura 8.2: Estaciones automáticas, meteorológicas e hidrológicas en Perú

Fuente: <http://www.peruclima.pe/?p=estaciones-automaticas>

En Colombia existe también este tipo de información en línea de datos de estaciones meteorológicas automáticas que presenta al usuario un visor meteorológico con los valores de: temperatura ambiente [°C], humedad relativa [%], velocidad del viento [m/s], dirección del viento [°], precipitación [mm], radiación global [Wh/m²] y presión atmosférica a nivel de la estación, entre otros. En la siguiente figura se presenta un ejemplo del visor.

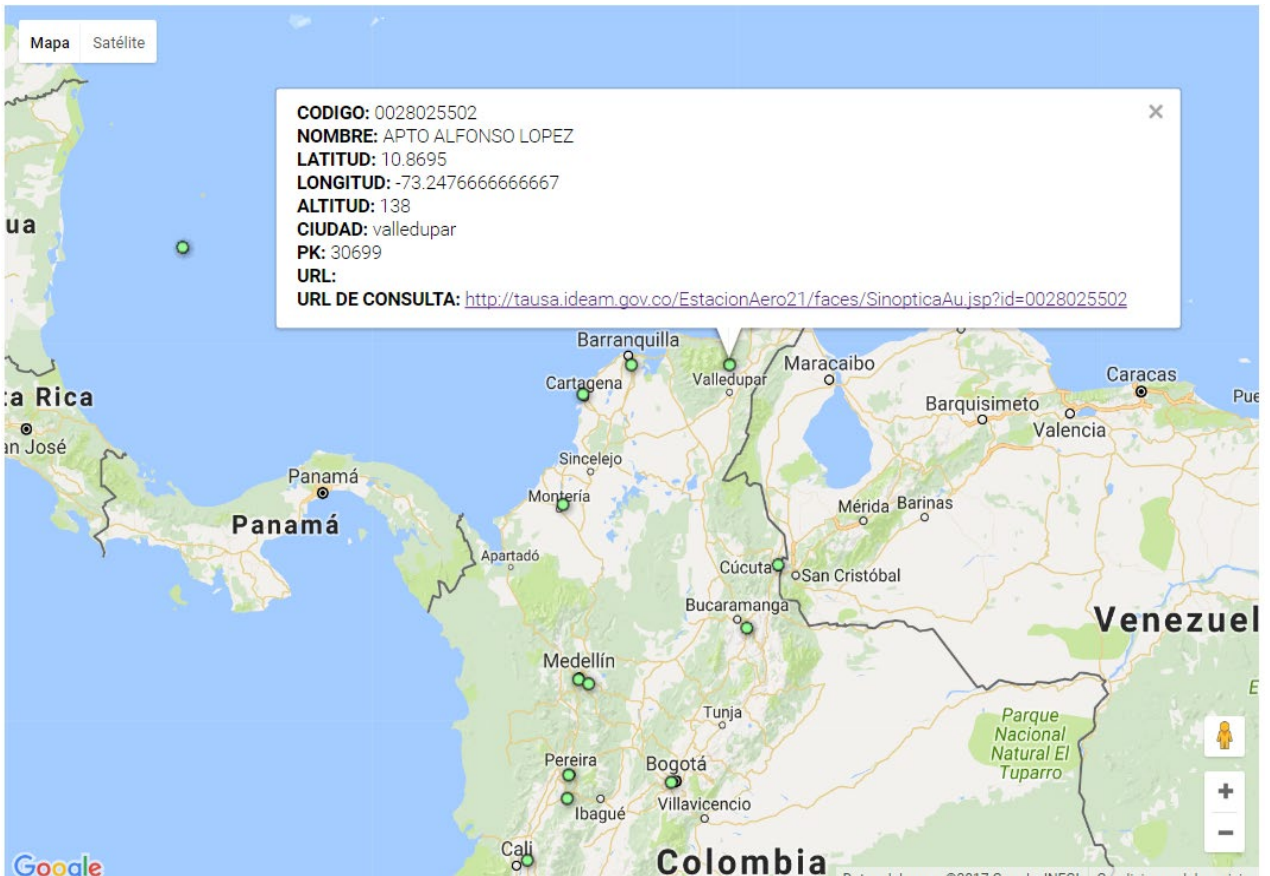


Figura 8.3: Estaciones meteorológicas automáticas en Colombia

Fuente: <http://www.meteoaeronautica.gov.co/visor-meteorologico>

8.6 GESTIÓN DE DATOS: HERRAMIENTAS PARA ANALISIS Y CONSULTA

En el mercado se encuentra disponible una serie de programas de software que se utilizan para consultar y analizar información geoespacial. A continuación, se presentan las plataformas y software más utilizados a nivel mundial.

8.6.1 Uso de Google Earth para disponer datos y establecer escenarios de consulta

Google Earth es una de las aplicaciones de visualización de datos más utilizada a nivel mundial y permite ver el mundo en forma tridimensional. La información cartográfica es sumamente completa para casi todos los países del mundo. Lo mejor es que esta plataforma puede ser utilizada para desplegar los datos que se producen en los proyectos haciendo amplio uso del potencial de la herramienta.

Desde cualquier software de SIG (Sistema de Información Geográfico) se pueden exportar datos de ubicación de líneas de tuberías de transporte de combustible, ubicación de planteles, áreas de exploración de hidrocarburos, terminales de venta, estaciones de bombeo, refinerías, señalización de campo, servidumbres, etc., a formatos que el software Google Earth pueda leer y desplegar. Igualmente, con datos de obras civiles para la protección de ductos provenientes de diseños CAD tridimensionales y que de manera sencilla puede disponer en esta gran aplicación que actualmente está disponible para su uso gratuito. Desde el siguiente vínculo se puede descargar e instalar el software para empezar a trabajar: <https://www.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>

Las siguientes imágenes muestran los datos de infraestructuras de la Refinadora Costarricense de Petróleo, utilizando las potencialidades de Google Earth.

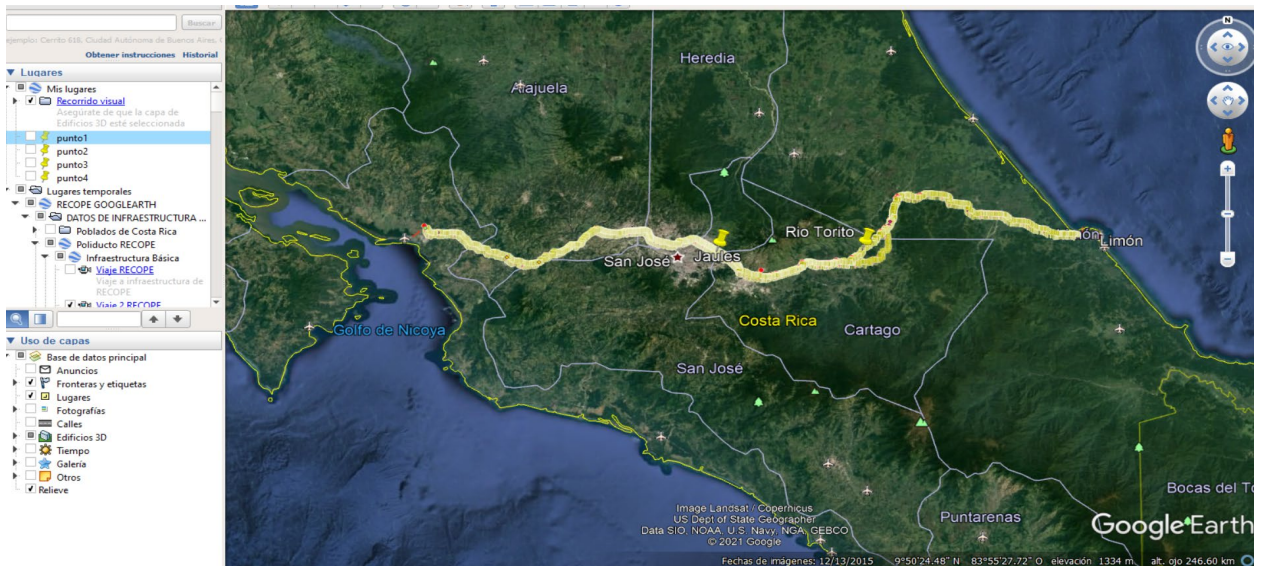


Figura 8.4: Vista general de la infraestructura Moin - Barranca

Fuente: SIG, RECOPE



Figura 8.5: Vista general de la infraestructura Terminal Moin

Fuente: SIG, RECOPE

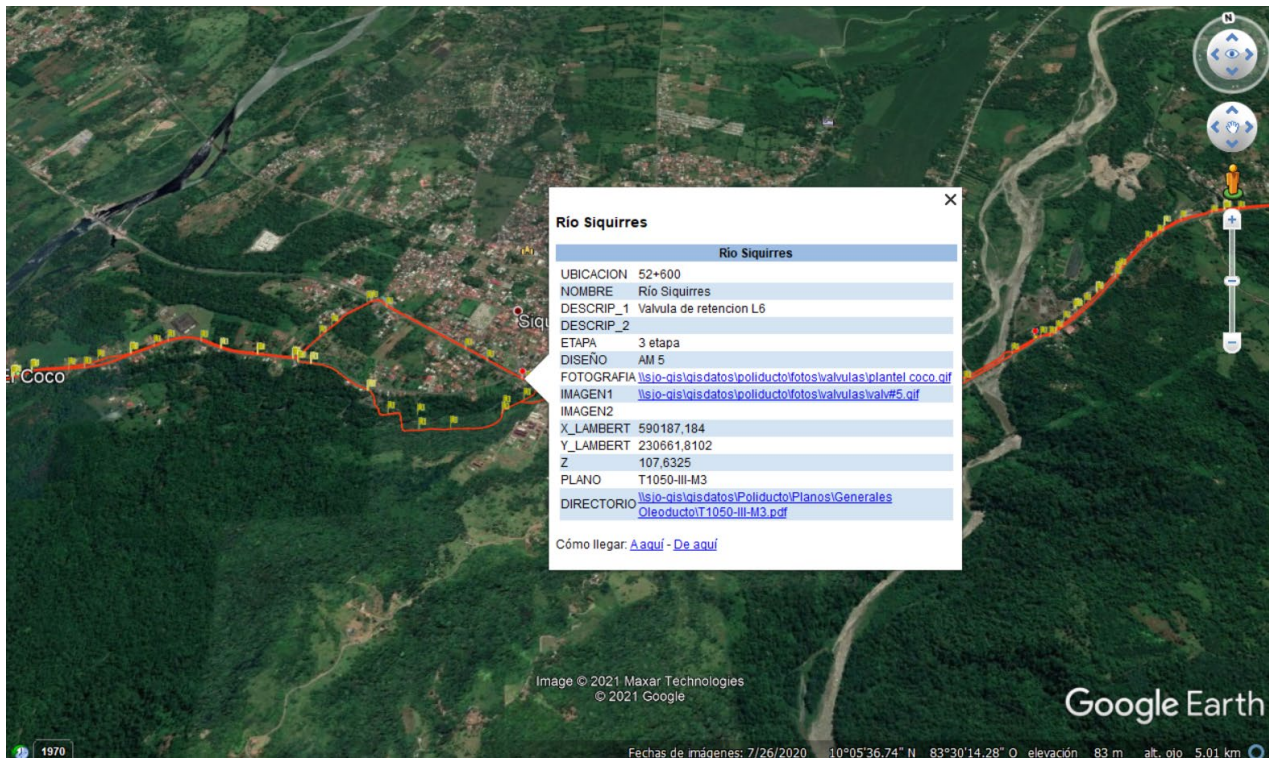


Figura 8.6: Estación de Bombeo Siquirres, consulta Válvulas

Fuente: SIG, RECOPE

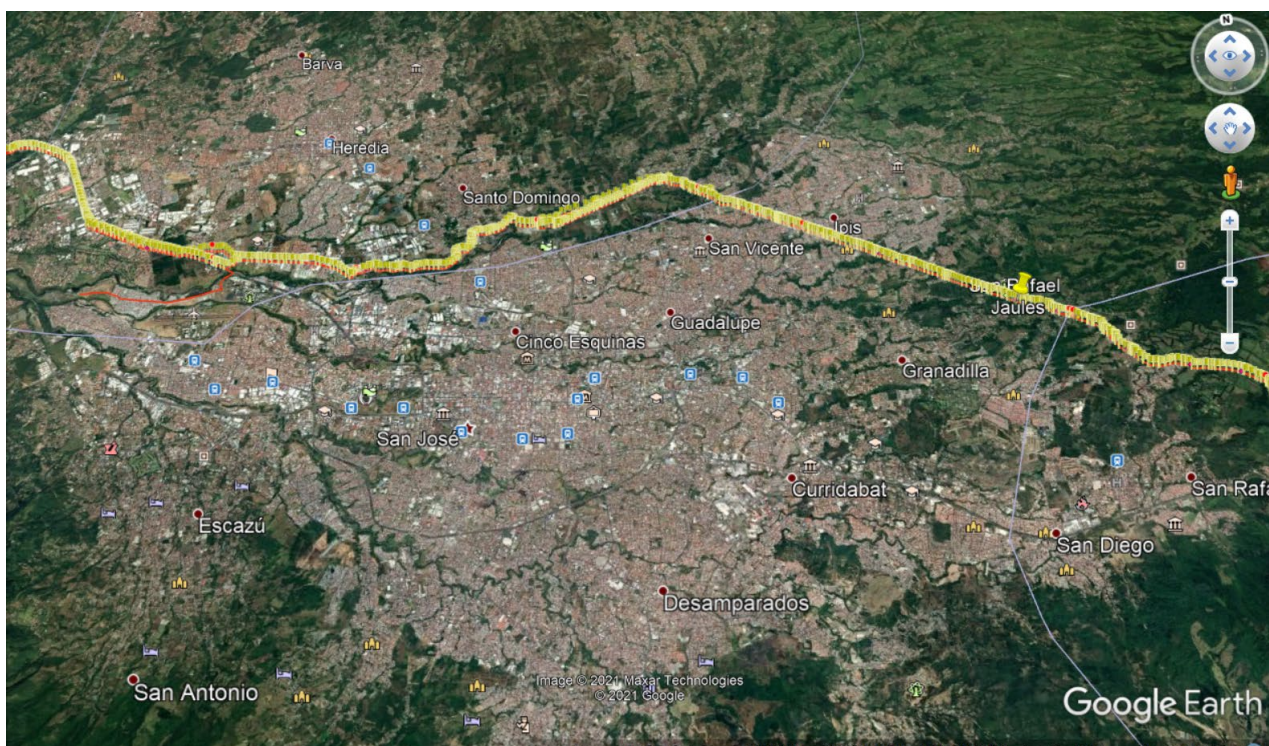


Figura 8.7: Paso de poliducto en zona metropolitana

Fuente: SIG, RECOPE



8.6.2 Software SIG en el mercado mundial

En los últimos años se observa una constante proliferación de tecnologías abiertas aplicadas a la información geográfica, poniéndolas al alcance de pequeñas y medianas empresas, ayuntamientos, entidades locales, centros educativos y de investigación, entre otros. De esta forma, acceden libremente a herramientas para la gestión y el análisis de la información geográfica cuyo coste es una de sus principales condicionantes.

8.6.2.1 ¿Qué es el software libre?

Según el norteamericano Richard Matthew Stallman, fundador del Movimiento del Software Libre, el concepto se basa en cuatro libertades básicas:

- Libertad para ejecutar el programa con cualquier propósito.
- Libertad para estudiar cómo funciona y adaptarlo a las necesidades del usuario.
- Libertad para distribuir copias y compartirlas con otros usuarios.
- Libertad para mejorarlo y compartir dichas mejoras con otros usuarios con el objetivo de que también ellos puedan beneficiarse del programa.

Este tipo de programas abiertos suelen ser gratuitos, pero no se debe asociar software libre a software gratuito. Se trata de una cuestión de libertad de uso y manipulación, no de precio.

El SIG libre constituye una solución altamente aceptable para el tratamiento de los datos espaciales. Muchos de estos proyectos están respaldados por instituciones gubernamentales o universidades a las que se han sumado miles de desarrolladores de todo el mundo que contribuyen con sus aportes a la constante y satisfactoria evolución de las tecnologías geoespaciales libres. De entre las muchas aplicaciones de escritorio SIG desarrolladas en el ámbito del software libre, se destacan tres: Open Jump, GvSIG y UDIG.

8.6.2.2 Ejemplos de los SIG libres más importantes disponibles

El software libre SIG tiene herramientas que no están disponibles en los softwares comerciales, es muy fácil de utilizar, se puede personalizar de forma rápida, y lo más importante es que es gratis.

El software libre en todas las categorías está creciendo muy rápidamente y cada vez es más amplia la comunidad de emprendedores y desarrolladores que generan nuevas aplicaciones y funcionalidades gracias al código abierto. La siguiente lista brinda una visión general de lo que está disponible en el mercado.

8.6.2.2.1 QGIS

El QGIS es un gran SIG de código abierto. Aunque todavía tiene algunos errores se está posicionando como el SIG libre de referencia. QGIS es la herramienta SIG de código abierto más conocida con una probada trayectoria, además de tener su particular ecosistema de complementos “plugins”. QGIS ofrece una alternativa verdaderamente abierta que reduce las barreras de entrada y de costo, no tiene derechos de licencia, y se ejecuta en el sistema operativo de su elección. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de la interfaz gráfica del QGIS.

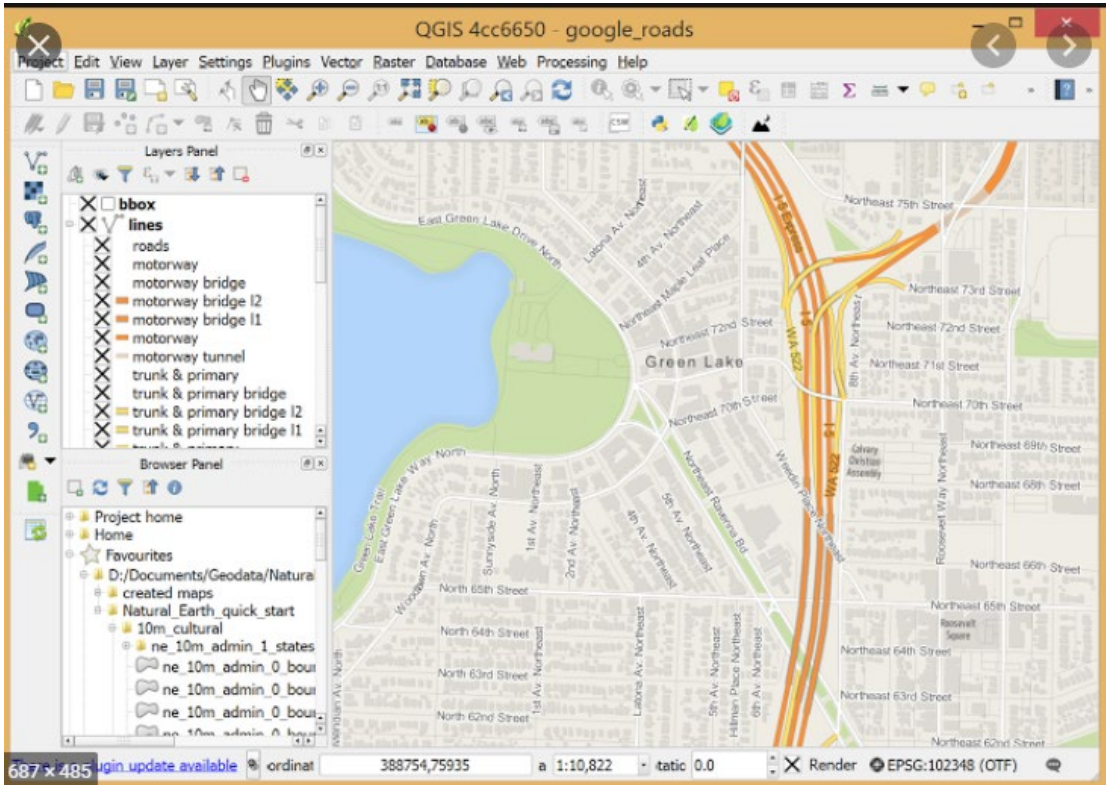


Figura 8.8: Interfaz gráfica QGIS

Fuente: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>

8.6.2.2.2 GRASS

El GRASS es el líder mundial SIG de código abierto que fue desarrollado por los laboratorios de investigación de ingeniería de la construcción del ejército de los Estados Unidos en la década de 1980, y es utilizado por una gran cantidad de organizaciones. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de la interfaz gráfica del GRASS.

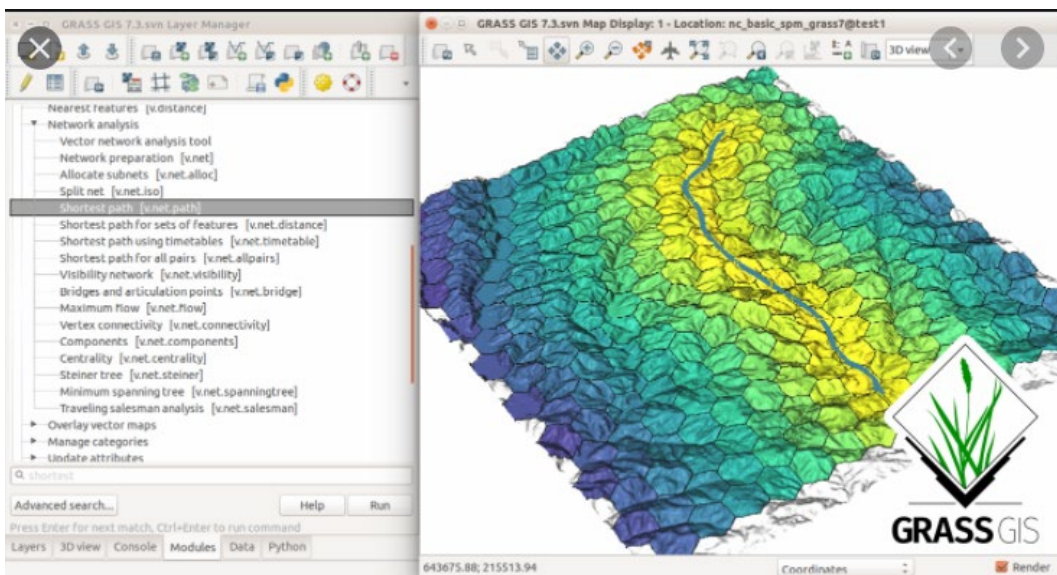


Figura 8.9: Interfase Gráfica GRASS

Fuente: <https://grass.osgeo.org/>

8.6.2.2.3 uDig

En el caso del uDig, es una programación SIG Open Source para up-and-coming que está ganando popularidad en el mercado de ingeniería. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de la interfaz gráfica del uDig.

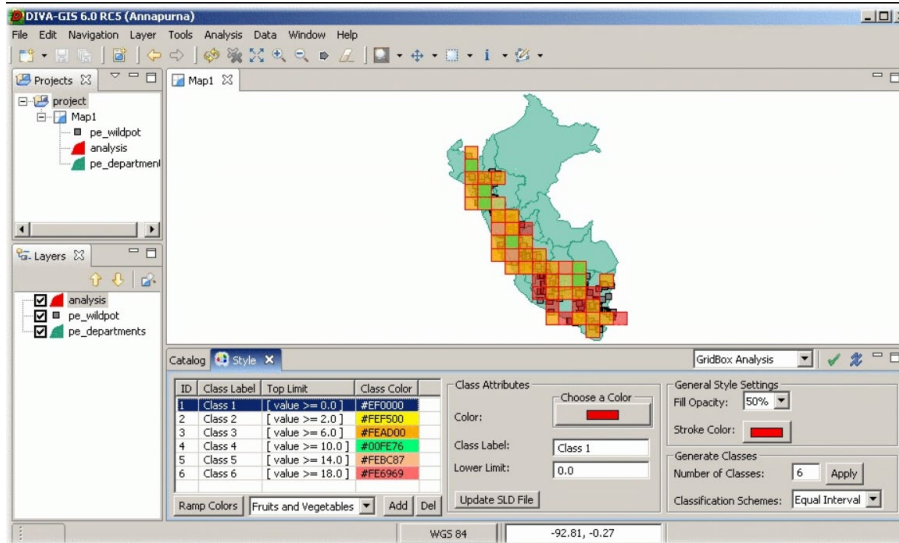


Figura 8.10: Interfase Gráfica uDig

Fuente: <http://udig.refrations.net/>

8.6.2.2.4 gvSIG

El gvSIG desktop es un potente sistema de información geográfica (SIG), diseñado para ofrecer una solución gratuita a todas las necesidades relacionadas con la gestión de la información geográfica. La aplicación gvSIG desktop fue la primera que se desarrolló dentro del proyecto gvSIG, por lo que también se conoce abreviadamente como gvSIG. Este proyecto fue desarrollado por el gobierno local de la Comunidad Valenciana (Generalidad Valenciana) de España, con el objetivo inicial de realizar la gestión de datos geográficos de esa colectividad. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de la interfaz gráfica del gvSIG.

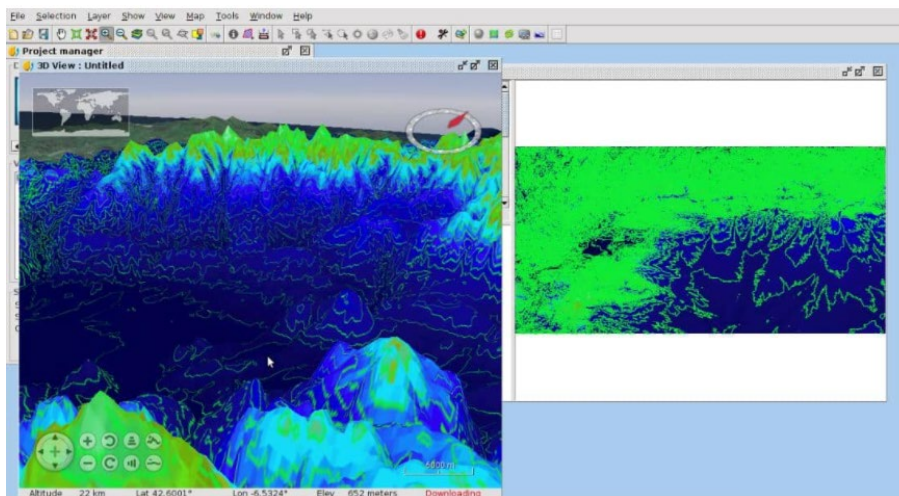


Figura 8.11: Interfase gráfica gvSIG

Fuente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/gvsig-plataforma-gis/>

8.6.2.2.5 ArcGIS ESRI

ArcGIS de ESRI es un potente software que ofrece un conjunto único de capacidades de mapeo, análisis y gestión integrada para aplicar el análisis basado en la ubicación de los elementos. Proporciona herramientas contextuales para visualizar y analizar datos, colaborar con otros y compartir información a través de mapas, aplicaciones y reportes. ArcGIS es un sistema completo, con las siguientes características:

- Organiza, recopila, administra, analiza, comparte y distribuye información geográfica.
- Es utilizado por millones de personas en todo el mundo con el objetivo de poner el conocimiento geográfico al servicio de las diferentes áreas usuarias del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios.
- Permite publicar la información geográfica para que esté accesible a cualquier usuario.
- Está disponible en cualquier lugar a través de navegadores web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.
- Permite sintetizar datos de diversas fuentes en una misma vista geográfica unificada. Estas fuentes de datos incluyen información de bases de datos geográficas, datos tabulares de sistemas de administración de bases de datos (DBMS) y otros sistemas empresariales, archivos, hojas de cálculo, vídeos y fotos con geoetiquetas, KML, CAD Data, fuentes en directo de sensores, imágenes aéreas y de satélite, etc. De hecho, cualquier registro de información con una referencia geográfica, como una dirección de calle, el nombre de una ciudad, un identificador de parcela de tierra, coordenadas GPS, etc., puede localizarse y estar disponible en un mapa.
- Puede incluir datos geográficos fidedignos proporcionados por Esri, proveedores de datos y miles de agencias y organizaciones de SIG de todo el mundo.

En la siguiente figura se presenta un ejemplo de la interfaz gráfica del ArcGIS Pro.

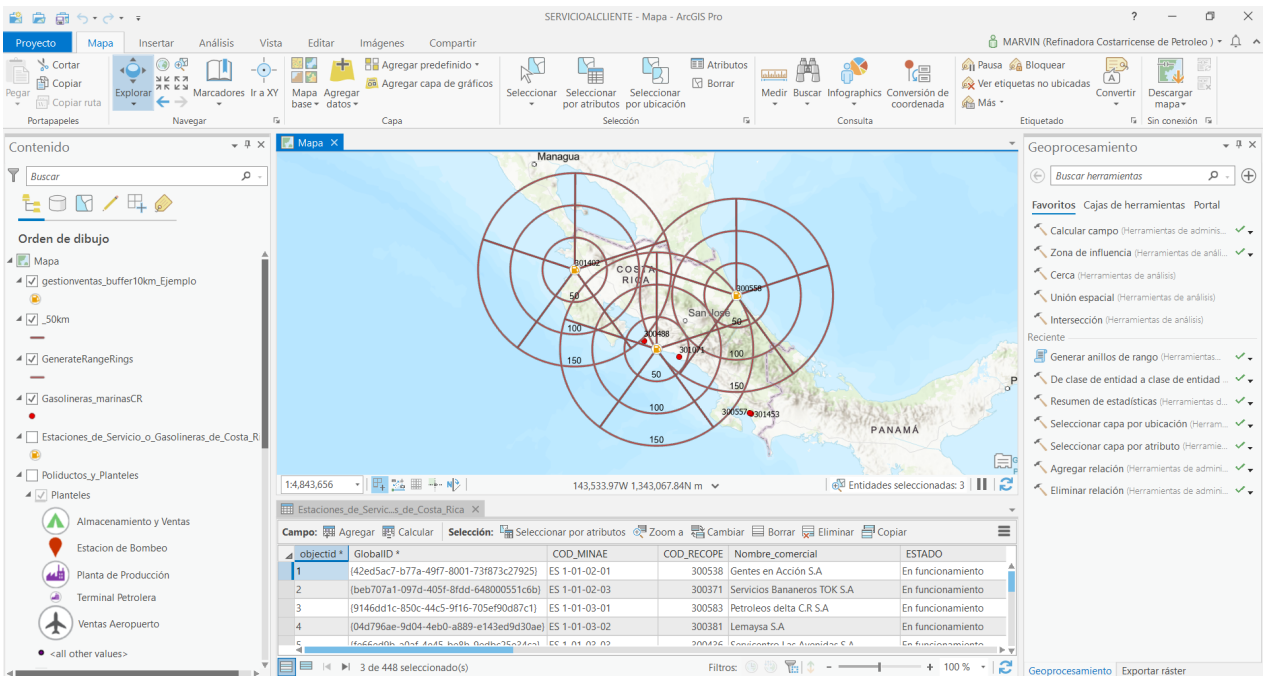


Figura 8.12: Interfase gráfica ArcGIS Pro

Fuente: RECOPE

8.6.2.2.6 Aplicaciones móviles para recolección y monitoreo de datos de campo.

Para el trabajo de recolección de datos de campo ha sido normal utilizar equipos especializados como GPS, estaciones GNSS y otros. Luego, al llegar a la oficina o al tener acceso al computador, se pueden bajar los datos recolectados y hacer post procesos para mejorar su exactitud, y conformar la información relacionada en bases de datos o estructuras similares.

Con la aparición de los teléfonos inteligentes, tabletas y otros equipos móviles esta labor se ha simplificado ampliamente, ya que se aprovechan las capacidades de geo-localización de estos equipos, mapas base de localización, aplicaciones desarrolladas en estructuras abiertas y simples, entre otros.

En esta guía se hace la recomendación de analizar y estudiar las posibilidades de que se utilicen las siguientes aplicaciones, de las cuales vamos a dar una descripción breve y disponer de algunos links para su acceso. Las aplicaciones móviles que se recomienda utilizar por simplicidad, eficiencia, soporte y seguridad son: Survey123, Collector For ArcGIS y Maptrack.

i. Aplicación móvil Survey123 for ArcGIS

Survey123 for ArcGIS forma parte de la nube geoespacial de Esri y es una solución completa y basada en formularios que permite crear, compartir y analizar encuestas. Se debe utilizar para crear formularios inteligentes con lógica de exclusión, valores predeterminados y compatibilidad con varios idiomas. Es ideal para capturar datos a través de la web o dispositivos móviles, incluso sin conexión a internet. Asimismo, con la capacidad de analizar resultados rápidamente y poder cargar los datos de forma segura para realizar un análisis profundo de estos.

La gran ventaja es que se puede realizar la captura de datos en cualquier momento y en cualquier lugar, funcionando en dispositivos inteligentes, portátiles o equipos de sobremesa como una aplicación nativa, además de en el navegador. Esto permite que tenga una producción eficiente incluso en entornos sin conexión a internet, o sea de manera desconectada, ya que los datos se almacenan temporalmente en el dispositivo y al tener capacidades de conexión envía los datos a la nube para ser consumidos por los usuarios en modelos prácticamente diseñados.

Con survey123 se hace un diseño de tipo encuesta que permita una captura rápida con preguntas predefinidas en las que se utiliza la lógica y proporciona respuestas fáciles de rellenar, audio e imágenes integrados, todo ello en varios idiomas. Un tema importante es que Survey123 for ArcGIS admite la especificación XLSForm, de manera que el diseño se hace con Survey123 Connect utilizando el programa Excel de Microsoft Windows. En la siguiente figura se presenta un ejemplo de una interfaz gráfica de un formulario de Survey123.

Registro de Requisitos de Cisternas

Registro de Requisitos

Ubicación geográfica *

9°54'N 83°56'W

Nombre del Conductor *

Identificación *

Inspección Detallada del Cisterna

El conductor presenta condiciones físicas aceptables (vista, coordinación y sin aliento alcohólico) *

Plantel donde se Inspecciona *

Placa de Camión *

Número de TC *

Nombre de Empresa Transportista *

El conductor usa uniforme (pantalón de mezclilla o army, camisa de algodón, calzado de seguridad) *

Porta documentación que acredite la autorización para el transporte de materiales peligrosos *

Figura 8.13. Ejemplo de un formulario de consulta en interfaz Survey123

Fuente: RECOPE.

Los datos que son capturados por medio de Survey123 están disponibles al instante en la plataforma ArcGIS, lo que permite optimizar las operaciones de campo con la habilidad de mejorar la comprensión de los datos y la difusión oportuna de los trabajos realizados.

Como ejemplo de aplicación en ductos de hidrocarburos, en la experiencia que se ha tenido en RECOPE se puede indicar que estas capacidades son independientes de la infraestructura que se pueda implementar a nivel de equipos activos (hardware, software base) ya que se hace uso de la infraestructura oncloud. Por medio de la suscripción a ArcGis online, permite tener un equipo de trabajo de campo que recolecta datos de alta importancia (servidumbres, tomas ilegales o robos, daños ambientales, registros de aguas, inspecciones de equipos, etc.) y aplicaciones de monitoreo en tiempo real, lo que permite tomar decisiones de forma inmediata.

Un ejemplo donde se puede observar el uso de Survey123 se puede encontrar en el siguiente link: [Introducción a Survey123 for ArcGIS](#). Asimismo, se puede consultar el siguiente webinar [Creación de formularios con Survey123 for ArcGIS](#).

ii. Aplicación móvil Collector for ArcGIS

Esri, Collector for ArcGIS es una aplicación móvil de captura de datos que hace que sea más fácil capturar datos de campo precisos y devolverlos a la oficina. Los trabajadores móviles utilizan mapas web en dispositivos móviles para capturar y editar datos. Collector for ArcGIS funciona incluso sin conexión a internet y se integra sin dificultades en ArcGIS.

La interfaz intuitiva de Collector permite su uso por parte de trabajadores de campo de todos los niveles de experiencia, con formularios basados en mapas que capturen y devuelvan datos de campo precisos que se integran perfectamente en ArcGIS. Para cualquier activo u observación, se pueden documentar innumerables detalles con fotos, vídeos o grabaciones de audio.

En ArcGIS, el proceso es muy parecido a lo que se realiza en Survey, pero con ciertas diferencias técnicas en cuanto a su desarrollo y con las capacidades de diseño para gestionar los datos. Básicamente se crea un mapa para su proyecto de captura de datos y se diseña un WebMap, el cual será utilizado por los trabajadores en el campo para registrar los datos, incluso de manera desconectada o sin acceso a internet.

Los datos capturados en el campo constituyen una única fuente fiable que puede utilizarse en toda la organización. Permite a las partes interesadas monitorear proyectos y realizar análisis. En el siguiente link se puede observar un ejemplo de uso de Collector for ArcGIS: [Introducción a Collector for ArcGIS](#)

La siguiente figura muestra un monitor geográfico que refleja de manera adecuada la información que se produce en el campo. Es interesante ver la facilidad con que se pueden diseñar las aplicaciones que permiten levantar datos de interés y disponerlos a los niveles de operación, prevención de riesgos, toma de decisiones, seguridad, etc.

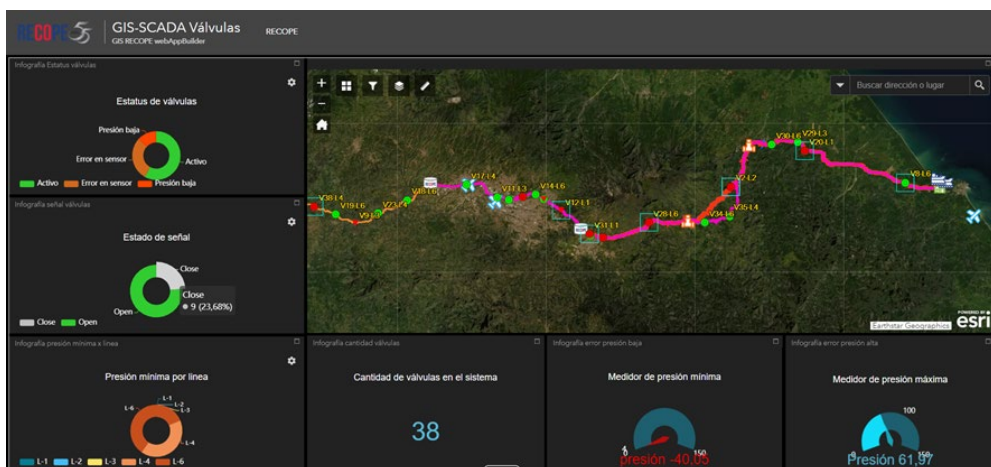


Figura 8.14: Monitor de válvulas en poliducto RECOPE

Fuente: SIG, RECOPE

9

Casos de Estudio



9 Casos de Estudio

En este capítulo se presenta una compilación de casos prácticos referenciales de ejecución de obras civiles para el control de la estabilidad de un DDV y seguimiento a la integridad de ductos.

Es importante mencionar y aclarar que algunas secuencias de trabajo son referenciales o han sido modificadas para atender el objetivo práctico de la guía técnica. Por tal motivo, no todos los datos son exactos, precisos o verdaderos.

9.1 APLICACIÓN DE SOIL NAILING (SUELO ABULONADO) EN UNA ZONA DE TALUD PARALELO AL DDV. Empresa: RECOPE

9.1.1 Descripción general

En el sistema RECOPE, a la altura del sitio denominado Barrio Holandés, se presentaron varios deslizamientos de tierra que afectaron la estabilidad del DDV y las viviendas localizadas en la parte alta del talud adyacente al DDV. Como se observa en las siguientes figuras, el poliducto se localiza entre la parte baja del talud y el cauce de una quebrada afluyente del Río Torres.



Figura 9.1 Deslizamiento de talud¹

Fuente: RECOPE

¹Se pueden observar viviendas en la parte superior, además de la basura que botaban, lo que afectaba la estabilidad del talud.



Figura 9.2 Base del talud inundada²

Fuente: RECOPE



Figuras 9.3 Base del talud³

Fuente: RECOPE

En atención al caso, se realizaron visitas al sitio de parte de profesionales en geotecnia y se contrató a la empresa consultora INGEOTEC S.A. para realizar todos los estudios y plantear la solución al problema. Con base en los análisis realizados se brinda un diagnóstico sobre la estabilidad del talud, la seguridad del oleoducto y de las viviendas localizadas sobre el talud, frente a los deslizamientos.

²Debido a que el deslizamiento obstruyó el puente de alcantarillas de la quebrada, provocando que la base del talud se desestabilice y ayude a activar su deslizamiento.

³Se observa un poliducto de 6" y banderas que indican la localización de la tubería de 12".

9.1.2 Investigación realizada

Sobre la investigación geotécnica detallada, se realizaron los estudios de:

1. Topografía
2. Exploración directa del subsuelo -SPT-
3. Exploración indirecta del subsuelo -geofísica-
4. Modelos geotécnicos del sitio
5. Modelación de taludes y alternativas de solución

9.1.2.1 SPT (Ensayo de penetración estándar)

Consistió básicamente en la ejecución de 4 sondeos exploratorios denominados P1, P2, P3 y P4. Los sondeos P1 y P2 que se realizaron en la base del talud alcanzaron una profundidad de 5,0 metros. Por su parte, los sondeos P3 y P4 se realizaron en la parte alta del talud y alcanzaron una profundidad de 10,0 metros.

Para el avance de la perforación y para la exploración se utilizó el método de Penetración Normal (SPT), que permite el muestreo continuo del suelo para la reconstrucción del perfil y ejecución de pruebas de laboratorio. Entre las principales pruebas realizadas figuran el contenido de humedad natural, pesos volumétricos, límites de Atterberg y resistencia a la compresión simple.

A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del suelo del sector de estudio:

MATERIAL	SIMBOLOGÍA
Limo arcilloso café negruzco orgánico. Plasticidad media a alta. Consistencia muy blanda	
Limo arcillo-arenoso café claro. Plasticidad alta. Consistencia entre blanda y medianamente compacta.	
Limo arcillo-arenoso café claro. Plasticidad alta. Consistencia entre muy compacta y rígida.	

Tabla 9.1: Perfil estratigráfico según pruebas y SPT

Fuente: RECOPE

9.1.2.2 Geofísica

En este trabajo se utilizó un equipo sísmico de registro digital marca Geometrics ES-3000 y como fuente de energía se emplearon golpes de mazo de 10kg sobre una placa metálica. En el sitio investigado, denominado Barrio Holandés, se realizaron 2 perfiles con el objetivo de investigar la estratigrafía y condición de los materiales y/o rocas presentes en el subsuelo de los taludes en cuestión. En total se realizaron 100 m de perfilaje sísmico, distribuidos en dispositivos de 70 y 30 m respectivamente.

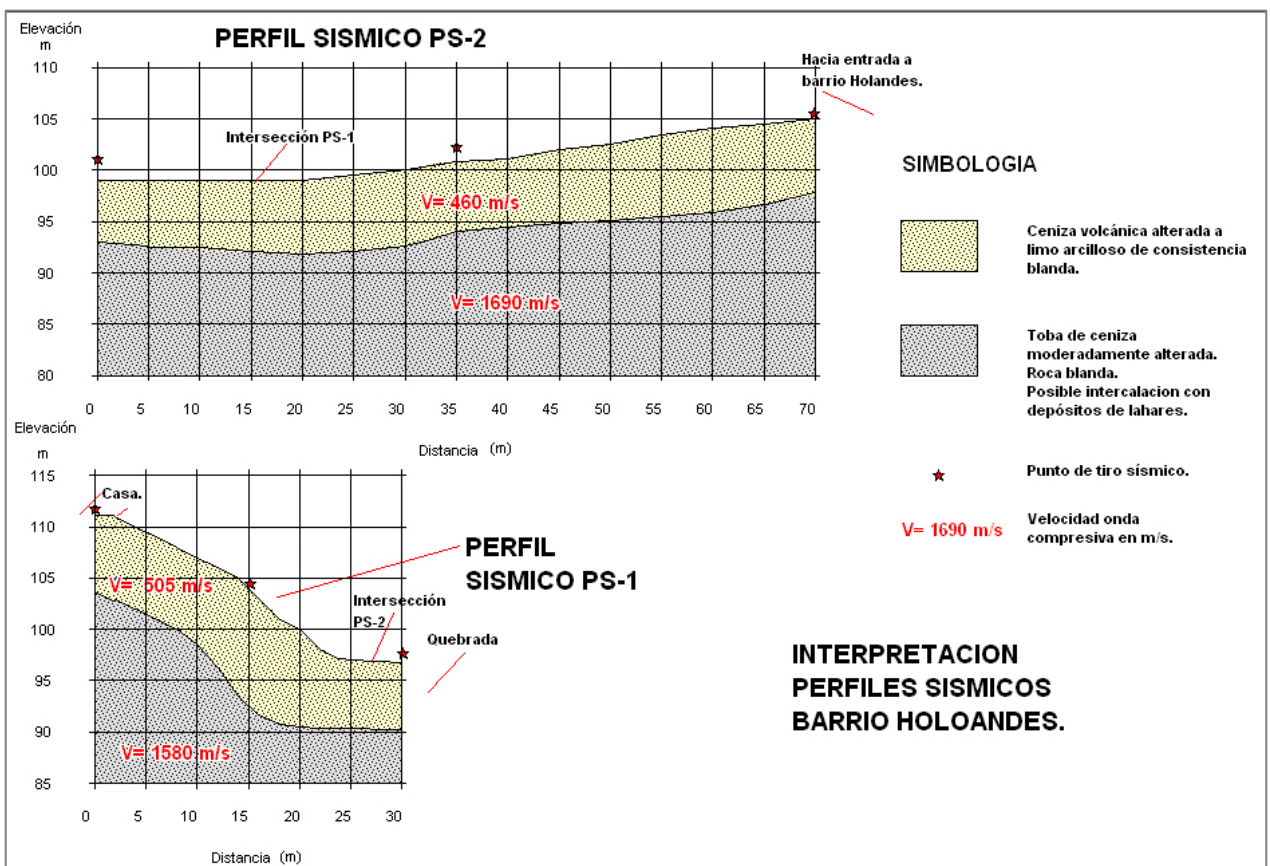
De acuerdo con las observaciones de campo realizadas durante la ejecución de este trabajo, se determinó que el área del proyecto está conformada por una unidad de tobas de ceniza moderadamente soldada y alterada, la cual muestra coberturas superficiales de ceniza muy alterada a arcilla plástica de consistencia blanda y baja velocidad relativa de propagación de onda compresiva (V_p). En la Tabla 9.2 se presenta un resumen de los parámetros y características del subsuelo y del macizo rocoso bajo cada uno de los perfiles realizados.

Perfil	Ubicación	V1 (m/s)	V2 (m/s)
PS-Central	B. Holandés.	505-460	1580-1690
PS-1	B. Holandés.	505-460	1580-1690

Tabla 9.2 Parámetros y características del subsuelo y macizo rocoso⁴

Fuente: RECOPE.

En la Figura 9.4 se presenta la interpretación integrada de los perfiles efectuados, en un formato que contiene toda la información necesaria para la comprensión de los resultados, es decir, geometría de los perfiles, topografía de la sección, velocidades obtenidas, correlación litológica y espesor y sus variaciones en cada capa interpretada.



Figuras 9.4 Perfiles de suelo a partir de geofísica

Fuente: RECOPE

Considerando que las capas 1 y 2 poseen características muy similares, se estableció el siguiente modelo geotécnico bicapa, que fue utilizado para los estudios de estabilidad, así como para el diseño de las soluciones:

⁴V1: velocidad de onda compresiva de coberturas superficiales. V2: velocidad de onda compresiva de tobas y lahares.

Capa 1 Limo arcilloso café negruzco o limos areno-arcillosos suaves de mediana a alta plasticidad. Valor de ángulo de fricción de 0° , cohesión de $2,5 \text{ ton/m}^2$. Peso volumétrico total con saturación parcial de $16,5 \text{ KN/m}^3$. Peso volumétrico total con saturación total de $17,5 \text{ KN/m}^3$.

Capa 2 Suelos firmes, limos areno-arcillosos café claro (alteración del basamento rocoso de tobas de ceniza). Valor de ángulo de fricción de 0° , cohesión de 8.0 ton/m^2 . Peso volumétrico total con saturación parcial de 17.5 KN/m^3 . Peso volumétrico total con saturación total de 18.5 KN/m^3 .

9.1.2.3 Estabilidad del talud antes de los trabajos

Con la información obtenida en campo y laboratorio se procedió a realizar un estudio de estabilidad del talud, tanto bajo la condición de carga estática como dinámica (con sismo).

Como es usual en este tipo de análisis se utilizaron métodos de equilibrio límite para evaluar el riesgo frente a deslizamientos. Esta metodología evalúa el riesgo en términos de un número llamado Factor de Seguridad, definido como el cociente entre las fuerzas y/o acciones resistentes que se oponen al deslizamiento y las fuerzas motoras que originan el deslizamiento.

Caso analizado	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico (con sismo)	Observaciones
Estabilidad actual del talud	1,12	0,92	Precariamente estable en condición estática, e inestable en condición de sismo

Tabla 9.3 Resultados de análisis de estabilidad

Fuente: RECOPE

De los resultados anteriores se concluyó lo siguiente:

1. Los factores de seguridad obtenidos son admisibles para taludes naturales en los que no haya edificaciones encima. No obstante, se consideran inadmisibles para taludes que soportan edificaciones. Asimismo, se concluye que el riesgo es alto e inadmisibles para un oleoducto.
2. Para garantizar la seguridad de la vivienda y del oleoducto tanto bajo la acción de carga estática, como frente a sismos, es necesario construir algún tipo de obra de retención.

Como comentarios generales de la investigación realizada, se concluye que el deslizamiento ocurrido fue producto de las siguientes causas:

- a. Existencia de suelos de regular a mala calidad, especialmente, en la parte alta y baja del talud
- b. Existencia de suelos de carácter erosionable muy susceptibles a la acción del agua de lluvia
- c. Sobrecarga de las partes altas del talud con el peso de las viviendas
- d. Alta pendiente del talud
- e. Movimientos de tierra en la parte baja del talud, realizadas durante la construcción de la terraza donde se aloja el oleoducto

9.1.3 Alternativas de solución

Como resultado de la investigación y análisis técnico realizado, se plantearon tres alternativas para estabilización del talud:

1. Un muro de gaviones en la base del talud
2. Suelo cosido sobre el talud
3. Movimiento de tierras en terracedo para estabilizar el mismo

9.1.3.1 Muro de gaviones

EL muro debía tener una altura mínima de 7,0 metros. Dado que los sondeos realizados en la parte baja del talud, donde se apoyaría el muro, detectaron la existencia de suelos muy suaves hasta 5,50 metros, es necesario realizar una excavación y sustitución de materiales hasta alcanzar el suelo firme. El proceso constructivo sería el siguiente:

- Entubado de la quebrada provisional en la zona de construcción.
- Excavación y sustitución de suelos suaves por grava de río compactada utilizando una toba plástica de cemento con una resistencia a la compresión simple de 35 kg/cm².
- Colocación de las primeras hileras de gaviones y reposición y compactación del suelo lateral.
- Repetir ese proceso hasta terminar el muro.

Los resultados del diseño expresados en términos del factor de seguridad obtenido para esta alternativa son:

Solución analizada	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico	Observaciones
Muro de gaviones	1,47	1,12	Estable tanto en condición estática como en caso de sismos.

Tabla 9.4 Factores de seguridad – alternativa muros de gaviones

Fuente: RECOPE

9.1.3.2 Suelo cosido (concreto lanzado y anclajes)

La segunda alternativa es el refuerzo del talud con pernos utilizando la técnica de suelo cosido, es decir, un refuerzo del talud utilizando pernos y concreto lanzado. Este tipo de muros se denomina muro anclado y consiste en una serie de pernos que se introducen dentro del terreno y que se amarran al exterior del talud mediante una pantalla de concreto que se coloca mediante la técnica de concreto lanzado.

El proceso constructivo que se propuso es el siguiente:

- Conformación y limpieza del talud, removiendo todo aquel material suelto que pueda desprenderse durante los trabajos de perforación. Colocación de una capa inicial de 2 cm de concreto lanzado para protección del talud de la erosión durante la construcción y consolidación de los bloques superficiales.
- Perforación de agujeros e introducción de la varilla e inyección de agujeros con lechada de cemento.
- Colocación de la malla electro-soldada fijada al centro de la capa de concreto.
- Colocación de la mitad del espesor de la capa de concreto lanzado.
- Colocación de las placas y soldaduras.
- Completar la capa total de concreto lanzado (12 cm).

Los resultados del diseño expresados en términos del factor de seguridad obtenido para esta alternativa son:

Solución analizada	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico	Observaciones
Muro de suelo cosido	1,56	1,26	Estable tanto en condición estática como en caso de sismos.

Tabla 9.5 Factores de Seguridad – Alternativa muro cosido

Fuente: RECOPE

9.1.3.3 Alternativa de movimiento de tierras

Esta alternativa consiste en realizar un movimiento de tierras cuyo objetivo sea la eliminación de la capa suave existente por encima de la plataforma del camino donde se localiza el oleoducto. Se consigue con ello realizar un alivio de peso de tierras sobre la plataforma donde se ubica el poliducto. Sin embargo, para este movimiento de tierras es necesario demoler gran parte de la vivienda. Por tal razón esta alternativa es válida solamente en el caso de que Recope decida reubicar e indemnizar a los propietarios de las viviendas, o reubicarlos en otra propiedad.

Los resultados del diseño expresados en términos del factor de seguridad obtenido para esta alternativa son:

Solución analizada	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico	Observaciones
Movimiento de tierras (falla general)	1,80	1,36	Estable tanto en condición estática como en caso de sismos.
Movimiento de tierras (falla parte superior)	1,85	1,31	Estable tanto en condición estática como en caso de sismos.

Tabla 9.6 Factores de Seguridad – alternativa movimientos de tierra

Fuente: RECOPE

9.1.3.3 Alternativa de movimiento de tierras

Esta alternativa consiste en realizar un movimiento de tierras cuyo objetivo sea la eliminación de la capa suave existente por encima de la plataforma del camino donde se localiza el oleoducto. Se consigue con ello realizar un alivio de peso de tierras sobre la plataforma donde se ubica el poliducto. Sin embargo, para este movimiento de tierras es necesario demoler gran parte de la vivienda. Por tal razón esta alternativa es válida solamente en el caso de que Recope decida reubicar e indemnizar a los propietarios de las viviendas, o reubicarlos en otra propiedad.

Los resultados del diseño expresados en términos del factor de seguridad obtenido para esta alternativa son:

9.1.3.4 Comparación de alternativas: ventajas y desventajas

1. MURO DE GAVIONES

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Convencional• Muchas empresas pueden realizarla• Restituye los patios afectados por el deslizamiento.	<ul style="list-style-type: none">• Mayor costo• Requiere realizar movimientos peligrosos de tierras en la fundación que podrían producir un deslizamiento mayor durante el periodo constructivo; si no se toman las precauciones apropiadas.• Peligro de que ocurra un deslizamiento durante la construcción.• Debe relocarse la tubería del poliducto bajo el cauce de la quebrada.• Dificultad de obtención de permisos en SETENA para excavaciones cerca del cauce de la quebrada.• Solución muy difícil de realizar en la época lluviosa.

Tabla 9.7 Ventajas y desventajas - alternativa de muro de gaviones

Fuente: RECOPE

2. MURO DE SUELO COSIDO

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Menor costo que el muro de gaviones.• No requiere movimientos de tierras, por lo que no hay riesgo de proceso constructivo.• Muy poca afectación a los habitantes de las casas, ya que el trabajo se hace desde la plataforma inferior.• No modifica las condiciones hidráulicas de la quebrada, por lo que es más fácil obtener los permisos.• No pone en riesgo las edificaciones durante la construcción, ya que no se realizan movimientos de tierras.	<ul style="list-style-type: none">• Mayor costo en relación con la solución de movimiento de tierras.• No restituye el patio que fue afectado por el deslizamiento.• Limitación de colocar en un futuro viviendas más pesadas sobre el talud reforzado.• Hay solo 3 empresas en el país que pueden realizar este trabajo, por lo tanto, la disponibilidad de realizarla en un momento dado podría ser menor.

Tabla 9.8 Ventajas y desventajas - alternativa de muro suelo cosido

Fuente: RECOPE

3. MOVIMIENTO DE TIERRAS Y DESALOJO DE LAS VIVIENDAS

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Menor costo en relación con las otras.• Convencional• Muchas empresas pueden realizarla.	<ul style="list-style-type: none">• Requiere demoler viviendas.• Difícil de realizar en temporada lluviosa.• Requiere permisos de SETENA para realizar movimiento de tierras cerca de la quebrada.• Sujeta a que los propietarios quieran vender las viviendas a un precio razonable para RECOPE.• Realizar excavaciones puede producir problemas de estabilidad a las viviendas vecinas y presentarse por lo tanto futuros reclamos a RECOPE.

Tabla 9.8 Ventajas y desventajas - alternativa de muro suelo cosido

Fuente: RECOPE

Después de realizar un análisis de todas las ventajas y desventajas, además de los costos, se determinó como solución para la estabilidad del talud el **MURO DE SUELO COSIDO**

9.1.4 Desarrollo de la solución “muro de suelo cosido”

9.1.4.1 Ingeniería de detalle

Una vez seleccionada la alternativa de solución definitiva, se realizó todo el diseño e ingeniería de detalle en donde se destaca:

- Colocación de once hileras de pernos de varilla #8 G60 de 9,0 metros de longitud, espaciados longitudinalmente cada 1,50 metros. El diámetro de la perforación fue de 75 mm. El espacio entre la varilla y el suelo fue rellenado con una lechada de cemento.
- Colocación de una capa de concreto lanzado de 12 cm de espesor y una resistencia de 210 kg/cm². En el medio de esta capa se colocó una malla electrosoldada. Uniendo los puntos de anclaje (horizontal y verticalmente se colocó una varilla #4) para refuerzo de la pantalla en los puntos más esforzados. Los pernos se fijaron a la pantalla de concreto mediante placas de acero de 20 x 20 cm x 5 mm de espesor. La barra de acero del anclaje fue soldada a esa placa.
- Cada 2,25 metros cuadrados se colocó un tubo de drenaje dentro de la capa de concreto para alivio de las presiones hidrostáticas.
- Construcción de una fila de drenes perforados en la base del muro para alivio de las presiones hidrostáticas. Estos drenes son entubados con PVC de 2 pulgadas de diámetro y tienen una longitud de 9,0 metros. Se espaciaron horizontalmente cada 3,0 metros.

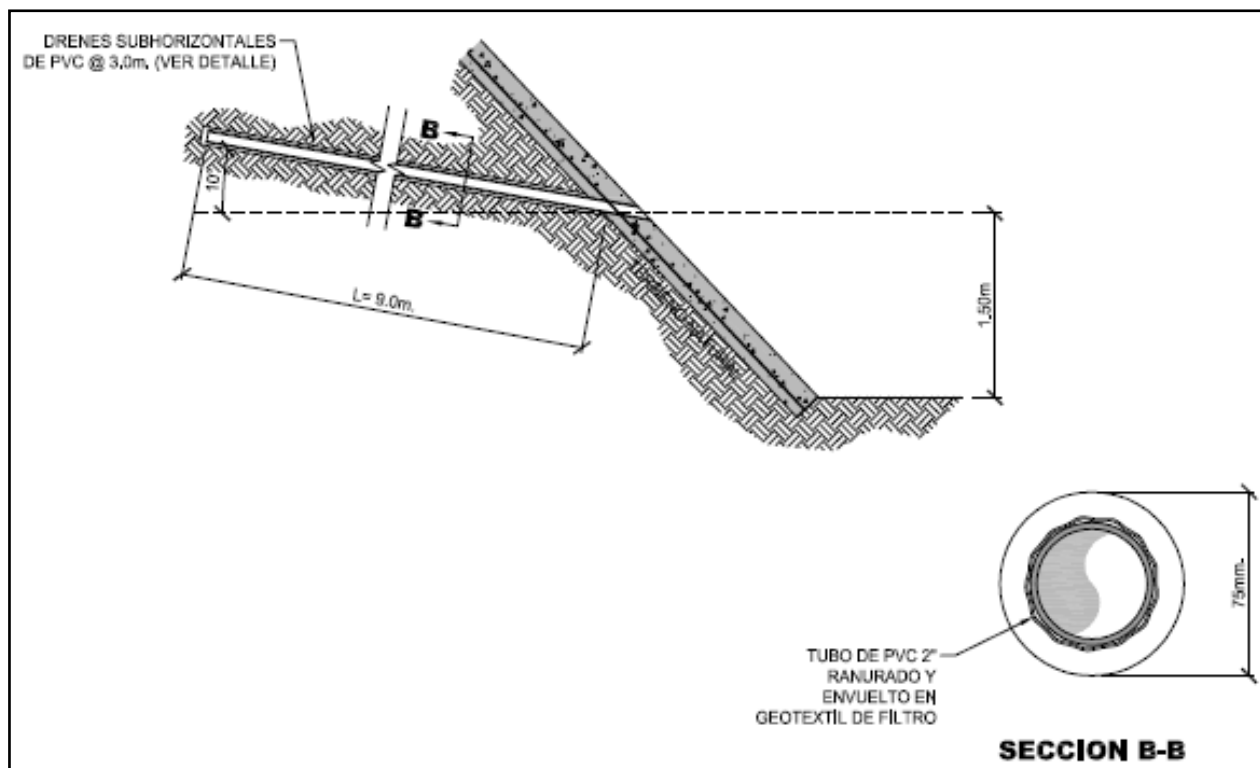


Figura 9.5 Detalle de la solución, perfil del talud

Fuente: RECOPE

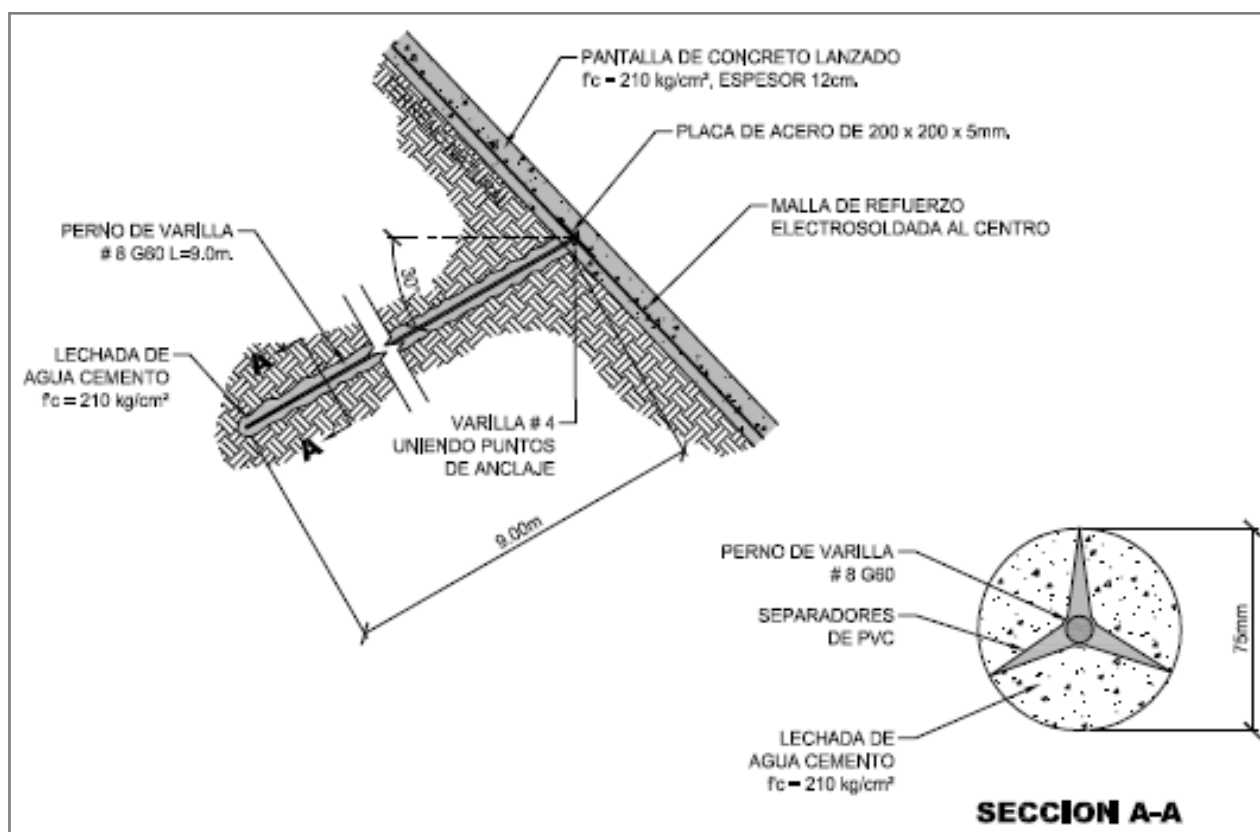


Figura 9.6 Detalle del drenaje

Fuente: RECOPE

9.1.4.2 Lanzado de lechada o recubrimiento

Una vez finalizada la limpieza, se perfiló el terreno y se lanzó una lechada sobre cara externa del talud. Lo anterior, con el fin de protegerlo de la erosión causada por la lluvia.



Figura 9.8 Vista general del talud a estabilizar una vez concluidas las actividades de limpieza

Fuente: RECOPE

9.1.4.2.3 Instalación de anclajes y drenes

Se establece la zona afectada y la ubicación de los anclajes en el talud según la ingeniería de detalle.



Figuras 9.10 Vista de detalle de talud revestido (izquierda). Vista general de instalación de anclajes en la base del talud (derecha)

Fuente: RECOPE

Durante este proceso también se instalaron los drenes sub-horizontales, los cuales alivianan las presiones hidrostáticas sobre la pantalla de concreto.



Figuras 9.11 Vista general del talud y colocación de anclajes en la base.

Fuente: RECOPE

9.1.4.2.4 Concreto lanzado

Se utilizó acero de refuerzo, malla electro-soldada fijada al centro de la pantalla de concreto, varilla N° 4 uniendo los puntos de anclaje y placas de acero de 200 x 200 x 5 mm en cada uno de estos puntos de anclaje. Se requirió alambre negro para la armadura de la pantalla.

Luego se colocó una capa de concreto de 12 cm de espesor, con una resistencia de 210 kg/cm² a la compresión, y un pigmento color terracota, el cual proporciona el acabado final de la superficie.



Figuras 9.12 Lanzado de concreto

Fuente: RECOPE

9.1.4.2.5 Cuneta de coronación y cerco superior del talud

Como trabajos complementarios de ayuda a mantener la estabilidad del talud y de protección a las viviendas se construyó una cuneta de coronación y desfogueos al talud y una malla ciclón de 2 metros de altura.

La cuneta de coronación se construyó en la corona del talud para lograr que el agua proveniente de la lluvia y de las casas aledañas sea canalizada y no cause ningún problema al trabajo de estabilización realizado. La cuneta tuvo una longitud de 30 m y cuenta con desfogueos en tubo de PVC (con un diámetro de 2 pulgadas) hacia la cara tratada del talud a cada 1,5 m.

En la corona del talud se instaló una malla ciclón de 2 m de altura y 30 m de longitud. Dicha malla cuenta con tubos de soporte cada 3 m y con pies de amigo cada 6 m. Además, se instalaron tres hileras de alambre de púas en la parte superior de la malla con el fin de mejorar la seguridad de las casas que se ubican en la parte alta del talud.



Figuras 9.13 Cuneta y malla ciclón

Fuente: RECOPE

9.1.4.2.6 Cuneta de coronación y cerco superior del talud

La actividad final comprende la revegetación y limpieza de la zona de trabajo. En las siguientes figuras se puede observar el estado de revegetación inicial y el sitio con la obra integrada al entorno natural.



Figura 9.14 Zacate y palmeras sembradas en franja – revegetación inicial

Fuente: RECOPE



Figura 9.15 Obra integrada al entorno natural – posterior a los trabajos

Fuente: RECOPE



Figura 9.16 DDV estabilizado y revegetado

Fuente: RECOPE

9.2 ALIVIO DE TENSIONES INDUCIDAS POR DEFORMACIÓN LENTA DE PENDIENTE EN RELIEVE MONTAÑOSO DEL ESTADO DE RIO DE JANEIRO.

Empresa: TRANSPETRO

9.2.1 Resumen

Este trabajo presenta la aplicación práctica del análisis y la obra realizada por Transpetro para la detección y tratamiento de un ducto enterrado sujeto a deformaciones inducidas por el movimiento lento del suelo. Se indican todas las etapas del proceso, desde las inspecciones geotécnicas que mostraron indicios de deslizamiento, pasando por la instalación de inclinómetros y piezómetros para monitoreo del desplazamiento del suelo, mediciones de tensión en el ducto en operación, instalación de extensómetros de cuerda vibrante para acompañamiento de la variación de tensiones a lo largo del tiempo y finalmente, el procedimiento de excavación de arriba hacia abajo del ducto para el alivio de estas tensiones. Se realizó acompañamiento topográfico para medición precisa del movimiento del ducto durante su distensión y monitoreo de la baja y las tensiones a través de los extensómetros ya instalados.

9.2.2 Características generales

Con más de 40 años de construcción, el ducto presentado se ubica en los municipios de Itaguaí y Mangaratiba, en el estado de Rio de Janeiro, Brasil, donde pasa por un relieve montañoso. En este trecho predominan los accidentes geográficos de las vertientes de la Sierra del Mar. Localmente, se observan rocas gnéisicas bandeadas y foliadas, con textura gruesa, y teniendo como minerales principales los feldspatos, cuarzo y micas. Otras unidades geológicas presentes son: diques de diabasa, coluvión y suelo residual.

Esa región presenta elevados índices pluviométricos, concentrados en los meses de verano. En esta época del año, se percibe sistemáticamente un aumento significativo de las velocidades de deformación de los coluviones, en función de la elevación del nivel de agua debajo de la superficie.

El trecho referente se sitúa en la media-pendiente de la sierra, sobre un depósito de coluvión con espesor variando de 6 a 11 m, arriba de un perfil de alteración de suelo residual. La Figura 9.17 muestra la región afectada por el aumento de deformación del oleoducto, ubicada en una vaguada, lo que también se puede observar en el perfil longitudinal presentado en la Figura 9.18. La inclinación de la pendiente en este local es de cerca de 16° , como se puede observar en la Figura 9.19 y el nivel freático es elevado durante todo el año.



Figura 9.17 Vista en planta de la ubicación de la región

Fuente: TRANSPETRO

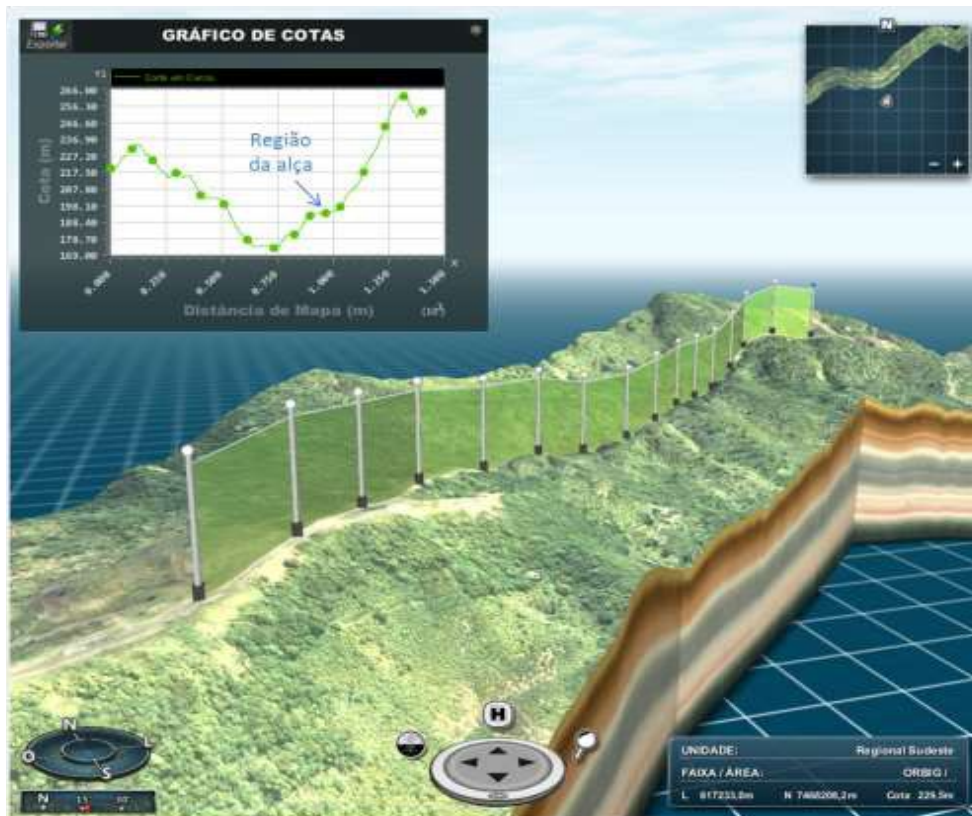


Figura 9.18 Perfil de la superficie longitudinal al ducto

Fuente: TRANSPETRO

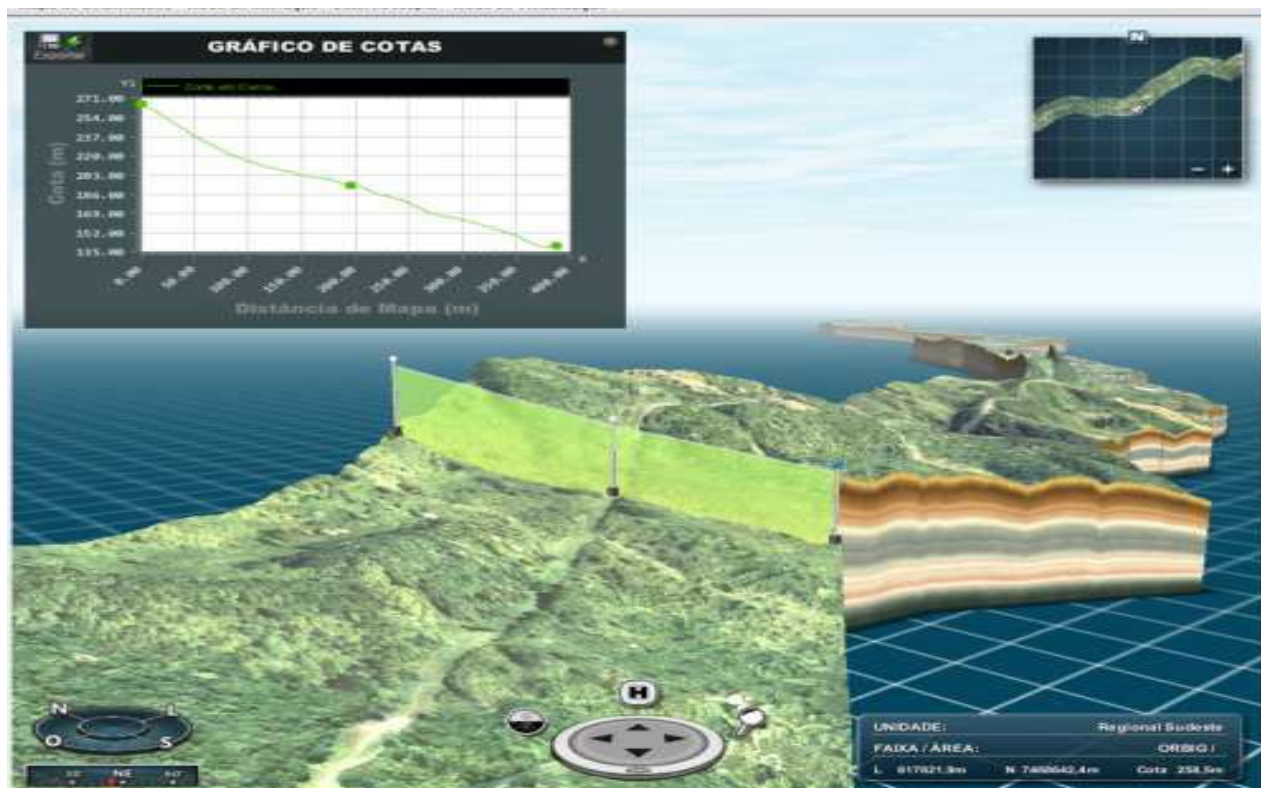


Figura 9.19 Perfil de la superficie transversal al ducto

Fuente: TRANSPETRO

9.2.3 Identificación y caracterización de la deformación

9.2.3.1 Inspecciones geotécnicas

Inspecciones geotécnicas aérea y terrestre realizadas en el sitio identificaron grietas y abatimientos, indicios de movimiento de la pendiente que, juntamente con las características típicas de depósitos de coluvión observadas, como la presencia de bloques de roca y la saturación del terreno, sugerían la posibilidad de deslizamiento lento tipo creep.

9.2.3.2 Análisis de los trazados

Como parte del programa de integridad de ductos, se superpone el posicionamiento geográfico del trecho del ducto, generado a través de la verificación realizada en 2003 por PCM (Pipeline Current Mapper), la que se obtuvo en 2012 por PIG inercial (Pipeline Inspection Gauge). La comparación de las dos verificaciones del trazado muestra que hubo un movimiento en el período. Entre esas dos verificaciones, la curvatura del sitio de deformación bajo sospecha aumentó considerablemente, se notó un posible incremento de deformación que abarca en un tramo de 130 m de longitud y 2 m de desvío lateral entre los dos trazados.

El cuerpo técnico verificó la posibilidad de que el desvío fuera aún más grande, visto que el ducto fue construido en 1976. Observando el trazado del ducto, se infirió que el sitio de deformación podría tener un desvío lateral de hasta 6 m si el ducto fue construido con alineamiento rectilíneo en este trecho. La Figura 9.20 ilustra el sector de la deformación identificada y la Figura 9.21, un detalle de la diferencia entre los trazados.

Con estos datos, se decidió realizar estudios paramétricos para evaluación del estado de tensiones en el ducto con base en las curvaturas obtenidas en las verificaciones de trazados ya realizadas. Estos estudios fueron realizados por el equipo técnico del Centro de Investigaciones de Petrobras (CENPES).



Figura 9.20 Trazado del ducto indicando la longitud del alza de deformación

Fuente: TRANSPETRO

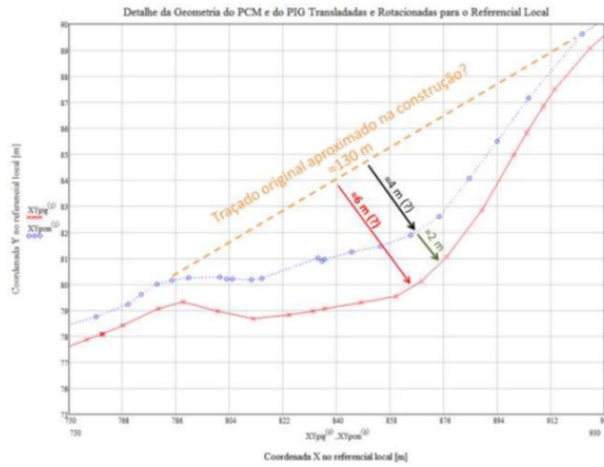


Figura 9.21 Detalhe de la región mostrando la diferencia entre los trazados de 2003 y de 2012⁵

Fuente: TRANSPETRO

9.2.3.3 Estudios parámetros

Se realizaron estudios paramétricos por método de elementos finitos de modo de evaluar la interacción suelo-ducto decurrente de la acción de un movimiento de masa y aplicación de hipótesis simplificadoras.

Las curvaturas de la verificación de 2003 mostraron una condición cercana al límite de las tensiones permitidas por la norma ASME B31.4-2009, pero aún muy inferiores a la verificación más reciente, de 2012, que indicaba una condición más crítica para el ducto.

Aunque se admitiera que el ducto no se haya deformado hasta la verificación de 2003, y por lo tanto el trazado logrado por PCM fuera el mismo desde su instalación, la diferencia de curvaturas entre 2003 y 2012 ya se traduciría en valores superiores al límite permitido por la referida norma. Esa diferencia de curvatura entre los dos trazados, del orden de $0,0025 \text{ m}^{-1}$, ya es superior al límite aceptable.

La Figura 9.22 presenta la relación entre curvatura y deformación longitudinal y compara límites plásticos para esfuerzos combinados de flexión inducida y presión interna de operación en la condición tractiva.

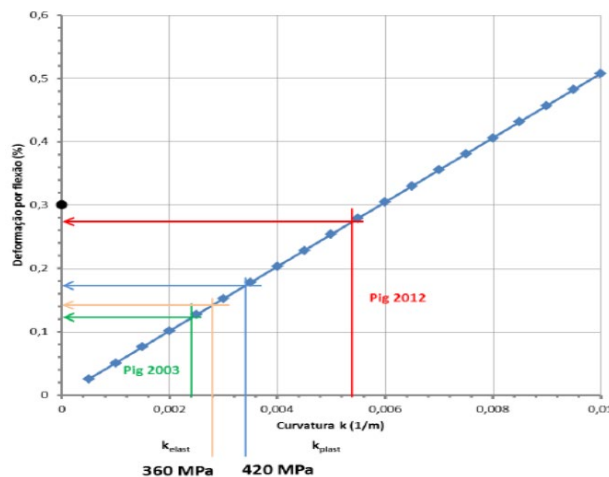


Figura 9.22 Gráfico resultante de los estudios paramétricos

Fuente: TRANSPETRO

⁵También se muestra la hipótesis de que el ducto puede haber sido construido con un trazado más rectilíneo en la región

9.2.3.4 Monitoreo del ducto y de la pendiente

Para el monitoreo del oleoducto se instaló una sección de extensómetros localizada en el punto de flecha máxima del alza de deformación con tres extensómetros de cuerda vibrante para la medición de tensiones y deformaciones generadas por el movimiento de la pendiente.

Se instalaron también seis pares de inclinómetros y piezómetros dispuestos a lo largo de dos secciones transversales a la franja de ductos. Cada sección tiene tres pares de instrumentos, siendo un par de arriba hacia abajo de la franja, uno sobre ella y otro de abajo hacia arriba.

A lo largo de dos años, se realizaron lecturas mensuales de los extensómetros instalados en la pared del oleoducto para el seguimiento del aumento de tensiones, y lecturas de los inclinómetros y piezómetros instalados en la pendiente para evaluación de la evolución del deslizamiento. En la Figura 9.23 se muestra la ubicación de los inclinómetros y piezómetros.



Figura 9.23 Ubicación de la instrumentación instalada

Fuente: TRANSPETRO

La Figura 9.24 muestra los resultados del acompañamiento de la progresión de las tensiones encontradas en la pared del ducto en la sección instrumentada en el punto de flecha máxima, desde la instalación de los extensómetros hasta el momento anterior al procedimiento de alivio de tensiones, incluyendo 2 años de monitoreo.

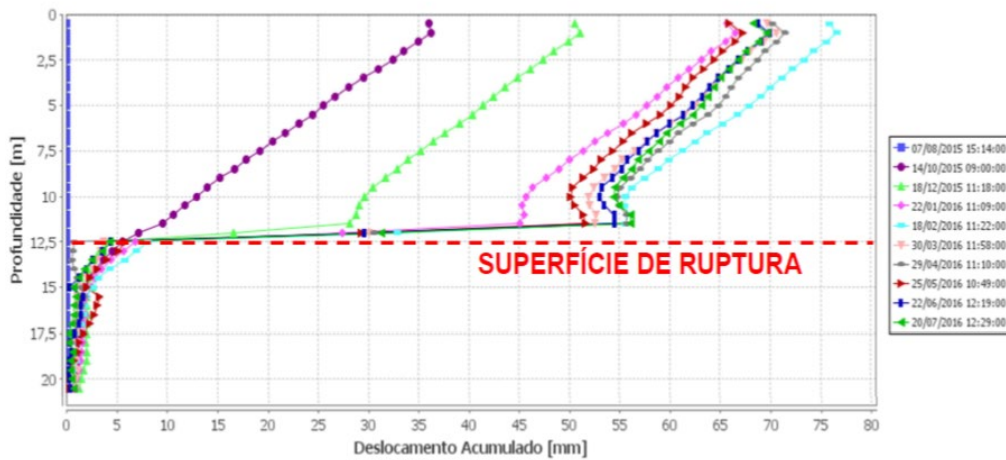


Figura 9.24 Gráfico de la variación de la tensión a lo largo de 2 años

Fuente: TRANSPETRO

La Figura 9.25 muestra un ejemplo de los desplazamientos observados en una sección de inclinómetros desde su instalación hasta el momento de la distensión.

En la Tabla 9.11 se muestra un resumen de la profundidad de la superficie de ruptura y de las velocidades de desplazamiento de la masa de coluviones.



Figuras 9.25 Desplazamientos acumulados de una sección de inclinómetros en un año

Fuente: TRANSPETRO

Instrumento	Profundidade da superficie de ruptura (m)	Deslocamento máximo (mm)	Velocidade mínima na superficie (mm/ano)	Velocidade média na superficie (mm/ano)	Velocidade máxima na superficie (mm/ano)
INC-01	7,0	11,3	6,20	11,91	90,33
INC-02	12,5	77,3	17,35	71,62	355,82
INC-03	12,5	124,6	35,66	75,66	541,35
INC-04	12,0	24,9	26,86	26,36	166,02
INC-05	11,5	54,5	5,21	57,14	288,38
INC-06	7,5	66,2	5,75	36,90	270,58

Tabla 9.10: Profundidad de la superficie de ruptura y velocidad de desplazamiento de la masa coluvional

Fuente: TRANSPETRO

Con los resultados de la instrumentación se concluyó que las velocidades de desplazamiento de la pendiente eran muy elevadas y que este desplazamiento se estaba traduciendo en un aumento de tensiones en la pared del ducto de acuerdo con el seguimiento de la respuesta en los extensómetros. Se observó también que la velocidad de deslizamiento y los aumentos de tensión estaban directamente relacionados con el aumento de la carga piezométrica durante los períodos de lluvia. Asimismo, se realizó una prueba de agujero ciego para la verificación de las tensiones en la pared externa del ducto.

9.2.3 Ejecución de la distensión

El procedimiento definido para la ejecución de la distensión en el trecho del ducto consistió básicamente en la excavación de arriba a abajo del ducto para eliminar la carga lateral ejercida por el suelo. Durante su ejecución se realizó el monitoreo de la baja de las tensiones a través de las secciones de extensómetros de cuerda vibrante que ya estaban instalados en el ducto. Se contó también con un seguimiento topográfico del movimiento del ducto durante la actividad para garantía de precisión y estudio futuro, aunque el movimiento del ducto podía ser fácilmente observado de modo visual.

Antes del inicio de la distensión propiamente dicha fue necesario abrir una trinchera transversal a la franja de ductos para instalar un drenaje subterráneo de auxilio al drenaje de la zanja y deprimir la capa freática, una vez que el terreno esté muy inundado en el sitio.

El procedimiento de distensión siguió las siguientes etapas:

1. Excavación mecánica iniciada en el punto de flecha máxima hasta la generadora superior del ducto y marcación del primer punto de monitoreo topográfico, utilizando para ello un dispositivo de materialización del punto adecuado al servicio, de forma que garantice su integridad durante la realización de los trabajos.
2. Progresión de la excavación para los laterales y marcación de los puntos de monitoreo topográfico adicionales cada 10 m, a medida que el ducto se iba exponiendo en cada etapa de excavación.
3. Ejecución de las verificaciones inmediatamente después de la instalación de cada punto topográfico, y recolección - en cada verificación - de las coordenadas de todos los puntos ya instalados y el posicionamiento del frente de excavación. La información del desplazamiento de cada punto de monitoreo topográfico ya instalado era proporcionada de inmediato, para validar las tomas de decisión.
4. Realización de las lecturas de los extensómetros de cuerda vibrante por lo menos luego de la excavación de cada trecho de 10 m, juntamente con la verificación topográfica de los puntos de monitoreo.
5. Definido el final de los servicios de excavación se ejecutó un nuevo terraplén de la zanja en el sentido inverso al de la

excavación, o sea, desde los extremos del tramo excavado hacia el centro del sitio de deformación. Se utilizó suelo local seleccionado y compactado en capas.

6. Durante el nuevo terraplén de la zanja y al final de este, se realizaron lecturas de los extensómetros de cuerda vibrante. Las lecturas se realizaron como mínimo una vez al día hasta el final del nuevo terraplén.
7. Se están haciendo las lecturas posteriores de los extensómetros de cuerda vibrante de acuerdo con el plan de monitoreo existente.

Durante la distensión se observó que, conforme se iba excavando la zanja, el ducto se desplazaba de arriba hacia abajo. En las siguientes figuras se presentan momentos de los trabajos de liberación realizados.



Figura 9.26 Inicio de la excavación de la zanja. Observar la deformación del ducto y las grietas en el terreno indicando el movimiento del ducto

Fuente: TRANSPETRO



Figura 9.27 Deformación del oleoducto a lo largo de la zanja

Fuente: TRANSPETRO



Figura 9.28 Detalle del ducto despegándose del terreno y abriendo grietas aguas arriba a medida que se iba excavando la zanja

Fuente: TRANSPETRO

9.2.5 Conclusiones

Los ductos enterrados principalmente en regiones serranas están sujetos a padecer las actividades naturales impuestas por el medio.

Los movimientos lentos de masas de suelo del tipo deslizamiento son difíciles de detectar solo a través de inspecciones visuales. Aunque con esas dificultades, las características geomorfológicas del medio dan indicios de que ese tipo de actividad puede estar sucediendo. De esa forma, se instituyeron procedimientos que mapean regiones sujetas a ese tipo de hecho.

Luego del mapeo, las áreas son ordenadas y clasificadas en cuanto al riesgo a partir de la comparación de los trazados del ducto a lo largo del tiempo que certifiquen la existencia de sitios de deformación. Con eso, se investiga cada lugar individualmente a través del monitoreo del suelo y del ducto, para tomar decisiones y realizar intervenciones adecuadas para cada sitio, como la que muestra este trabajo.

Es rol de la operadora y mantenedora de estos ductos cuidar que permanezcan íntegros, asegurando el suministro del país y la preservación del medio ambiente y de la salud de las comunidades en el entorno del DDV. Hay que conocer bien los problemas geotécnicos que pueden afectar a los ductos y causar accidentes, monitorearlos e intervenir siempre que la buena práctica de ingeniería lo considere necesario.

Las obras de intervención directa en los ductos son muy dispendiosas y los riesgos asociados muy altos, por eso es imprescindible que los responsables dispongan de todos los estudios preliminares posibles para que los recursos sean utilizados en los sitios de mayor riesgo en primer lugar.

9.2.6 Autoría

Este material es un recorte de un artículo técnico de un caso de TRANSPETRO y de autoría de Roberta Leite, Erica Varanda, José Pereira Soares, Marcelo Rigo, Laís Tavares, Janaina Avelino y Leandro Goveia, con agradecimientos a los demás participantes de Transpetro/Petrobras.

9.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD CON MURO DE SUELO REFORZADO CON GEOTEXTIL EN UN TALUD DE DDV DE ALTA MONTAÑA. Empresa: OCENSA

9.3.1 Caso de estudio

A finales de julio de 2015 ocurrieron lluvias excepcionales en el sector del piedemonte llanero al oriente colombiano, como resultado de la presencia de una onda tropical proveniente de la región de la Orinoquia. A pesar de que ese año tuvo presencia del fenómeno de El Niño, lo que normalmente indica periodo de sequía en Colombia, fenómenos temporales hicieron que se presentaran lluvias importantes (particularmente el 21 y 24 de junio) y ocasionaran varios deslizamientos que afectaron el DDV de Ocenasa y la infraestructura vial del departamento de Boyacá. Esta situación llevo a que se presentara en el PK 104 un deslizamiento tipo flujo de lodos de carácter retrogresivo que avanza, de magnitud importante (36.000 m³), y traslada gran parte del material ladera abajo dejando el talud desnudo, en el cual aflora roca meteorizada. Los suelos encontrados son arcillas de alta plasticidad formados por descomposición de las rocas lodosas.

El oleoducto Ocenasa y dos tuberías que transportan gas transcurren por un lomo de aproximadamente 30 m de ancho, de los cuales se perdieron 10 m debido al deslizamiento, quedando el oleoducto a 2 metros del borde del movimiento. Ver Figura 9.29.

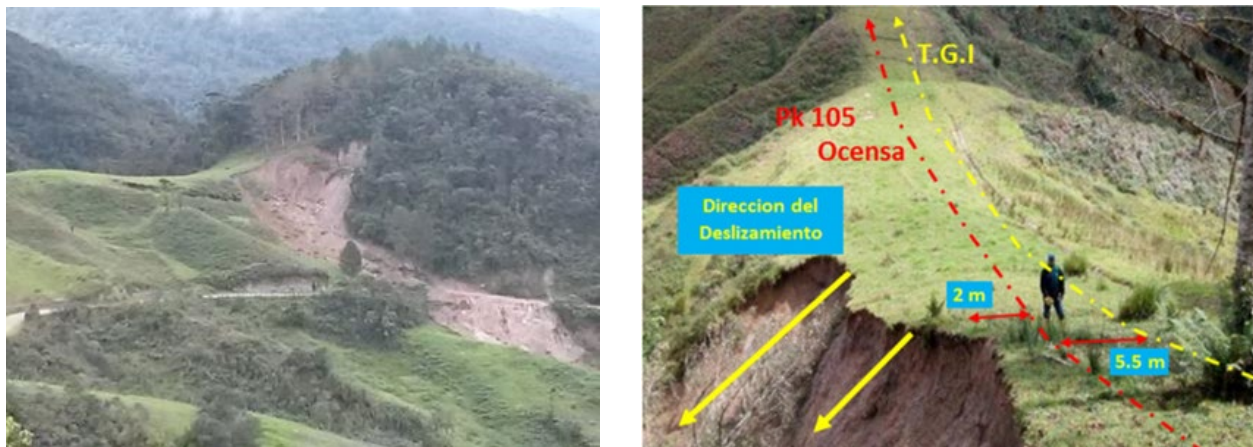


Figura 9.29 Imagen del movimiento de masa y ubicación de las tuberías enterradas

Fuente: OCENSA-

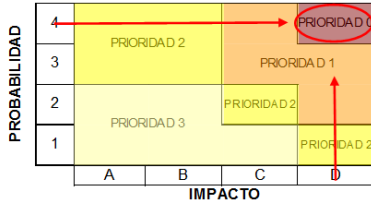
El escarpe del deslizamiento tenía una altura aproximada de 15 m y se tenía una situación de equilibrio precario en la que, de continuar las lluvias, se podría presentar un movimiento retrogresivo que podría afectar el ducto. El análisis cualitativo determinó una condición de riesgo alto, y una prioridad de atención inmediata, por esta razón se declaró emergencia para controlar el movimiento. Ver Figura 9.30.

Sitio: PK 104+900 Ocensa

Tipo de Problema: Deslizamiento en el PK 104+900, Vereda Chuscal, Ramiriquí

Fecha: 01/07/2015

CUADRO DE ASIGNACIÓN DE RIESGO LOCAL



PRIORIDAD	RIESGO	CRITERIO DE ATENCIÓN
0	ALTO	INMEDATO: EMERGENCIA
1	MEDIO	CORTO PLAZO (1 - 3 meses)
2	BAJO	MEDIANO PLAZO (3 - 6 MESES)
3	MÍNIMO	LARGO PLAZO: MONITOREO

MEDIDAS CUALITATIVAS DE LAS PROBABILIDADES

1	Remota probabilidad de afectación de la tubería o del DDV.
2	Afectación a la tubería en el largo plazo o afectación potencial al DDV o vía de acceso crítica en el corto plazo
3	Afectación a la tubería en el corto plazo o afectación al DDV o vía de acceso crítica inminente.
4	Afectación a la tubería inminente.

OBSERVACIONES:

Se debe solicitar declaratoria d Emergencia

MEDIDAS CUALITATIVAS DE LOS IMPACTOS/CONSECUENCIAS

	HALLAZGOS TIPO
A Consecuencias despreciables para los activos de Ocensa	Erosiones incipientes, Deslizamientos alejados del DDV
B Consecuencias menores para los activos de Ocensa	Deslizamiento pequeño, cárcavas o tubificaciones importantes.
C Consecuencias importantes para los activos de Ocensa	Tubería protegida provisionalmente, socavación importante sin destape de tubería, Cárcava de grandes dimensiones, deslizamiento de moderadas dimensiones
D Parada total del sistema o daños muy cuantiosos.	Tubería destapada en corriente importante o en zona de seguridad reservada. Deslizamiento de grandes dimensiones.

Figura 9.30 Análisis de riesgo con matriz de probabilidad x consecuencia

Fuente: OCENSA

9.3.2 Retro-análisis de estabilidad con equilibrio límite

El primer paso para realizar el análisis de estabilidad forense es estimar la geometría inicial y encontrar los parámetros del suelo, teniendo en cuenta que al momento de la falla el factor de seguridad era igual a uno o menor.

Para este análisis se utilizó el programa Slide versión 5.021 (Rocscience Inc., 2003) que realiza análisis de estabilidad por medio de equilibrio límite. En el cálculo se utilizó el método Spencer, que satisface condiciones de equilibrio de fuerzas y de momento. Como resultado del análisis se obtienen un Factor de seguridad (FS) que expresa la relación entre las fuerzas y momentos resistentes con respecto a los actuantes.

De esta manera, se obtuvo que al momento de la falla el FS del talud era de 0,911, lo que muestra la condición de inestabilidad del movimiento detonado por las lluvias. Ver Figura 9.31.

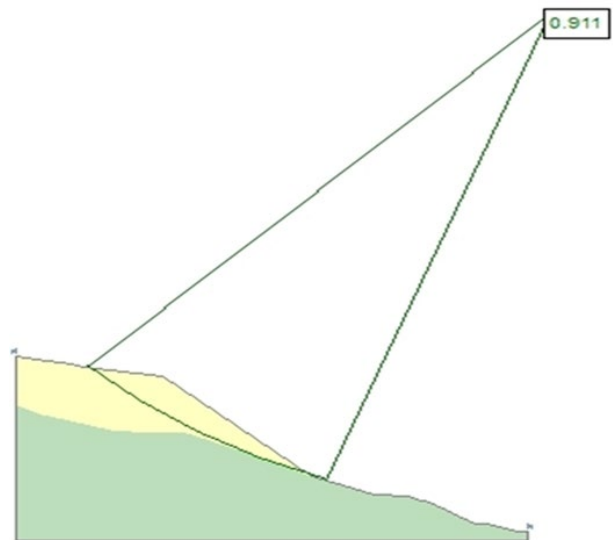


Figura 9.31 Resultado del análisis de estabilidad en la condición inicial. La tubería no está a escala (en color azul).

Fuente: OCENSA

Posteriormente, se realizó el análisis con la condición de julio de 2015, es decir como había quedado el talud después del movimiento inicial. Se encontró que la estabilidad en esa situación aún era precaria y que una nueva lluvia que generase el movimiento retrogresivo podría afectar a la tubería (Figura 9.32); la prioridad inmediata de la intervención quedó probada de esta manera.

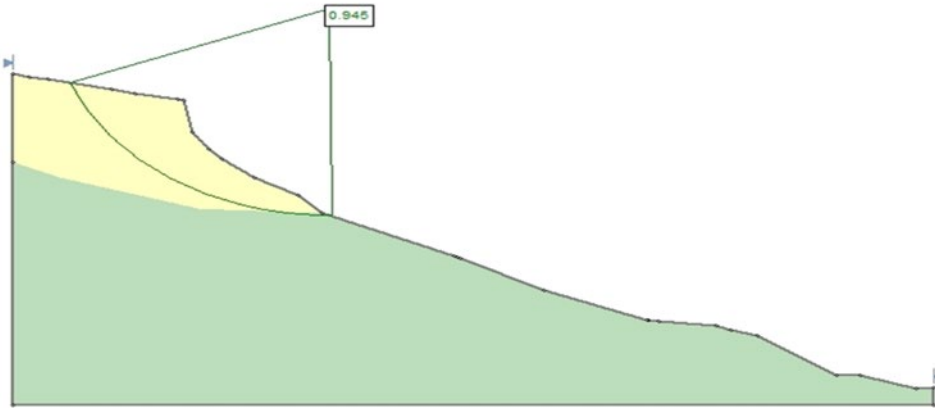


Figura 9.32 Análisis de estabilidad en la situación de julio de 2015. Equilibrio del ducto muy precario.

Fuente: OCENSA

Para realizar la estabilización fue necesario explorar varias alternativas debido a la dificultad de construcción, lo remoto del sitio del evento y la premura de realizar las obras.

9.3.3 Alternativas de control

El grupo civil de mantenimiento de línea de OCENSA exploró varias opciones con diferentes técnicas para la estabilización y control del riesgo, utilizando criterios de economía, viabilidad técnica, tiempo de construcción e impacto social.

1. **Muro de pilotes hincados.** Se planteó hacer una o varias líneas de pilotes hincados con rellenos en su trasdós (a manera de terrazas). La alternativa se descartó por la presencia de roca superficial que no permitía el hincado.
2. **Muro en sacos de suelo cemento y relleno compactado.** Se plantea realizar un gran muro en sacos de suelo cemento (tipo dique) y un relleno en su parte posterior hasta llegar al escarpe. Esta opción se descartó por su alto costo.
3. **Estructura de anclaje tipo soil nailing.** Para estabilizar el talud expuesto se propuso colocar anclajes pasivos sub-horizontales distanciados aproximadamente cada metro. Esta alternativa se descarta por los altos costos y tiempo de construcción. (Figura 9.33).

4. **Construcción de muro de concreto reforzado y relleno compactado.** Esta alternativa se descartó debido a que habría que construir un gran muro de 7 m de altura que sería una estructura muy robusta, adicionalmente el transporte de los agregados implicaría utilización masiva de la vía de acceso lo que ocasionaría un impacto social importante.
5. **Construcción de muro reforzado con geotextil.** Dado que el suelo a utilizar se obtiene de un préstamo cercano, que se tienen los equipos y que es una opción técnicamente viable y rápida de construir, se escoge esta opción.



Figura 9.33 Estructura de anclajes en el suelo tipo soil nailing. Esta alternativa se descartó debido al tiempo y costo de construcción.

Fuente: OCENSA

Se realizó una ponderación de las alternativas analizadas (Tabla 9.11), encontrando que la mejor opción entre las analizadas es el muro reforzado con geotextil.

Alternativas de Estabilización PK 104+900							
Alternativa	Descripción	Valor	Tiempo	Crit.	Crit.	Ponderado	Observación
		COP\$M	(mes)	Técnico	Socia	Criterios	
1	Pilotes preexcavados y lleno	\$ 1.800	5	0,5	1	2,50	Incertidumbre técnica
2	Andajes pretensados	\$ 2.800	6	1	0,8	2,63	Alto tiempo, Alto costo, óptimo técnicamente, baja contratación
3	Lleno suelo reforzado geomalla	\$ 1.500	5	0,8	1	2,80	Medio tiempo, Bajo costo, óptimo técnicamente, baja contratación
4	Muro concreto reforzado total	\$ 2.300	4	0	0,3	1,55	Inviabile técnico capacidad portante, impacto vial

Tabla 9.11 Valores ponderados para selección de la mejor alternativa

Fuente: OCENSA

9.3.4 Diseño de muro de suelo reforzado con geotextil

Debido a la altura de la estructura de contención reforzada y teniendo en cuenta la durabilidad requerida de la estructura, se decide utilizar la geomalla biaxial como refuerzo a tensión del suelo. Este elemento es un geosintético formado por una red regular de elementos íntegramente conectados con apertura superior a 1/4 de pulgada para permitir el trabamiento con el suelo envolvente. El polímero utilizado es el polietileno de alta densidad.

Las referencias 2 y 3 explican el método de cálculo de los muros reforzados con geomalla. Básicamente se deben definir el espesor de las capas (Sv) y la longitud necesaria de geomalla (Longitud geométrica, Lg + Longitud de empotramiento, Le). Los cálculos se hacen teniendo en cuenta la resistencia a la tensión del geosintético (con los respectivos factores de reducción), los parámetros de resistencia al corte del suelo y los empujes actuantes, que en este caso son el empuje del suelo y cargas temporales como la del sismo.

$$Sv = Tadm / (sh * FS);$$

Donde, el espesor de las capas es función de Tadm, Resistencia del geosintético, y sh es el esfuerzo ejercido por el suelo.

$$Lg = (H-Z) * \tan(45-f/2),$$

Donde, la longitud geométrica es la distancia de la cara del muro a la cuña activa.

$$Le = sh * Sv * FS / 2(c + \sigma_{anf})$$

Donde la longitud de empotramiento es función de la resistencia al corte de la interfase con el suelo

Adicional al dimensionamiento de la cantidad de geomalla, se realizaron chequeos al deslizamiento, volcamiento, y estabilidad global. Se decidió colocar un muro de concreto reforzado de 3 m de altura en la base del muro de geotextil para garantizar su estabilidad al deslizamiento (Figura 9.34).

El espesor de las capas fue variable con la altura por temas de economía de materiales durante la construcción.

Para poder realizar el doblez en la cara exterior se previó colocar sacos de fique rellenos con suelo, que además de evitar el desmoronamiento del suelo de relleno, permitieron la germinación de vegetación en la superficie incluyendo suelo orgánico en algunos sacos (Figura 9.36).

Se evaluaron fuentes de préstamos de suelo para el relleno cercanas, se escogió una cerca de 100 m de distancia. Al suelo se les realizaron ensayos de caracterización, resistencia y compactación para encontrar su resistencia máxima y la humedad óptima.

Se diseñó un filtro chimenea en la parte interior del muro para garantizar que no se generen empujes hidrostáticos durante su vida útil (Figura 9.35).

9.3.5 Construcción del muro

La construcción total del muro se realizó durante 5 meses (Figura 9.37), El dimensionamiento y las cantidades consumidas fueron las siguientes:

- Estructura de 15 m de altura
- 28 niveles de 0,25 m
- 12 niveles de 0,5 m
- 2 niveles de 1,0 m
- 3314 m³ de relleno compactado; 153 m³ de material para filtro.

Durante los siguientes años a la construcción se ha verificado el correcto funcionamiento y estabilidad de la estructura construida, mostrando ser una solución efectiva y económica con respecto a otras alternativas.



Figura 9.34 Muro de concreto reforzado construido en la base del muro de geosintético.

Fuente: OCENSA



Figura 9.35 Filtro chimenea con geotextil y material pétreo en la cara interior del muro

Fuente: OCENSA



Figura 9.36 Detalle de la compactación en la construcción del muro y cara exterior con sacos de fique rellenos de suelo.

Fuente: OCENSA



Figura 9.37. Estructura de contención tipo muro reforzado con geomalla terminado

Fuente: OCENSA

9.3.6 Conclusiones

A finales de 2015 se presentaron lluvias excepcionales en la zona del piedemonte llanero colombiano que detonaron un movimiento de más flujo de lodos que puso en riesgo la estabilidad del oleoducto de Ocenasa.

Se analizó la estabilidad del talud con metodologías de equilibrio límite y se estimó la condición de riesgo que fue considerado Alto.

El grupo civil de mantenimiento de línea exploró varias opciones con diferentes técnicas para la estabilización y control del riesgo, utilizando criterios de economía, viabilidad técnica, tiempo de construcción e impacto social. La alternativa considerada como óptima fue un muro de suelo reforzado con geo-malla para salvar el escarpe de 15 m de altura. En el artículo se muestran los principios y ecuaciones que se utilizaron para el diseño de este tipo de estructuras. Cinco meses después de ocurrido el evento se terminó de construir la estructura con resultados satisfactorios desde el punto de vista de estabilidad y criterio económico.

9.3.7 Bibliografía

- [1] ROCSCIENCE Inc. Slide, 2D equilibrium slope stability for soils and rock slopes, User's guide, 1989 – 2003.
- [2] Das B. Principio de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta edición. México: International Thomson Editores; 2001. 862 p.
- [3] GEOSOFT PAVCO. Manual de diseño con geosintéticos. Novena Edición. Bogotá, Geosistemas PAVCO; 2012. 460 p

9.4 PROTECCIONES GEOTÉCNICAS EN CRUCE DE RIO-PK 20.500 OLEODUCTO PUESTO HERNANDEZ –LUJAN DE CUYO, 16”, MENDOZA, ARGENTINA.

9.4.1 Resumen

Debido a la caída de lluvias extraordinarias caídas en el sur de la Provincia de Mendoza a fines de febrero de 2021, se produce el descubrimiento de aproximadamente 10 m del oleoducto en un cauce semipermanente a la altura de la progresiva kilométrica 20.500.

La línea allí se encuentra a unos 2600 m del Río Colorado (el cual finaliza en el Dique Casa de Piedra), por lo que un colapso de ésta por impacto hubiese acarreado un fuerte daño ecológico, de imagen y del negocio.

Se evaluaron varias alternativas, siendo la solución adoptada diseñar una serie de escolleras encauzadoras del río, de manera que las aguas se recostasen sobre la margen opuesta al ducto descubierto donde la tapada es adecuada, y se generara el depósito de suelos en la margen a proteger.

Para la materialización de las escolleras se utilizaron sleepers de hormigón armado debido a la imposibilidad de utilizar materiales naturales del lugar, lo que conllevó una logística compleja que el sector mantenimiento supo llevar adelante con total éxito.



Figura 9.38: Vista aérea de la región

Fuente: Google Earth.

9.4.2 Características generales

Con más de 30 años de construcción, el ducto presentado se ubica en las cercanías del paraje Pata Mora, departamento de Malargüe, al sur de la provincia de Mendoza, Argentina. En esta zona prevalecen los cauces semipermanentes, abastecidos casi únicamente por las lluvias que predominan en la región entre los meses de noviembre y febrero, pero que presentan un alto caudal y elevada energía. El terreno presenta un suelo de características arenosas de baja cohesión, en conjunción con rocas de diversos diámetros que forman parte del entorno.



Figura 9.39: Muestras de tipo de suelos predominantes en el cauce

Fuente: YPF



Figura 9.40: Muestras de tipo de suelos predominantes en el cauce.

Fuente: YPF SA



Figura 9.41: Muestras de tipo de suelos predominantes en el cauce.

Fuente: YPF SA

9.4.3 Estado de situación inicial

Siendo el mes de febrero de 2021, y luego de una importante precipitación por fuera de la media, personal abocado al patrullaje terrestre del oleoducto detecta que el mismo en su progresiva kilométrica 20+500 m se encontraba totalmente descubierto y con signos de evidentes golpes ocasionados por rocas que habían impactado en él.

La zona contaba con una protección mecánica antigua la cual fue completamente destruida y arrastrada por la corriente:



Figura 9.42: Posición aproximada de la protección antigua

Fuente: YPF SA



Figura 9.43: Resto de la protección antigua.

Fuente: YPF SA

Luego del evento hídrico la protección colapso dejando aproximadamente 9 m de ducto descubiertos en la margen sur:



Figura 9.42: Posición aproximada de la protección antigua

Fuente: YPF SA

La violencia de la escorrentía dejó como saldo la destrucción de la protección antigua y generó severos daños en el revestimiento y la integridad del ducto, como se puede apreciar en las siguientes imágenes.

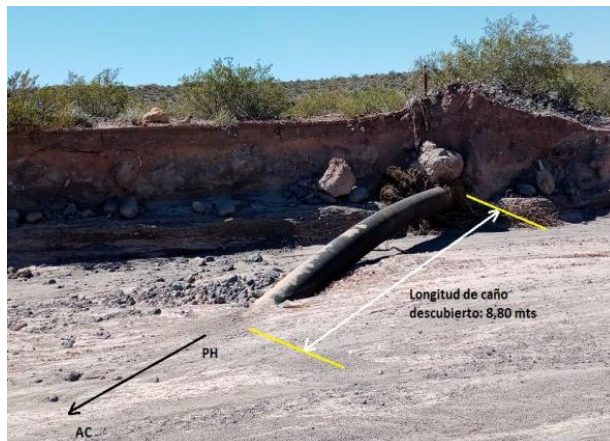


Figura 9.45: Ducto expuesto

Fuente: YPF SA



Figura 9.46: Daños en ducto expuesto

Fuente: YPF SA



Figura 9.47: Daños en ducto expuesto

Fuente: YPF SA

9.4.4 Características de la zona

El ducto se encuentra a aproximadamente 2600 metros por cauce hasta el río Colorado. Una falla del oleoducto en la pk en estudio provocaría un derrame sobre este importante río que divide las provincias de Mendoza y Neuquén con el consecuente impacto ambiental, económico y daño de imagen de la empresa, sobre todo considerando que éste finaliza en el Dique Casa de Piedra, fuente de agua para gran parte del oeste de la provincia de Neuquén, al norte de Río Negro y oeste de La Pampa.



Figura 9.48: Ubicación relativa del ducto respecto al río Colorado

Fuente: YPF SA

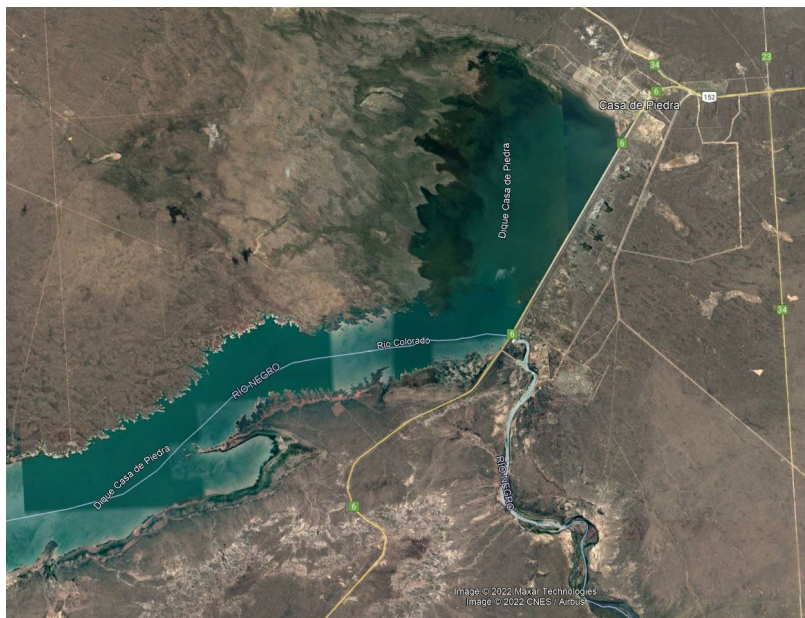


Figura 9.49: Dique Casa de Piedra abastecido por el río Colorado

Fuente: Google Earth

Las válvulas de bloqueo más cercanas son la VB 2 pk 12 (a 9,1 km) y la VB 3 pk 88 (a 67 km aprox.)

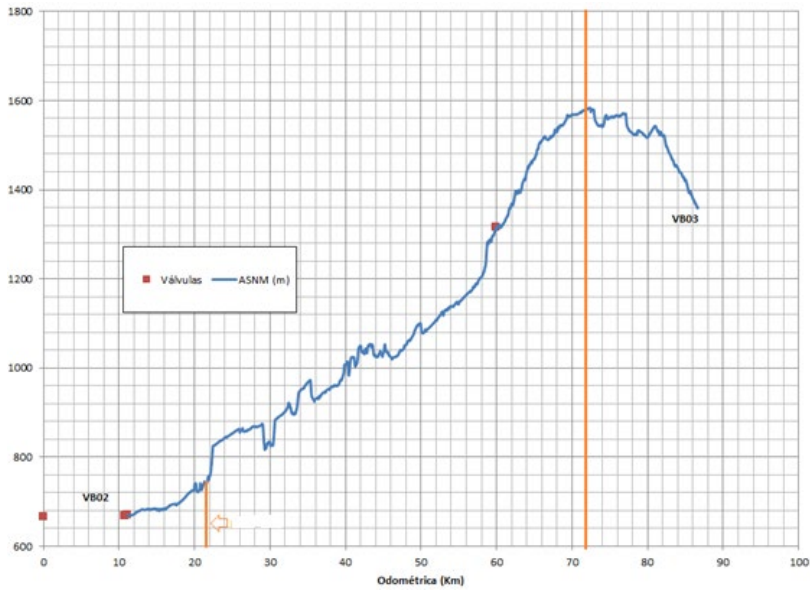


Figura 9.50: Altimetría del oleoducto PH-LC entre válvulas de bloqueo VB2 y VB3

Fuente: YPF SA

De esos tramos, el más crítico es entre la pk 20.510 hacia la válvula de bloque VB3 a la altura de la pk 71, con un volumen de producto contenido aproximado de 7000 m³.

9.4.5 Evaluación de Integridad

La evaluación del personal de integridad consistió en la evaluación mecánica del ducto y geotécnica de la zona, evidenciada en las siguientes imágenes:

9.4.5.1 Evaluación mecánica



Figura 9.51: Grilla de evaluación de fallas y medición de espesores

Fuente: YPF SA

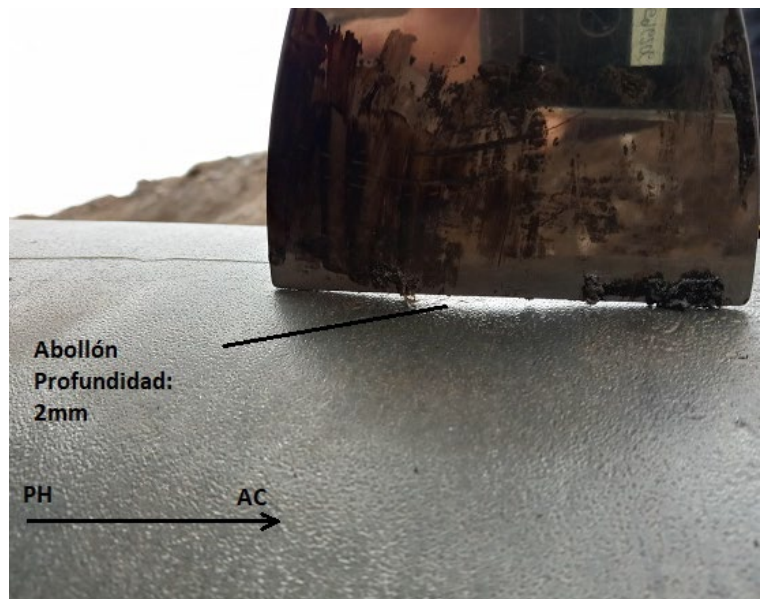


Figura 9.52: Abollón encontrado

Fuente: YPF SA

9.4.5.2 Evaluación geotécnica



Figura 9.53: Tamaño de roca que traslado la corriente y deposito sobre el ducto

Fuente: YPF SA

Se llegó a la conclusión de que el ducto no recibió ningún daño significativo debido al buen estado mecánico de la instalación y a que la obra geotécnica previa sirvió como fusible, y fue la que actuó en defensa del ducto. La nueva situación respecto a la morfología del cauce pone en riesgo la integridad del ducto por el posible impacto directo de rocas de gran tamaño, con el potencial riesgo de rotura y derrame hacia el Río Colorado.

Ante esta situación, se procedió a realizar las reparaciones mecánicas y geotécnicas de rigor (esta última provisoria), de manera de proteger al ducto de otro evento. No obstante, fue imperioso realizar la obra de adecuación permanente necesaria para proteger a la instalación de futuros eventos naturales o geoamenazas, además de dar cumplimiento a la normativa vigente impuesta y regulada por la RES 120/17 de la SEN.

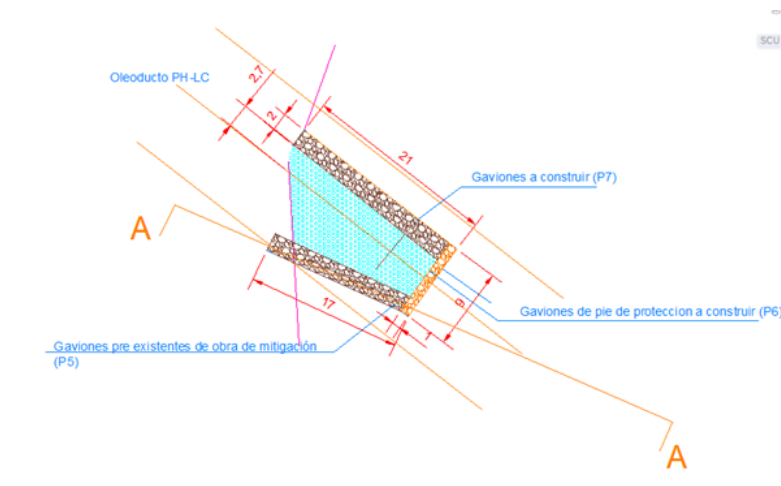


Figura 9.54: Planta de obra de mitigación

Fuente: YPF SA



Figura 9.55: Vista aérea de la obra de mitigación

Fuente: YPF SA

9.4.5 Obra a realizar

Luego de estudiar la situación actual y de evaluar el mecanismo de falla de la protección anterior existente, se llegó a la conclusión de que la obra de protección del oleoducto debía contemplar la adecuación del cauce actual de manera que, el escurrimiento de las aguas y un potencial impacto de rocas, no lo afecten.

Ante esto, se determinó realizar una serie de escollerados materializados con bloques de hormigón (sleepers) dispuestos en hilera doble y ubicados en el lecho del cauce, de manera de redireccionar la escorrentía hacia una zona segura para el ducto, siempre dentro de los límites del cauce natural:

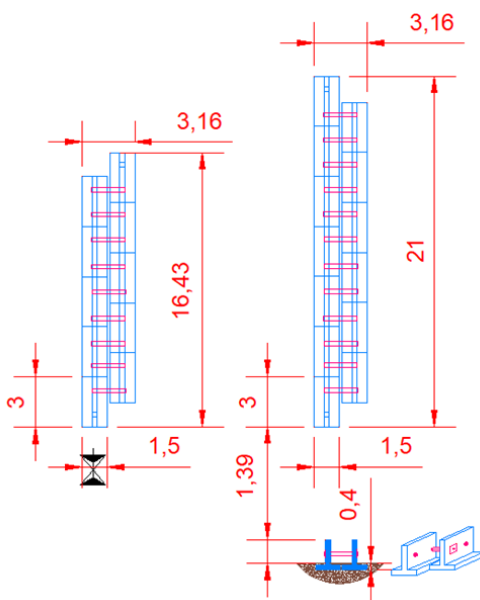


Figura 9.51: Grilla de evaluación de fallas y medición de espesores

Fuente: YPF SA

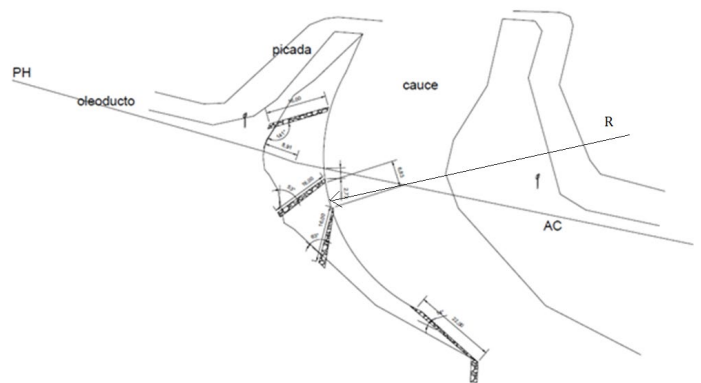


Figura 9.51: Grilla de evaluación de fallas y medición de espesores

Fuente: YPF SA

La ubicación de cada escollera y el ángulo respecto a las márgenes, entre otras variables de diseño, fueron estudiadas y calculadas en base a la versión actualizada del capítulo 14 del Manual de Ingeniería de Ríos de los ingenieros José Antonio Maza Álvarez y Manuel García Flores de la UNAM.



Figura 9.58: Colocación de protecciones de hormigón (Sleepers)

Fuente: YPF SA

9.4.7 Conclusiones

El oleoducto Puesto Hernández – Lujan de Cuyo, se desarrolla a lo largo de sus 530 km íntegramente a los pies de la precordillera de los Andes, lo que lo hace propenso a padecer eventos naturales debido a deslizamientos de masa de suelo, o bien originados por cauces permanente o semipermanentes.

El continuo patrullaje aéreo y terrestre del mismo ayudó a detectar en forma temprana lo acontecido y a actuar de manera casi instantánea acudiendo al lugar a evaluar los daños y mitigar el riesgo.

La obra conllevó un enorme esfuerzo logístico debido a lo remoto de la locación, debiéndose construir desde cero todos los materiales utilizados, e incluso debiendo modificar la pendiente de un cerro para poder acceder con los equipos hasta allí.



Figura 9.59: Acondicionamiento de pendiente de cerro

Fuente: YPF SA

Se evaluaron distintas alternativas, entre ellas un cruce dirigido, pero la premura del caso llevó a la conclusión que realizar esta obra civil más económica y expeditiva para proteger al ducto de posibles geoamenazas.



Figura 9.60: Toma aérea de la obra en construcción

Fuente: YF SA

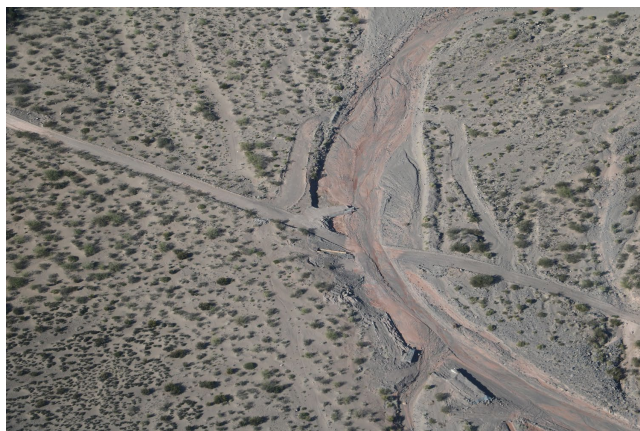


Figura 9.61: Toma aérea de la obra finalizada

Fuente: YPF SA

9.4.8 Autoría

Este material pertenece a un caso estudiado y diseñado por el Sector de Integridad, y ejecutado por el Sector Mantenimiento, ambos pertenecientes a la Dirección de Logística de YPF SA.



ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE
PETRÓLEO, GAS Y ENERGÍA RENOVABLE
DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE