

# MÉTODOS DE PROTECCIÓN Y SOPORTE DE EXCAVACIONES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO.

Julián Bernardo Cárdenas Rueda<sup>1</sup>  
Especialización en Vías Terrestres  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Bucaramanga, Colombia

## Resumen

En el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se generan grandes cortes en los taludes y excavaciones subterráneas de gran magnitud, siendo necesaria la implementación de toda una serie de sistemas de protección y soporte, con el fin de estabilizar y/o proteger el terreno intervenido. En el presente artículo se registran los principales métodos de protección y soporte utilizados en la construcción de las obras principales del proyecto, tales como, la estructura del vertedero con el canal de descarga terminado en esquí, la central subterránea de generación y la estructura de la presa con cara de concreto, además de las obras adicionales como las vías sustitutivas y túneles viales.

**Palabras claves:** Excavación, métodos, contención, estabilización, especificaciones.

---

<sup>1</sup> Julián Bernardo Cárdenas Rueda, Ingeniero Civil, Email: juliancar25@gmail.com.

## Abstract

In developing the hydroelectric project Sogamoso large cuts are generated in the slopes and underground excavations of great magnitude, the implementation of a range of support and protection systems to be necessary in order to stabilize and / or protect the land involved. In this article the main methods of protection and support used in the construction of the main works of the project, such as the structure of the landfill with the discharge channel terminated skiing, underground power generation and structure of the recorded dam with concrete face, plus additional works such as alternative routes and road tunnels.

**Keywords:** Mobility transportation problems.

## 1. Introducción

La creciente demanda de energía eléctrica en el país y el potencial hidrográfico del mismo, ha impulsado en los últimos años la construcción de centrales hidroeléctricas de gran magnitud, aumentando de manera importante la capacidad energética instalada del país.

Las características especiales del proyecto tales como su gran dimensión y la topografía de la zona, generan en sus diferentes frentes de obra grandes cortes y excavaciones de gran magnitud; para atender las sobrecargas generadas al terreno a partir de las obras, es necesaria la implementación de sistemas de soporte y/o protección, los cuales garantizan la estabilidad de los taludes y excavaciones subterráneas. Estos sistemas se adoptan de acuerdo a las características geotécnicas de la roca, la magnitud de la excavación y a la demanda de carga a la que vaya estar solicitado el terreno.

El Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se ubica en el departamento de Santander al nororiente de Colombia; para el aprovechamiento del cauce del río Sogamoso, se proyectó la construcción de una presa de gravas con cara de concreto (CFRD), de 190 m de altura, ubicado en su extremo izquierdo la estructura del vertedero, el cual será controlado por cuatro compuertas y el canal de descarga terminado en salto de esquí para la disipación de energía y la instalación de tres unidades de generación, las cuales se ubican en una central subterránea.

## 2. Excavaciones A Cielo Abierto

Estos tipos de excavaciones consisten en el desmonte de un volumen importante de tierra o materiales, en sitios previamente definidos, utilizando métodos y recursos concretos, para obtener los espacios necesarios que permitan la construcción de la estructura y sus elementos complementarios; se ejecutan en condiciones naturales de ventilación y drenaje. [1].

## 3. Excavaciones Subterráneas

Una excavación subterránea consiste en la intervención de un macizo rocoso y la evacuación del material producto de esta intervención por métodos manuales, voladuras o la utilización de maquinarias, para el establecimiento de una determinada estructura; se ejecutan usualmente en condiciones artificiales de iluminación y ventilación; el drenaje normalmente se hace por gravedad

o bombeo. [1]

#### 4. Tipos De Terreno

La selección del tipo de soporte depende directamente de las características del terreno a contener; para esto es necesario tener una clasificación definida del tipo de terreno; en el proyecto se tienen las siguientes clasificaciones [2] - [3].:

- Terreno tipo I: La clasificación tipo I corresponde a una roca dura, poco fracturada y estable, caracterizada por bancos gruesos de arenisca, donde se puede avanzar sin necesidad de colocar soporte en el frente de la excavación.
- Terreno tipo II: La clasificación tipo II corresponde a rocas de dureza media, moderadamente fracturada, caracterizada por bancos de arenisca y/o limolita de estratificación media. Pueden existir trazos de meteorización en algunos planos de discontinuidades.
- Terreno tipo IIIA: La clasificación de terreno tipo III A corresponde a rocas de dureza media a baja, fracturada, caracterizada por bancos delgados de arenisca, limolita y/o de arcillolita, donde los planos de discontinuidad se pueden presentar alterados o meteorizados.
- Terreno tipo IIIB: La clasificación de terreno tipo IIIB corresponde a materiales de roca muy alterada, friables o deleznable, a zonas de falla o esfuerzo con material muy fracturado, o en aquellos lugares donde se encuentren bolsas de arena.
- Terreno tipo IV: La clasificación tipo IV corresponde a una roca bastante meteorizada, alterada, blanda, de bancos de arcillolita delgada intercalados con arenisca, que por su baja resistencia pueden producir desprendimientos en el frente o empujes del terreno.

#### 5. Sistemas De Contención

Los diferentes métodos de protección y soporte, se implementan con la finalidad de compensar los esfuerzos adicionales generados en el terreno producto de los cortes en talud y excavaciones subterráneas.

##### 5.1 Concreto lanzado

El Concreto lanzado se define, como una mezcla de cemento portland, agregados grueso y fino, aditivos acelerantes y agua, el cual es conducido neumáticamente por medio de una máquina impulsora, a través de una manguera a altas velocidades sobre una superficie a proteger [4].

El concreto lanzado es reforzado con fibras de acero o malla electro-soldada; lo anterior está determinado por el tipo de excavación y el proceso constructivo que se adopte; los dos refuerzos cumplen funciones similares en su funcionamiento; en ocasiones se prefiere el refuerzo con fibra de acero debido a la necesidad de una pronta aplicación, y que esta sea de un solo lanzado; si la disponibilidad de tiempo lo permite y las condiciones del sitio son las adecuadas se podría reforzar con malla electro- soldada [5 - 6].

Método seco: Se conoce como método seco, cuando a la mezcla de cemento, agregados y aditivos, después de haber sido impulsada neumáticamente, se le añade el agua en la boquilla ubicada al final de la manguera, utilizada para lanzar el concreto; el acelerante de fraguado se adiciona y se integra a la mezcla en la boquilla ubicada al final de la manguera. Este concreto se aplica sobre malla electro-soldada como refuerzo; adicionalmente se le instalan lagrimales para

el drenaje de aguas subterráneas y de infiltración [7].

Método húmedo: Se conoce como método húmedo, cuando a la mezcla de cemento, agregados y aditivos, se le añade el agua antes de entrar por la manguera, siendo impulsada cuando todos sus componentes ya están mezclados por completo; el acelerante de fraguado se adiciona y se integra a la mezcla en la boquilla ubicada al final de la manguera. La mezcla es preparada en una planta dosificadora con anterioridad a la conducción y aplicación mediante la máquina impulsora. A este concreto se le puede adicionar refuerzo con fibras de acero discontinuas, distribuidas aleatoriamente con una concentración uniforme en toda la mezcla; adicionalmente se le instalan lagrimales para el drenaje de aguas subterráneas y de infiltración [8].

Los avances tecnológicos tanto en los materiales como en los equipos utilizados en el proceso de aplicación del concreto lanzado hacen a ambos métodos casi intercambiables.

En la mayoría de las aplicaciones, el método preferido está determinado por factores como: La economía, disponibilidad de material y equipo, acceso a la obra, así como por la experiencia y preferencia del contratista o por la exigencia del contratante [9].



Figura 1. Perfilación del corte de talud y colocación de acero de refuerzo con malla electrosoldada.

Hoy en día, los niveles de rebote y polvo, así como la resistencia y durabilidad, pueden ser similares, independientemente de qué método se utilice. La aplicación de concreto lanzado ofrece algunas ventajas como:

- Se genera una compactación al mismo tiempo del lanzado, debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla a diferencia del concreto convencional, que se coloca y luego se compacta en una segunda operación (vibrado).
- Se evita la colocación de cimbras.
- Presenta baja permeabilidad.
- Muestra alta resistencia.
- Se observa adhesividad adecuada con la superficie de la roca o talud.
- Características favorables de durabilidad.
- Disminución de las grietas por temperatura en el proceso de fraguado.
- Puede dársele cualquier acabado y coloración.
- Permite el diseño de formas libres.
- Su técnica de aplicación permite el acceso a sitios difíciles.
- Las técnicas de aplicación son ideales para estructuras de pared delgada, presentando aún buenas características de resistencia.



Figura 2. Aplicación de concreto lanzado neumáticamente mediante maquina impulsora.

El concreto lanzado se utilizó en el proyecto, en las excavaciones subterráneas como soporte en la realización del avance de la excavación, evitando desprendimientos de roca; en excavaciones a cielo abierto se utilizó de un modo similar, con diferencias en la perfilación de la excavación.

Las actividades de lanzado de concreto se llevan a cabo cuando el corte en el talud y la longitud del mismo son moderados; lo anterior con el fin de minimizar los riesgos de desestabilización.

En el proceso de perfilado del talud o en el avance de excavación subterránea, es común la contaminación de la superficie excavada con material particulado, mezclas de combustibles, lubricantes y algunos químicos que pueden afectar la adherencia y vida útil del concreto, por lo cual se requiere una estricta limpieza con chorros de aire y agua a presión.

Durante el lanzado de concreto se realizan controles de espesores mediante clavijas de acero, perforaciones de control, verificación de la calidad de los materiales, toma de muestras mediante paneles cúbicos para posteriores pruebas de resistencia a las 8 horas, 72 horas y 28 días, verificación de contenido óptimo de fibras de acero; cuando el concreto es colocado por medio del método húmedo con fibras de acero se realizan pruebas de tenacidad.

## 5.2 Tendones de anclaje

Un tendón de anclaje se compone de cables y accesorios que tienen como finalidad contener un talud, el cual esté solicitado a grandes empujes; básicamente consiste en un conjunto de cables de acero de alta resistencia embebidos en su extremo interior en lechada, a los cuales se le aplica una fuerza de tracción con un gato hidráulico, con el objetivo de producir una deformación al sistema de cables; un anclaje ubicado en la parte exterior se acciona al soltar el gato hidráulico evitando el deslizamiento de los cables por medio de cuñas metálicas, teniendo como resultado una fuerza de tensión activa en cada extremo del tendón [10].

**Zona de bulbo:** La zona de bulbo es la longitud del tendón ubicada en la parte interior de la perforación, la cual es inyectada con lechada en una primera etapa, con el fin de constituir una zona en la cual se transfiera la carga aplicada en los torones, hacia las paredes de la perforación generando una zona de anclaje. La longitud de anclaje depende de las características de la roca y de los posibles tipos de fallas a las que pueda estar expuesto el talud a proteger; esta longitud garantiza una adherencia y una fricción entre la estructura del tendón y las paredes de la perforación suficiente para soportar las cargas de tensión aplicadas a los torones; generalmente esta longitud puede variar entre 8 y 12 metros [11].

**Zona libre:** Esta zona se conforma después de la zona de bulbo hasta la cabeza de tensionamiento, ubicada en la parte exterior de la perforación; en esta franja no se presentan fuerzas de anclaje, debido a que se inyecta con lechada en una etapa posterior a la inyección del

bulbo y al tensionamiento de los torones. Las inyecciones con lechada en esta zona son de especial cuidado y control, debido a que se podrían generar falsos valores de anclaje con posterior falla del sistema generando la relajación de los torones [11].

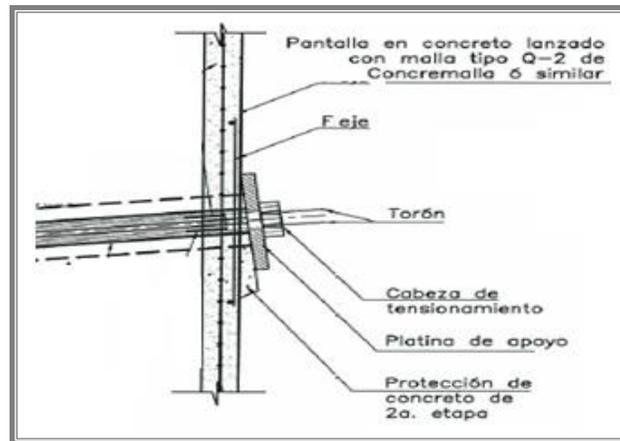


Figura 3. Detalle típico del cabezal de un tendón de anclaje.

Un tendón está conformado principalmente por torones, platinas de apoyo, cuñas, arandelas, tuercas, accesorios para inyección, dispositivos para tensionamiento y fijación.

El torón se encarga de almacenar la fuerza introducida normalmente mediante un gato hidráulico y aplicarla a la estructura de anclaje en la zona de bulbo; para introducir la fuerza deseada en un torón, éste se deforma longitudinalmente mediante un gato hidráulico y se mantiene dicha deformación, accionando el anclaje cuando se retira el gato hidráulico [12].

Las platinas de apoyo son básicamente placas metálicas cuadradas de un área determinada, que cumplen la función de transmitir y distribuir uniformemente la fuerza de pretensado concentrada en el extremo del tendón al mortero de protección, sin causar esfuerzos excesivos en cualquier parte de las mismas y son perforadas adecuadamente, trabajadas a máquina y ajustadas a los accesorios de inyección y ventilación en la forma que se requiera [13].

Las cabezas de tensionamiento son placas circulares de espesor considerable, las cuales poseen perforaciones simétricas para permitir el paso de los torones y las mangueras de inyección; las cuñas metálicas son tapones metálicos huecos que se le introducen a cada torón junto a la platina de apoyo y cumplen la función de impedir el deslizamiento de los torones en la cabeza de tensionamiento al momento de soltar el gato hidráulico. Los orificios para cada torón tienen forma cónica con el fin de que en cada orificio se ubique y encaje una cuña metálica [13].

Los diferentes aditivos agregados a la lechada de inyección aportan a la mezcla propiedades de bajo contenido de agua, buena fluidez, baja tendencia del agua a subir a la superficie de la lechada fresca y baja expansión. En su composición química no se encuentran cloruros, sulfitos, nitratos o cualquier reactivo que tenga efecto nocivo en el cemento o en alguno de los materiales que componen el tendón. En ocasiones resulta adecuado reemplazar la inyección con lechada o mortero para la fijación del anclaje por resinas sintéticas.



Figura 4. Perfilación del talud y perforación de barrenos.

La instalación de tendones, se realiza en forma paralela con la excavación, evitando grandes taludes que se podrían desestabilizar y además generando rendimientos en la ejecución de las obras de instalación; estas excavaciones se hacen para cada línea de anclajes y se ejecutan paralelamente a las actividades de líneas más avanzadas en el proceso constructivo; es así, como en un solo corte de talud se ejecutan paralelamente trabajos de excavación, perfilado, perforación, limpieza, instalación del anclaje, inyecciones y tensionamientos [14].

Los trabajos de perforación se pueden realizar utilizando equipos de rotación o percusión; el uso de estos sistemas inducen a las paredes de la perforación a pequeños derrumbes y a la ampliación de diaclasas presentes en la roca, en estos casos es necesaria la implementación de sistemas *OD* u *ODEX*, para evitar el derrumbamiento o estabilizar las paredes, cementándolas y reperforando posteriormente.

Las perforaciones para los tendones de anclaje son estancos, con el objeto de evitar pérdidas de lechada y asegurar un anclaje y una protección contra la corrosión adecuados, por lo cual una vez realizada la perforación se verifica su estanqueidad.

Para la ejecución del ensayo de estanqueidad se utiliza un obturador, el cual cumple la función de presurizar la longitud obturada; se inyecta agua hasta alcanzar una presión igual a  $3,5 \times 10^{-2}$  MPa, equivalentes a  $0,35 \text{ Kg/cm}^2$ ; Una vez alcanzada la presión deseada, se mide y registra la lectura inicial en él cuenta litros; durante los siguientes 10 minutos se registran las pérdidas adicionales de agua minuto a minuto.



Figura 5. Ensayo de estanqueidad y limpieza de la perforación.

Para la validación de la estanqueidad de la perforación se debe obtener un consumo máximo de agua de  $5,0 \text{ cm}^3$  por centímetro de diámetro, por metro de perforación y por minuto. En las perforaciones donde el consumo de agua supera el admisible, se procede a su inyección y se reperfora 24 horas después.

En el segundo ensayo se esperan valores menores a los registrados en el primero, no obstante

se puede obtener una pérdida de agua mayor a la admisible; en este caso y después de un estricto análisis de la roca en donde se realizó la perforación se puede continuar con la instalación del tendón.

Durante la instalación de tendones de anclaje en el desarrollo de las obras principales de la hidroeléctrica, se observaron continuamente pérdidas mayores a las admisibles, debido a la alta presencia de sistemas de diaclasas presentes en la roca característica en la zona de las obras; adicionalmente las pruebas de carga efectuadas a los tendones de prueba y a los tendones instalados anteriormente arrojaron resultados satisfactorios en su comportamiento de estado activo.

Durante la ejecución de los trabajos de excavación y verificación de la estanqueidad de la perforación, resulta normal la contaminación del orificio con barro, material particulado abrasivo y sustancias químicas, siendo perjudiciales para la integridad de la estructura del tendón, provocando corrosión temprana, pérdida de adherencia entre el bulbo de anclaje y la roca, pérdida de consistencia de la lechada de inyección y disminución en la capacidad de trabajo del sistema de contención, lo cual hace obligatorio un riguroso proceso de limpieza de la perforación por medio de grandes cantidades de agua inyectadas a presión.

Para la implementación de la estructura del tendón y por tratarse de un anclaje activo, su instalación consta de varias etapas [16].:

- Colocación: Es de gran importancia garantizar el recubrimiento adecuado y una posición final estable, para evitar movimientos durante la inyección; para tal fin, se instalan elementos separadores.
- Inyección fase 1: Una vez ubicado el tendón, se inyecta continuamente llenando primero la longitud de adherencia de la zona interior del anclaje; a su vez se inyecta el espacio anular entre la membrana de protección y la pared de la perforación del anclaje a lo largo de toda la longitud del tendón; generalmente se presentan problemas de segregación de la lechada, por lo cual, 4 horas después, se inyecta nuevamente por medio de una tubería perforada la cual garantiza la homogeneidad de la inyección.
- Base en concreto: Con el fin de conformar un apoyo para la cabeza de tensionamiento, se construye una placa en concreto, la cual, dependiendo de la inclinación del talud puede ser plana o en forma de cuña.



Figura 6. Construcción de placa base de apoyo.

- Tensionamiento: Se emplean gatos hidráulicos e instrumentos de medición de esfuerzos y deformación. Después de 7 días, los torones se tensionan inicialmente hasta una fuerza igual al 10% de su carga de prueba; en este punto se inicia con las medidas de elongación;

a continuación se incrementa progresivamente la tensión, hasta alcanzar la carga de prueba, la cual excede en un 20% la carga de trabajo; la carga de trabajo, es igual al 50% de la resistencia última del tendón.

- Pruebas de tensionamiento: Se aplican cargas iguales a las del tensionamiento inicial, con el fin de identificar fluctuaciones considerables en el registro de los valores de esfuerzo, los cuales obliguen a retensionar el elemento.

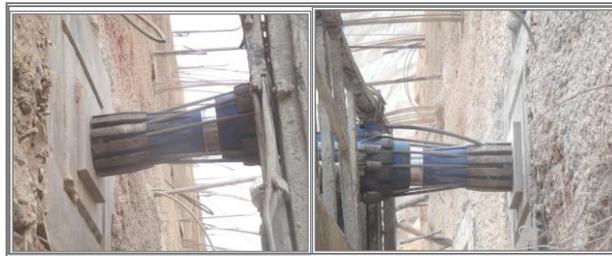


Figura 7. Tensionamiento de torones.

- Inyección fase 2: Se inyecta la zona libre del tendón, llenando con lechada el espacio entre la membrana de protección y la membrana adicional de cada torón.



Figura 8. Detalle y terminado de la cabeza de tensionamiento del tendón.

- Protección a los cabezotes del tendón: El extremo del tendón y el ensamble del cabezal metálico se protegen por medio de la aplicación de una base de alquitrán de hulla, dos capas de pintura epóxica y finalmente se reviste con concreto.

### 5.3 Pernos de anclaje

Los pernos de anclaje forman parte de los sistemas utilizados para la contención de taludes y superficies de excavación del proyecto; estos consisten básicamente en varillas de acero corrugadas, ancladas firmemente en perforaciones, los cuales se adhieren a la superficie de roca usando lechada de cemento con acelerante, resinas sintéticas o anclajes mecánicos, que garantizan que la barra pueda ser esforzada a tensión, hasta el punto de fluencia del acero sin que falle el sistema de anclaje [16].

Los pernos están compuestos esencialmente de una varilla de acero corrugada, una platina de asiento de acero, una arandela plana, una o dos arandelas biseladas y una tuerca hexagonal pesada.

Las características de cada perno dependen directamente del tipo de terreno en el cual se pretenda instalar; en consecuencia se presentan diferentes clases de anclaje [17].:

- Perno tipo A1: Anclaje pasivo, con varillas corrugadas de diámetro 25,4 mm, anclados mediante el uso de lechadas, mortero de cemento con acelerantes o resinas sintéticas; en ocasiones donde las condiciones del terreno sean desfavorables, se colocan pernos hacia adelante en el frente de excavación subterráneo denominados pernos en “*spiling*”, antes de avanzar con la excavación.
- Perno tipo A2: Anclaje pasivo, con varillas corrugadas de diámetro 32,0 mm, anclados mediante la utilización de lechadas o mortero de cemento con acelerantes; el uso de resinas sintéticas se dificulta con el aumento de la longitud del anclaje.
- Perno tipo B: Anclaje activo, con varillas corrugadas de diámetro 25,4 mm, anclados mediante el uso de resinas sintéticas o anclajes mecánicos. El tensionamiento se lleva a cabo mediante la utilización de una llave de impacto de par controlado, de tal modo que el perno tome una tensión de no menos del 50 % y no más del 90 % de su límite de fluencia.
- Perno tipo C: Anclaje pasivo, con tubos de acero huecos de diámetro exterior de 50,8 mm, con rellenos de lechada o mortero; los pernos tipo C (*forepoling*), se requieren para disminuir la luz del arco de roca no soportada inmediatamente después de la excavación, por lo cual se instala hacia delante, antes de ejecutar la excavación del tramo a soportar. Se inyecta de tal forma que se garantice el relleno con lechada o mortero del espacio interno del tubo y entre éste y las paredes de la perforación.

Las superficies excavadas deben ser estabilizadas rápidamente para prevenir derrumbes y generar rendimientos adecuados en la excavación; en tal razón, la lechada, morteros de inyección y resinas sintéticas proporcionan resistencias tempranas permitiendo la ejecución continua de las excavaciones.



Figura 9. Marcación y perforación de barrenos para la instalación de pernos de anclaje.

Una vez perfilado el talud en excavaciones superficiales, se perforan las líneas de pernos distribuidos generalmente en tresbolillo; en las excavaciones subterráneas se suelen hacer perforaciones radiales avanzando en forma de anillo, las longitudes y espaciamientos dependen del diseño y en algunas ocasiones se decide directamente en campo, dependiendo de las características observadas en la roca excavada.

Mientras el proceso de excavación y por condición natural de la roca, las perforaciones son contaminadas con virutas de laminado, óxido suelto, mugre, grasa y diferentes sustancias que pueden resultar dañinas para la integridad de la estructura del anclaje, por lo cual se limpia la perforación con aire y agua a altas presiones.



Figura. 10. Instalación de la estructura del perno y refuerzo adicional.

Durante la instalación de los pernos de anclaje, se prevé la instalación simultánea de malla electrosoldada, ya que es común la aplicación de concreto lanzado en la misma superficie de instalación del anclaje; las diferentes características generadas por la combinación de sistemas de contención, tales como, el aumento de recubrimiento, sujeción del refuerzo y disminución de longitud del anclaje no interfieren ni afectan la longitud roscada de la cabeza del perno; adicionalmente se protege contra la corrosión, la platina, arandela y tuercas de los pernos mediante la aplicación de mortero, concreto o pintura anticorrosiva.

#### 5.4 Barras de anclaje

La instalación de barras sin ser un sistema claramente definido, logra cumplir eficientemente funciones de anclaje; consiste en varillas de acero corrugado de un diámetro mínimo de 25,4 mm y máximo de 38 mm, sin tensionar.



Figura 11. Instalación de barras de anclaje.

Las barras de anclaje se utilizan como conexión entre las estructuras de concreto y las superficies de rocas naturales o excavadas; el extremo libre de la barra de anclaje, que sobresale de la superficie de roca, por lo general se dobla a 90°; este tramo que sobresale quedará embebido en la estructura de concreto a construir [18].

Las barras de anclaje en cuanto a materiales, instalación y ensayos, son similares y siguen los procedimientos descritos para los pernos tipo A1 y A2, excepto que no es necesario el uso de tuercas, arandelas y platinas.

#### 5.5 Empradización y Biomantos

La empradización es un método natural y alternativo, para la protección de taludes de excavaciones que no estén expuestos a grandes cargas de desestabilización; el objetivo principal de este tratamiento es evitar la erosión del talud.

El establecimiento de protección con cobertura vegetal es un proceso amigable con el medio ambiente, restablece en parte las condiciones paisajísticas iniciales, permite la utilización de formaletas degradables, minimizan la acción erosiva del agua y ayuda a conservar la estabilidad de las obras.

La colocación de estos sistemas varía dependiendo de la accesibilidad de la zona a intervenir, la pendiente del talud, el tipo de terreno, riqueza orgánica del suelo y condiciones ambientales; se pueden colocar directamente los bloques de grama o se pueden implementar sistemas de siembra por medio de semillas.



Figura 12. Instalación de biomantos y cobertura vegetal.

Por ser un método de contención natural es de vital importancia la aplicación de abonos de compostaje y el posterior riego periódico hasta que se presente un crecimiento uniforme y natural de la grama; es natural que se presenten zonas defectuosas, las cuales se reemplazan por bloques óptimos; además se realizan actividades de cortes periódicos y control de malezas, con el fin de corregir daños físicos y evitar la aparición de plagas y enfermedades.

## 6. Conclusiones

Los diferentes métodos de soporte se establecen, para una disminución de las cargas generadas producto de las excavaciones, y se deben instalar lo más pronto posible, después de realizada la excavación con el fin de evitar alteración alguna en el talud.

El análisis de las condiciones reales del terreno debe ser permanente; una vez excavada la superficie, las características definitivas del sistema de contención y su proceso de colocación pueden ser replanteados de acuerdo a las nuevas condiciones encontradas.

En las excavaciones es de vital importancia el control de agua subterránea, de infiltración y de escorrentía; esta agua debe ser captada adecuadamente mediante el uso de cunetas perimetrales construidas en concreto, ejecución de perforaciones y la colocación de drenajes permanentes para la extracción del agua del terreno; con el fin de evitar derrumbes o avalanchas por una sobrecarga hidráulica en los taludes.

Cualquier presencia de agua presente en el terreno debe ser tratada, aún si es de pequeña magnitud, debido a que con el paso del tiempo se podría generar una saturación en el terreno.

Las características del concreto lanzado, reforzado con fibra de acero o malla electro-soldada, son similares en cuanto a resistencia se refiere; la determinación de cuál refuerzo se utilice está directamente relacionada con los rendimientos en la ejecución de los trabajos y con la rapidez que se requiera la contención, en cuanto que, el refuerzo con malla electro-soldada implica trabajos adicionales en su colocación, además del lanzado en dos etapas.

El control de calidad durante la ejecución de las obras es fundamental; además se deben seguir lo indicado en las especificaciones técnicas y en los procesos constructivos; lo anterior con el fin de garantizar que el talud quede con la protección adecuada y su duración sea la definida en el diseño.

## 7. Referencias

- [1] Zaragoza, J. 2009. PLANES DE OBRA. Club Universitario. Quinta edición. España. 5:98-99 p.
- [2] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTES NSR-10. A.2: A21-A24 p.
- [3] López, C. Pando, L. y Arias, D. 2011. Casos prácticos sencillos de geología aplicada a la ingeniería. Complutense. Primera edición. España. 5: 45 p.
- [4] Simpson, B. and Powrie, W. (2001). "Embedded retaining walls: Theory, practice and understanding. Perspective Lecture". 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Istanbul, August 2001.
- [5] Nicholson Construction Company. 2007. Practical Soil Nail Wall Design and Constructability Issues, Colorado.
- [6] Turner, J. y Jensen, W. 2005. "Landslide Stabilization Using Soil Nail and Mechanically Stabilized Earth Walls: Case Study." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 131(2): 141–150 p.
- [7] Hellmich, C. Ulm, F. y Mang, H. 1999. "Multisurface Chemoplasticity. I: Material Model for Shotcrete." J. Eng. Mech., 125(6), 692–701.
- [8] Lessard, M. Millette, D. Vezina, F. Tremblay, A. y Leduc, J.-C. 2005. "SCC for Underground Sprayed Concrete Application," Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC), ACBM. 1147-1153 p.
- [9] EPM. 2005. Construcción de la conducción, central subterránea y obras asociadas, información de geología y geotecnia. Empresas Públicas de Medellín, Colombia. 5:1-2 p.
- [10] Se Woon, C. Jihoon, L. Jong Moon, Kim. y Hyo Seon, Park. 2013. Design and Application of a Field Sensing System for Ground Anchors in Slopes. Journal Sensors.13:3739-3752 p. doi:10.3390/s130303739.
- [11] Fernández, J. 2005. "Anclajes de Bulbo Múltiple". 5ª Sesión, Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS – Madrid.
- [12] Perri, G. 1994. "Prevención y técnicas de estabilización de taludes" 1º Simposio Panamericano de Deslizamientos de Tierra. Guayaquil, Ecuador
- [13] Asociación Técnica Española del Pretensado. Instituto Eduardo Torroja. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1996. HP 8-96 Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno.
- [14] Suárez, J. 2001. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Publicaciones UIS. Bucaramanga-Colombia.
- [15] Duncan, J. Wright, S. 2005. "Soil Strength and Slope Stability". John Wiley and Sons.Inc. Hoboken. New Jersey.
- [16] Cárdenas, J. 2012. Manual de los principales métodos de soporte y protección de superficies de excavación utilizados en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. Universidad Industrial de Santander.
- [17] Suarez, J. 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Estructuras de contención o anclajes. 473 – 490 p.
- [18] González, B. 1995. Procesos constructivos de sistemas de anclaje para la estabilización de taludes. Tesis para obtener el título de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad Iberoamericana, México, p. 32-34.

## **8. Biografía**

Julián Bernardo Cárdenas Rueda es Ingeniero Civil de la Universidad Industrial de Santander, graduado en marzo de 2012; experiencia profesional de 2 años en el sector de Interventoría de la construcción de vías y puentes en el departamento de Santander.