



**Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el
proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri**

Daniel Esteban Borja Osorio

Informe de práctica para optar al título de ingeniería civil

Asesor

Juan Camilo Chivatá, Ingeniero civil

Edwin Fabián García Aristizábal, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería civil

Medellín

2023

Cita

(Borja Osorio, 2023)

Referencia

- [1] Borja Osorio, D. (2023). *Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri* (Trabajo final de grado). Universidad de Antioquia, Medellín 2023.

Estilo IEEE (2020)



Centro de Documentación de Ingeniería - CENDOI

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia – www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
MARCO TEÓRICO	10
Principios de la estabilidad de taludes	10
Resistencia al corte	11
Anclajes activos	12
Maquinaria implementada en la estabilización	26
Problemáticas comunes durante el proceso constructivo	39
RESULTADOS	39
CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	40

RESUMEN

El presente informe pretende exponer los conocimientos adquiridos en materia de estabilización de taludes por medio de anclajes activos y pasivos al desarrollar el cargo de inspector técnico en cielo abierto en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri durante el semestre de prácticas.

El escrito contiene información teórico-práctica sobre las diferentes situaciones que se pueden tener a la hora de generar la estabilización de taludes por alguno de los sistemas de anclajes aportando material de valor para estudiantes o personas que estén interesadas en tener una comprensión práctica del tema antes de desempeñar labores en la estabilización de taludes.

De manera representativa, se estudia el uso de anclajes activos y pasivos en el Portal Entrada al Túnel 2 en el k8+700-730, el cual, tiene un tratamiento que cuenta con anclajes de 10 metros de longitud y una tensión de servicio 30 toneladas en el banco número 1 (cotas MSNM 665 – 680). De manera similar, el último banco, el cual llega a rasante, cuenta con un sistema mixto de anclajes activos con las mismas especificaciones para pernos (anclajes pasivos) de 6 metros de longitud (cotas MSNM 652 -668).

Se mencionan parámetros de la teoría de resistencia al corte y metodologías de diseño para el dimensionamiento de anclajes, tanto activos como pasivos, en adición a la fundamentación de su uso en los diferentes tipos de suelo.

Se logró determinar las actividades y responsabilidades que se adquieren en obra para poder garantizar la correcta construcción de los sistemas de estabilización aportando información que facilitará el proceso para nuevos profesionales.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

5

Palabras clave — Anclaje pasivo, anclaje activo, estabilización de talud, Túnel Toyo, Procesos constructivos.

ABSTRACT

This report aims to present the knowledge acquired in the field of slope stabilization implementing active and passive anchors whereas performing the position of open-air technical inspector in the project Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri During the intership semester.

The writing contains theoretical and practical information of the different situations that can happen at the time of generate the stabilization of slopes by any of the anchoring systems, providing valuable material for students and people who are interested in having a practical understanding before starting to perform labors in the stabilization of slopes.

Representatively, the use of active and passive anchors at the entrance of tunnel 2 in kilometer k8+700-730 is studied, the one that has a treatment with anchors of 10 meters length and a service stress of 30 tons in the berm number 1 (elevation MASL 665 – 680), similarly, the last berm, the one that touches the asphalt grade, has a mixed system of active anchors with the same specifications for soil nail (passive anchors) of 6 meter length (elevation MASL 652-668.

Finally, parameters of the theory of shear strength and design methodologies are mentioned for the dimensioning of active and passive anchors and the justification of their use in different types of soil.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

6

It was determined the activities and responsibilities that are acquired in field in order to guarantee the correct construction of systems of stabilization, providing information that will facilitate the process in new professionals.

Keywords — Passive anchors, active anchors, slope stability, Túnel Toyo, building processes

INTRODUCCIÓN

Con la intención de optimizar los tiempos de viaje entre el Urabá antioqueño, Medellín y el centro del país, el Túnel Toyo y sus obras de acceso toman posición entre los proyectos Mar 1 y Mar 2 sumándose al esfuerzo realizado por el país en las últimas décadas por ampliar la red vial nacional. Las obras de acceso al Túnel Toyo tienen como objetivo conectar a Santa fe de Antioquia con el municipio de Giraldo y es ejecutado por dos empresas que se reparten 19.4 kilómetros de vía en dos sectores.

El sector 1, tramo sobre el cual se extrae la información para este informe, es ejecutado por la empresa Construcciones el Cóndor para la cual se genera una inyección de capital inicial de 418.252 millones de pesos (Daniel Morales Soler, Marzo 2021). El proyecto de obras de acceso al túnel Toyo cuenta con todo tipo de obras de infraestructura vial, además de puentes y túneles, contiene alrededor de 12.5 kilómetros de vía a cielo abierto los cuales tienen planes de manejo para la estabilización de los taludes y laderas. Los sistemas más implementados para la estabilización son redes de anclajes pasivos y activos de diferente longitud que se ajustan a las demandas técnicas según los estudios realizados (MINISTERIO DE TRANSPORTE, Febrero 2022). La Ilustración 1 evidencia el Sector 1 y el Sector 2 en donde los túneles están sombreados de color verde, los puentes de color azul y los cielos abiertos en color amarillo.

Las labores de inspector técnico durante el periodo de semestre de industria se llevaron a cabo en el Sector 1 cerca a la vereda del Espinal y vereda el Cinco, sin embargo, a partir del *Puente 1* hacia mayores se encuentran los tramos a cielo abierto en donde los trabajos de estabilización de taludes son más rigurosos y complejos, es decir, desde el *Cielo Abierto 3* hasta el *Cielo Abierto 7*.



Ilustración 2 *Cielo 5 k9+200*

Las actividades realizadas como inspector técnico en cielo abierto permiten obtener de primera mano detalles constructivos en ambos sistemas, además de los diferentes escenarios que se pueden tener durante su instalación y los parámetros técnicos a tener en cuenta a la hora de certificar una correcta ejecución en campo. Para poder llevar a cabo el seguimiento a los procesos constructivos y comprender conceptualmente como trabajan estos sistemas fue necesario realizar visitas a los puntos de trabajo, en las cuales, se velaba por que la calidad de los materiales y las especificaciones técnicas establecida en los planos fueran ejecutadas de la manera más precisa posible, al mismo tiempo, se realizaron informes de forma constante donde se reporta al ingeniero residente las cantidades de obra y los estados en los que avanzaba cada frente.

Finalmente, fue posible obtener una amplia comprensión de los sistemas de estabilización y la oportunidad de nutrir la base práctica y profesional en un megaproyecto que permite poner a prueba los fundamentos obtenidos en la universidad.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

OBJETIVOS

Objetivo general

Apoyar el seguimiento de la implementación y construcción de los sistemas de estabilización de taludes por medio de anclajes activos y pasivos a partir de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos al desarrollar el cargo de inspector técnico en cielo abierto durante el periodo de prácticas en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri permitiendo a su vez, generar un empalme amigable entre la vida laboral y académica para futuros profesionales.

Objetivos específicos

1. Sumar información sobre los sistemas de estabilización de taludes con anclajes desde un punto de vista práctico.
2. Repasar los conceptos de estabilización de taludes basados en las actividades y estudios llevado a cabo en el Portal Entrada Túnel 2 k8+700 – 735 del proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri.
3. Exponer las actividades y responsabilidades adquiridas al desempeñar el cargo de inspector técnico de cielo abierto.
4. Comparar y evaluar las bases teóricas adquiridas en la universidad con la teoría de estabilidad de taludes y la implementación de sistemas de estabilización.
5. Identificar las diferencias conceptuales y constructivas entre anclajes pasivos y activos.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

MARCO TEÓRICO

El Túnel Toyo será considerado como el más largo en el hemisferio occidental con una longitud de 9.8 kilómetros. Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri es un proyecto complementario con diferentes obras de infraestructura el cual, fue adjudicado el 31 de marzo de 2021 con una inversión de 418.252 millones de pesos (Daniel Morales Soler, Marzo 2021). El sector 2, Tramo 1 (k1+300 a k11+635) tiene 7 cielos abiertos y 5 túneles en los cuales, se realiza tratamientos de estabilización en cada uno de los portales por medio de sistemas de anclajes activos, pasivos y mixtos.

Los análisis de los diseños para la estabilización fueron llevados a cabo en el software Slide en cada uno de los frentes de obra a partir de realizar estudios probabilísticos en las metodologías de diseño de Terzaghi, Morgenstern y Mohr Coulomb de donde se obtenía tres factores de seguridad trabajando siempre con el caso más conservativo

El cargo de inspector técnico tiene como responsabilidad hacer respetar los lineamientos técnicos establecidos en los diseños en cada una de las actividades y puntos de trabajo junto con el control de las cantidades reales de obra para informar los estados y necesidades en los frentes a los ingenieros residentes.

Principios de la estabilidad de taludes

Al intervenir un macizo montañoso se altera un estado de equilibrio relativo generando un diferencial de esfuerzos que deben ser tratado. Básicamente, los deslizamientos se fundamentan en el valor del cociente entre las fuerzas resistentes y movilizantes en las posibles superficies de falla que tenga un talud, si las fuerzas movilizantes sobrepasan las resistentes se genera un movimiento y ocurren los desastres.

Las fuerzas resistentes son aquellas que evitan el movimiento y están en función de la cohesión y la fricción del tipo de suelo, por otro lado, las movilizantes dependen de las condiciones naturales

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

a las que este expuesto el macizo como lo pueden ser: el nivel freático, tipo de suelo (caso de arcillas expansivas y peso propio), geometría natural, fenómenos sísmicos, esfuerzos ejercidos por llenos y desconfinamiento de suelos.

Resistencia al corte

Al mencionar la resistencia en una superficie de falla, es indispensable tener en cuenta aspectos de la teoría de la resistencia al corte en la mecánica de suelos, que es, en esencia, la base teórica para modelar a partir de ensayos como el triaxial y resistencia al corte directo, la capacidad de un determinado suelo y los diferentes esfuerzos cortantes y de compresión en las posibles superficies de falla.

Metodologías como el círculo de Mohr permiten analizar diferentes situaciones críticas a partir de análisis gráficos de esfuerzos que en complemento con herramientas digitales determinan las características de falla en los diferentes planos donde posteriormente se determina la profundidad y especificaciones técnicas de los sistemas de estabilización (Guzmán, 2018)

Los suelos tienen una resistencia natural al movimiento producto de la fricción y cohesión del mismo. A pesar de que todos aportan capacidad por fricción, solo los que contienen finos poseen características cohesivas que mejoran su sostenibilidad. La expresión matemática que establece lo anterior (Ecuación 1) describe la resistencia al corte como la suma entre la cohesión y la fricción, dicha expresión es conocida como ecuación de Coulomb (Aburto, 2011)

$$t = C' - \sigma' \tan \Phi'$$

Ecuación 1

Donde t es la resistencia al corte, C' es la cohesión efectiva, σ' es el esfuerzo normal Efectivo y Φ' es el ángulo de fricción efectivo.

En 1936 Terzaghi establece la ecuación del esfuerzo efectivo para suelos saturados (Ecuación 2) Finalmente, con ensayos de laboratorio como el triaxial y resistencia al corte es posible determinar

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

los esfuerzos de falla teóricos los cuales, se analizan posteriormente a la luz de la capacidad que ofrece el suelo a partir de la cohesión, la fricción y el ángulo de falla (Eduardo Rojas, 2013).

$$\sigma' = \sigma - U_w$$

Ecuación 2

De donde σ' es el esfuerzo efectivo, U_w es la presión de poros,

A raíz del riesgo que representan los deslizamientos en las vías, los anclajes son uno de los sistemas de estabilización que permite incrementar el nivel de seguridad a partir de un mecanismo longitudinal que busca conectar la zona inestable con la parte interna del talud cruzando la superficie de falla donde el factor de seguridad no cumpla. El factor de seguridad (Ecuación 4) es el parámetro que permite realizar procesos de estabilización que garanticen que las especificaciones técnicas puedan satisfacer las demandas en el talud de manera conservativa. Según la NSR 10 en el título H, el factor de seguridad se obtiene del cociente entre las fuerzas resistentes y las actuantes, además, se considera una superficie de falla crítica si su valor es inferior a 1.05 en condición pseudo-estática y a 1.5 para condición estática.

$$F_s = \frac{FR}{FA}$$

Ecuación 4

Donde FR son las fuerzas resistentes y FA son las fuerzas actuantes

Anclajes activos

Es un dispositivo longitudinal que buscan aumentar la estabilidad superficial de un macizo montañoso a partir de anclar la zona crítica a una zona estable en profundidad.

Como su nombre lo indica, los anclajes activos trabajan de manera constante dado que se tensionan según los diseños y están compuestos por cables de alta capacidad que se deforman una vez son puestos en servicio. Este mecanismo pretende buscar resistencia en profundidad y establecer un puente de unión entre la zona inestable con la competente a partir de cables de acero o torones de alta resistencia. Además de estos cables, el anclaje es compuesto por dos tubos ranurados y

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

perforados a lo largo de su longitud para permitir el ingreso de la lechada cementante una vez este instalado.

La carga de tensión del anclaje depende de los requerimientos según los estudios, además, idealmente se aplica de forma idéntica en cada uno de los torones. Las deformaciones en los cables deben ser consistentes con su módulo de elasticidad y estar en el rango establecido. Por otro lado, la lechada cementante está compuesta por una mezcla fluida entre cemento agua y aditivos que permitan incrementar su fluidez y velocidad de fraguado.

Es conveniente apoyarse en la Ilustración 3 y estudiar la composición de un anclaje en las siguientes 3 partes para facilitar su comprensión:

- **Zona de anclaje o Bulbo:** Localizado en la parte más interna del macizo, su función es anclarse a la parte estable del talud por medio de lechada cementante la cual suelda los cables con el terreno natural. Su longitud depende de los diseños.
- **Longitud no adherida o zona de elongación:** Esta ubicada directamente después del bulbo. En esta zona los cables están cubiertos con mangueras plásticas para evitar la adherencia con la lechada y permitir deformaciones en los cables una vez se realice la tensión.
- **Pantalla de muro:** Ubicado en la parte más externa y fundidos en concreto reforzado, está apoyado sobre la superficie de concreto y una placa de anclaje metálica con la intención de cuñar y generar una superficie de apoyo contra el terreno en la zona de tensión. La cabeza del anclaje permite por medio de cilindros de acero llamados caperuza asegurar los cables para posteriormente tensarlos.
- **Lechada:** es compuesta por cemento, agua y aditivos que facilitan su fluidez y transporte por mangueras de inyección.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

- **Placa del anclaje:** Es la placa metálica que reduce el esfuerzo ejercido ampliando el área de contacto entre la pantalla y la cabeza del anclaje.
- **Armadura:** se refiere a la zona unión de los tres cables de alta tensión durante la longitud del bulbo.
- **Zona solidaria:** Es el lugar donde los torones o cables de alta tensión se distancian uno del otro debido a la tensión de los mismos.

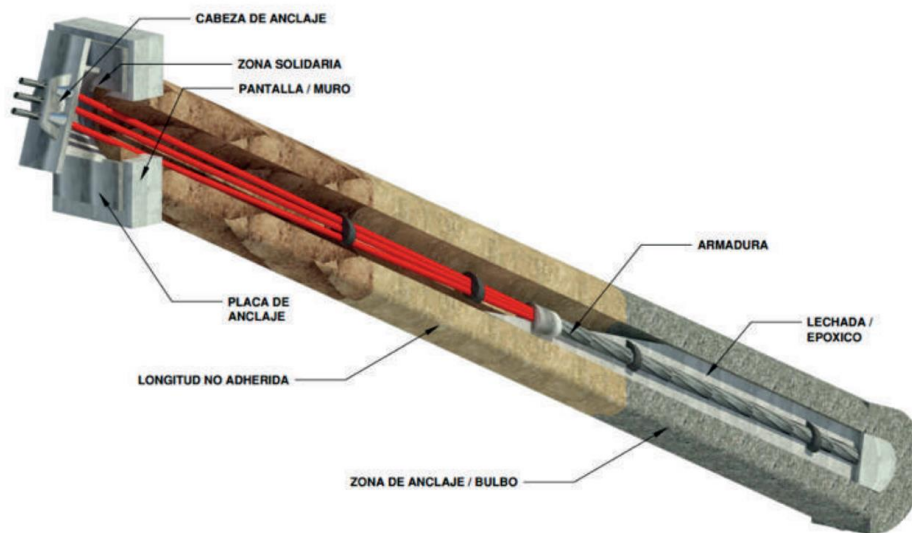


Ilustración 3, anclaje activo. Fuente: (TOXEMENT, 2020)

Como se muestra en la Ilustración 4 un anclaje activo está compuesto por torones o cables de acero de alta capacidad, un tubo o manguera por el cual se realiza una inyección inicial (tubo de color negro) una vez instalado y otro tubo blanco el cual se usa para el proceso de inyección secundaria a presión. En esta Ilustración es posible también reconocer los separadores del anclaje cuya función es orientar y organizar cada uno de los elementos del mismo.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 4, Elementos que conforman un anclaje activo. Fuente: elaboración propia

Los cables conforman la longitud del anclaje y están cubiertos por mangueras en la zona de elongación con el objetivo de evitar la adherencia con la lechada en esta zona. El tubo de llenado inicial tiene aspecto de manguera común de color negro y está perforado a lo largo de toda su longitud con agujeros para que una vez se realice el llenado la lechada inunde el anclaje en las cavidades de la perforación. El tubo de llenado secundario es de color blanco y debe resistir al menos 20 bares de presión dado que este permite la inyección del anclaje, la cual termina de inundar las grietas interna en la perforación.

Las Ilustraciones 5 y 6 muestran estos tres elementos unidos por alambre galvanizado los cuales, deben ser unidos en uno extremos de manera tal que se genere una punta fina que facilite el ingreso del anclaje en la perforación.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 5, Armado de anclajes activos. Fuente: elaboración propia



Ilustración 6, Punta de anclaje activo. Fuente: elaboración propia

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

Proceso constructivo de un anclaje activo en un sistema de estabilización de taludes

Paso 1: definir por medio de excavación los perfiles del talud especificados en planos evitando material orgánico, raíces y suciedades, así como se evidencia en la Ilustración 7.



Ilustración 7, Perfilado y excavación de talud. Fuente: elaboración propia

Paso 2: Llevar a cabo el lanzamiento de concreto con fibra o malla electrosoldada sobre toda la superficie de la manera más homogénea posible cumpliendo con las especificaciones de espesor, asentamiento y de temperatura preestablecidos, los cuales, son 10 cm, 8 ± 1 pulgadas y $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Estos valores se determinaron según los diseños y la normativa NSR 10 en el Título H. Las Ilustraciones 8 y 9 muestran respectivamente ensayos de temperatura y asentamiento antes de realizar la instalación del concreto. Por otro lado, la Ilustración 10 muestra el proceso de lanzamiento de concreto sobre el talud.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 8, Prueba de asentamiento. Fuente: elaboración propia



Ilustración 9, Toma de temperatura de concreto. Fuente: elaboración propia

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 10, Lanzado de concreto. Fuente: elaboración propia

Paso 3: Se inicia la perforación o barreno para el anclaje según la profundidad especificada y posteriormente se instala el anclaje, así como se evidencia en la Ilustración 11 lo más pronto posible con la intención de evitar posibles colapsos internos en la perforación.



Ilustración 11, introducción de anclaje activo. Fuente: elaboración propia

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

Paso 4: una vez instalado el anclaje, a través del tubo o manguera negra se procede con el proceso de llenado primario con lechada cementante. La lechada cementante esta conformada por cemento, agua y aditivos que aumentan la fluidez de la mezcla, no deben tener una relación de agua cemento superior a 0.4 y se debe llenar hasta justo antes de avistar que se rebosa el barreno de perforación. En la Ilustración 12 se muestra la producción de la lechada.

Una vez la lechada inicial está seca, se procede por el tubo blanco a realizar la inyección del anclaje con la intención de saturar con lechada las grietas en profundidad. La presión de inyección debe ser de 8 bares y es registrada por indicadores de aguja manométricos.



Ilustración 12, Bomba de inyección. Fuente: elaboración propia

Paso 5: se procede a la construcción del dado del anclaje por lo que primeramente se debe instalar el refuerzo de acero y la formaleta verificando que no se tengan concavidades en el dado y que se cumpla verticalidad en el mismo, así como se permite ver en la Ilustración 13. Una vez instalada la formaleta se procede con la fundida del dado, la cual se debe hacer monolítica para evitar justas no deseadas. Para garantizar la homogeneidad de la mezcla es importante acudir a un vibrador mecánico que permita a la mezcla llegar a los lugares más complejos. En este punto se

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

hace importante el chequeo de la granulometría y el tamaño de los agregados del concreto y revisar que no sobrepasen el tamaño del tamiz número 3 idealmente.



Ilustración 13, Instalación de refuerzo para dados de anclajes activo. Fuente: elaboración propia

Paso 6: Se debe cortar los tubos de inyección y llenado que sobresalen del anclaje (Ilustración 14) hasta nivel del concreto para que no bloquee el proceso de tensionamiento. Posterior al proceso de fraguado del dado, se debe proceder con el tensionamiento del anclaje para lo cual se implementa un gato hidráulico. Se debe instalar la caperuza entre el gato y la platina tal como lo muestra la Ilustración 15 para después realizar el tensado de cada uno de los torones según el tonelaje especificado para dejar en servicio el anclaje. Con la intención de garantizar la carga de funcionamiento y la calidad de los torones es importante mencionar que en este punto se debe medir la deformación de los cables durante el proceso de tensionamiento la cual debería estar idealmente entre 5 a 8 cm.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 14, Dado de anclaje activo sin tensionar. Fuente: elaboración propia



Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

Ilustración 15, Tensionamiento de anclaje activo. Fuente: elaboración propia

Anclajes pasivos

A diferencia de los anclajes activos, los pernos trabajan una vez se genera un movimiento relativo en el suelo. Básicamente, los pernos entrelazan la zona inestable con la competente a partir de varillas de acero ubicadas en diferentes puntos generando un efecto de *cosido* una vez hay un movimiento. Los anclajes pasivos o pernos están compuestos por una varilla corrugada de alta capacidad que se introduce en el terreno traspasando la superficie de falla, la varilla posteriormente se asegura a la superficie de concreto con un sistema de platina y tuerca, así como se muestra en la Ilustración 16.1.

La longitud del perno está determinada por el largo de la varilla o longitud libre la cual debe ser corrugada y tener un calibre que resista las posibles demandas ocasionadas en la superficie de falla. De manera paralela, se instalan dos mangueras ranuradas de color negro para realizar el proceso de llenado del perno (Ilustración17) las cuales, están unidas a la varilla por medio de alambre galvanizado.

La Ilustración 16 se evidencia las diferentes partes del perno. El elemento de apoyo constituido por la tuerca y la varilla que van soportadas sobre la cara del talud, la varilla o elemento estructural componen el elemento que resiste al movimiento y la lechada o mortero es la mezcla que permite anclar el elemento al terreno.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

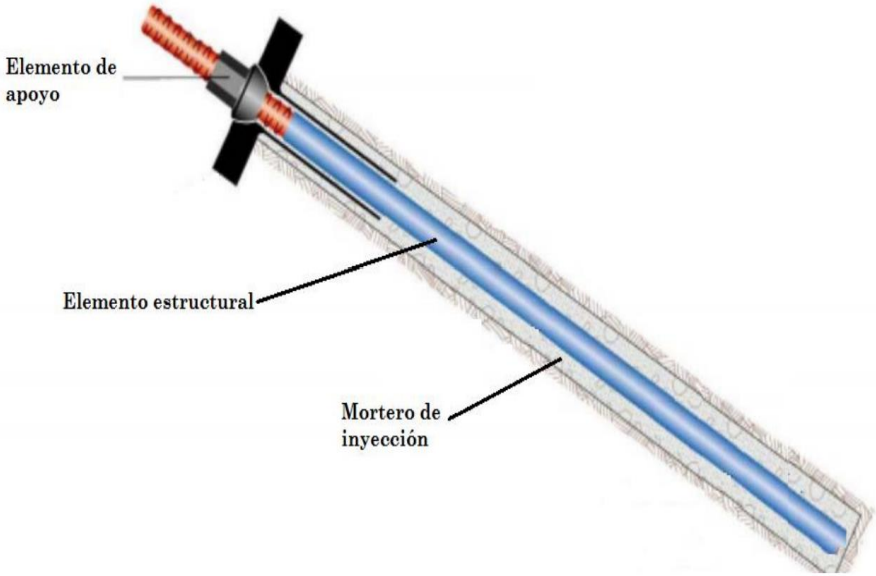


Ilustración 16, Anclaje pasivo. Fuente: (CONTRERAS, 2014)



Ilustración 16.1, anclaje pasivo terminado. Fuente: elaboración propia

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 17, anclaje pasivo sin platina. Fuente: elaboración propia

Proceso constructivo de un anclaje pasivo

Paso 1: de manera homologa a la fase inicial de la construcción de anclajes activos, se debe generar el corte y perfilado del talud que determine los perfiles y pendientes especificadas en los planos.

Paso 2: Una vez demarcada el posicionamiento de los pernos se procede con la perforación de los barrenos respetando parámetros de longitud, inclinación y tamaño según los diseños. Es idénticamente el mismo proceso de perforación que se realiza para un anclaje activo.

Paso 3: Se procede a instalar el perno lo más pronto posible procurando evitar colapsos tempranos en la perforación.

Paso 4: Para realizar el proceso de llenado del perno se tienen dos mangueras (Ilustración 17) las cuales deben poder permitir el lleno de perno a su totalidad y en caso de que una de las mangueras se tape se debe implementar la otra. El llenado del perno se realiza hasta avistar que la lechada rebosa del barreno de perforación y no es necesario implementar inyección a presión dado que el

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

perno no es tensionado y su principio de funcionamiento es diferente. Es posible implementar la misma lechada usada en los anclajes activos en los pernos.

Paso 5: se instala la platina (Ilustración 16) y posterior a esto se aprietan la tuerca de sujeción con un torque aproximado de 360 libras pie y queda listo para su funcionamiento.

Maquinaria implementada en la estabilización

La Ilustración 18 contiene en su respectivo orden la maquina requerida para la construcción de anclajes.



Ilustración 18, maquinaria para la construcción de anclajes. Fuente: elaboración propia

1. Canasta u oruga de perforación: realiza la perforación en terreno natural a la profundidad establecida por los planos.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

2. Bomba de inyección: mezcla e inyecta la lechada cementante al interior del barreno una vez ingresado el anclaje o varilla.
3. Bomba de lanzado: esparce el concreto en el terreno natural del talud y permite desplazar la mezcla a las partes más alejadas.
4. Gato de tensión: tensiona los torones del anclaje activo una vez pasa el tiempo de fraguado de la lechada y el concreto.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el cargo de inspector técnico de la interventoría, inicialmente se realiza una breve introducción con visita guiada en los frentes de obra junto con las actividades que se llevan a cabo. Se identifican los estados críticos y diferentes dificultades que se tienen en el momento sobre las cuales se debe tener una atención especial, igualmente, se reconocen los parámetros mencionados anteriormente que permiten establecer la calidad de las obras para ser evaluados a diario y posteriormente ser reportados en informes que permitirán al ingeniero residente tener información actualizada para evaluación técnica y pagos de acta.

A la hora de presentarse algún proceso constructivo inadecuado o falla técnica se debe informar al contratista de las posibles soluciones y generar pautas que mejoren y prevengan procesos deficientes. Para llevar a cabo la inspección en las actividades es fundamental conocer a profundidad las especificaciones técnicas en los planos y observar con criterio si las condiciones insitu cambian de manera tal que sea necesario considerar soluciones alternas siempre tomando decisiones desde un punto de vista más conservativo. Las fallas pueden aparecer durante cualquier fase del proceso constructivo como, por ejemplo, colapso del barreno antes de ingresar el anclaje, pérdida de broca por fractura de la misma en terrenos muy duros, concretos mal fraguados, sin embargo, una de las fallas con mayor repercusión es el colapso del talud durante su proceso de construcción. El colapso del talud es función de varias variables, una de ellas son las aguas lluvias que se infiltran y aumentan la presión de poros y es por eso que antes y durante la construcción del mismo es indispensable garantizar el funcionamiento de las obras de drenaje como los son las rondas de coronación, cunetas y disipadores. Esta dificultad también se da dado a procesos constructivos inadecuados, los cuales, permiten la construcción de dados sin tensionar el anclaje

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

ganando altura en el talud y aumentando su peso superficial sin generar ningún tipo de estabilización, así como se ve en la Ilustración 19, en la cual se muestra por medio de puntos rojos anclajes instalados, pero no tensionados.

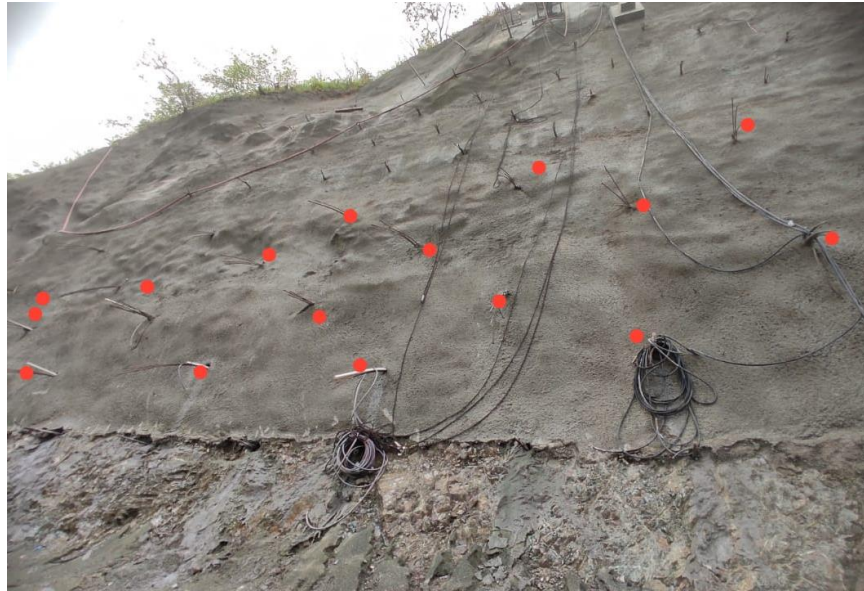


Ilustración 19, talud en el cielo 6 sector 1. Fuente: elaboración propia

Buenas prácticas constructivas

Durante el proceso constructivo es conveniente tener en cuenta algunas prácticas saludables para prevenir fallas en el sistema de estabilización, entre ellas las más destacadas son:

1. Garantizar que la superficie donde se realizará el lanzamiento del concreto se encuentre lo más limpia posible de impurezas como polvo raíces y rocas sueltas.
2. Tener el anclaje listo una vez se termine las perforaciones para evitar colapsos internos en la perforación.
3. Evitar contaminar los cementos para lechada con agua u otras sustancias.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

4. Realizar procesos constructivos de manera ordenada para evitar dejar procesos constructivos en alturas una vez se gane altura en el siguiente corte del talud.
5. Garantizar el cumplimiento de las pruebas de asentamiento del concreto para evitar posibles dificultades en el transporte del mismo por las mangueras y bombas de lanzado.

Es conveniente tener una buena comunicación con el contratista y los ingenieros residentes con el objetivo de resolver los hallazgos encontrados de manera óptima y oportuna dado que muchas de las decisiones deben ser tomadas lo más pronto posible para evitar accidente o pérdidas constructivas mayores.

Proceso de estabilización en Portal entrada túnel 2 k8+700 – 720



Ilustración 20 Localización Túnel 2 Fuente (Condor, Marzo 2022)

La Ilustración 20 hace alusión a la zona de construcción del Túnel 2 en donde en rojo se encuentran el portal de entrada y portal salida del mismo. Según diseños obtenidos en marzo de 2022, el portal de entrada del túnel tiene un tratamiento mixto con anclajes de 10 metros con una carga de 30 toneladas y pernos de 6 metros con varilla corrugada de 1 pulgada que se distribuyen a lo largo de dos bancos de 14 metros de altura separados por una berma de tres metros. Para el tratamiento de aguas se instalaron rondas de coronación perimetrales junto con lloraderos de 1 metro y drenes

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

horizontales de 15 metros en la pata de cada banco, así como se ve en la Ilustración 21 y 22 las cuales son una vista frontal y en planta respectivamente del portal de entrada al Túnel 2.



Convenciones de ilustración 21 y 22

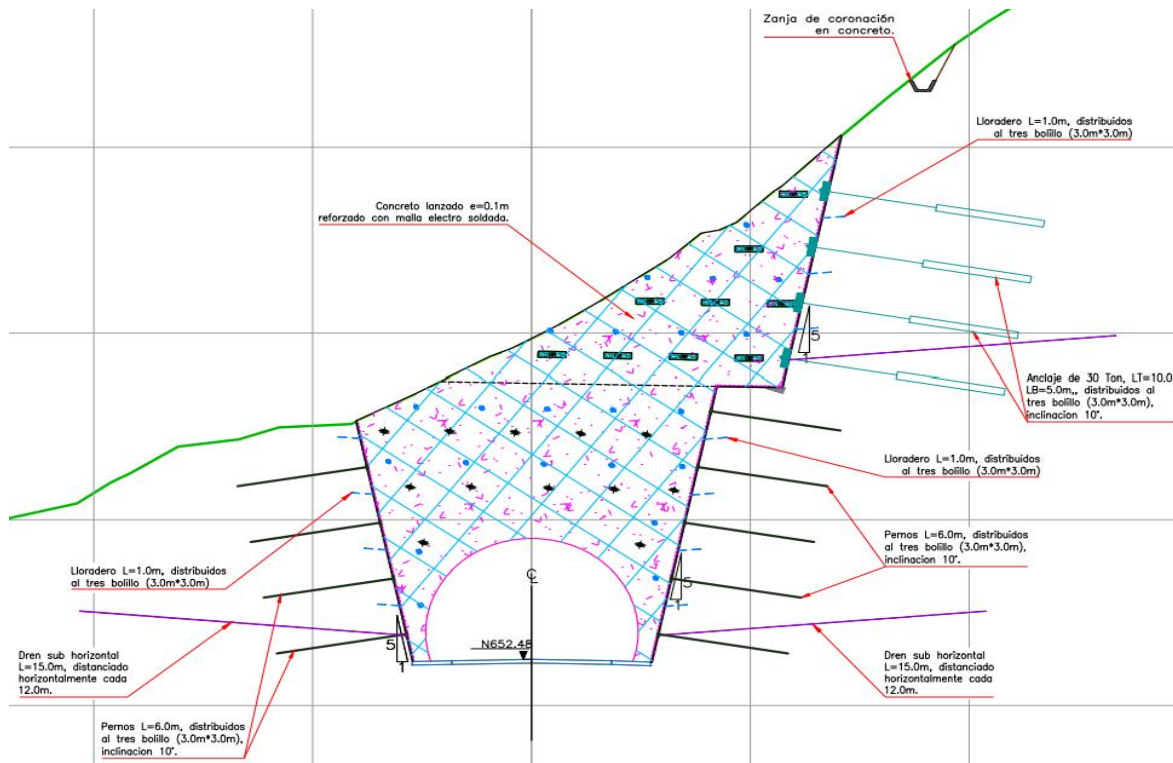


Ilustración 21, Vista frontal de planos de Túnel 2. Fuente: (Condor, Marzo 2022)

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

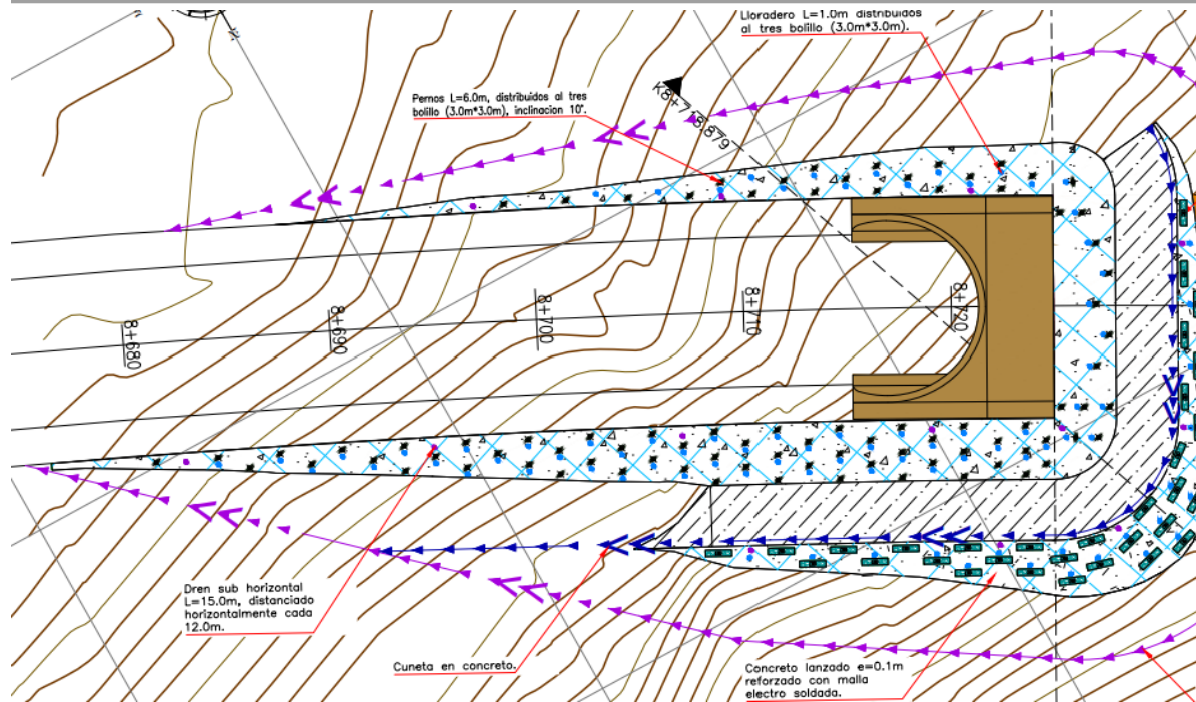


Ilustración 22, vista superior de planos de Túnel 2. Fuente: (Condor, Marzo 2022)

Según estudios geológicos realizados por el Córdor, se encontraron depósitos aluviales y coluviales superficiales un ángulo de fricción de 32° y una cohesión de 6.5 kPa. Por otro lado, un análisis visual en campo permite apreciar una baja calidad del macizo rocoso a partir de las discontinuidades, rugosidad y alteración de las juntas.

La Ilustración 21 es una vista frontal del portal de entrada al Túnel 2 una vez ya terminado en el cual, se evidencia que se está dando vía libre para que la maquinaria de túneles inicie sus obras. Siempre es complejo llevar a cabo los diseños en planos a campo de forma idéntica dado que estos fueron realizados sin tener en cuenta muchas de las condiciones insitu, por lo anterior, se tuvo algunas modificaciones menores con la intención de tener un tratamiento de estabilización más preciso y seguro.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 23, *Vista portal entrada Túnel 2 tomado de (Condor, Marzo 2022)*

Para llevar a cabo los procesos de estabilización del Portal, como fue descrito en el paso a paso de la construcción de sistemas de estabilización por medio de anclajes, se debe realizar un corte y excavación en el terreno empezando desde la parte superior para lo cual se usa maquinaria amarilla así como se demuestra en la Ilustración 24, una vez se tenga la geometría apropiada, se debe realizar limpieza de material vegetal residual y polvo para mejorar la adherencia con el concreto lanzado. El concreto para lanzado debe ser revisado en campo por medio de ensayos de asentamiento y temperatura justo antes de usarse. Se realiza el lanzado del concreto, así como se ve en la Ilustración 25 y como se mencionó anteriormente, para mejorar la adherencia es necesario el uso de aditivos de plasticidad que permite alcanzar los espesores de diseño. En el portal del túnel 2 el concreto lanzado debe tener un espesor de 10 cm los cuales. Es conservativo realizar el lanzado del concreto lo antes posible para que funcione como capa de sostenimiento preventiva a erosión y caída de material superficial.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 24, Corte y excavación de talud. Fuente: elaboración propia



Ilustración 25, lanzado de concreto en Túnel 2. Fuente: elaboración propia

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 26, perforación de anclajes. Fuente: elaboración propia

Posterior a la primera etapa de fraguado del concreto, la topografía demarca los puntos para iniciar con la perforación para anclajes (Ilustración 26 acorde a la profundidad especificada en los planos, por ejemplo: en el portal del túnel 2 se identificó una superficie crítica la cual, es atravesada con el sistema de estabilización implementado, alcanza un factor de seguridad estático de 1.87 y pseudo estático de 1.5 (Ilustración 27 y 28).

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

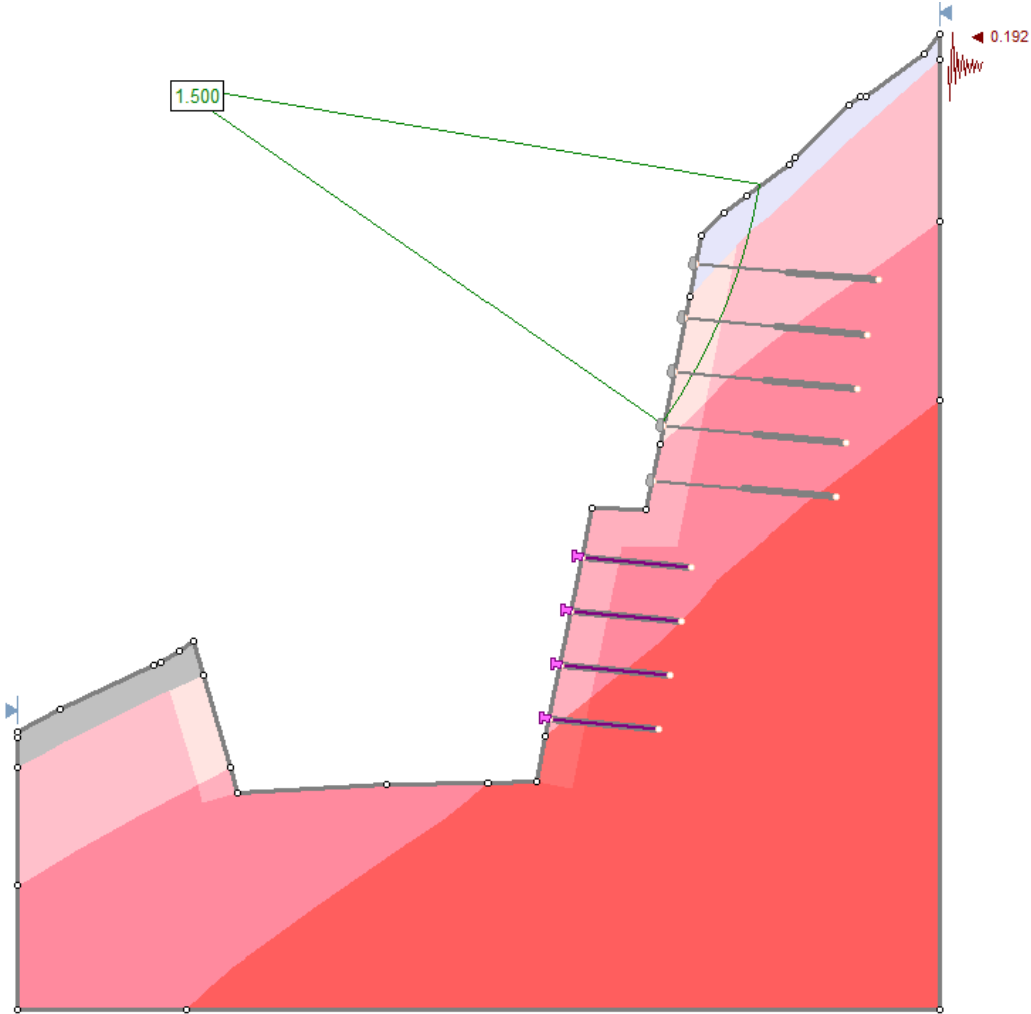


Ilustración 27 F.S pseudo- estático portal entrada túnel 2 Fuente (Condor, Marzo 2022)

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

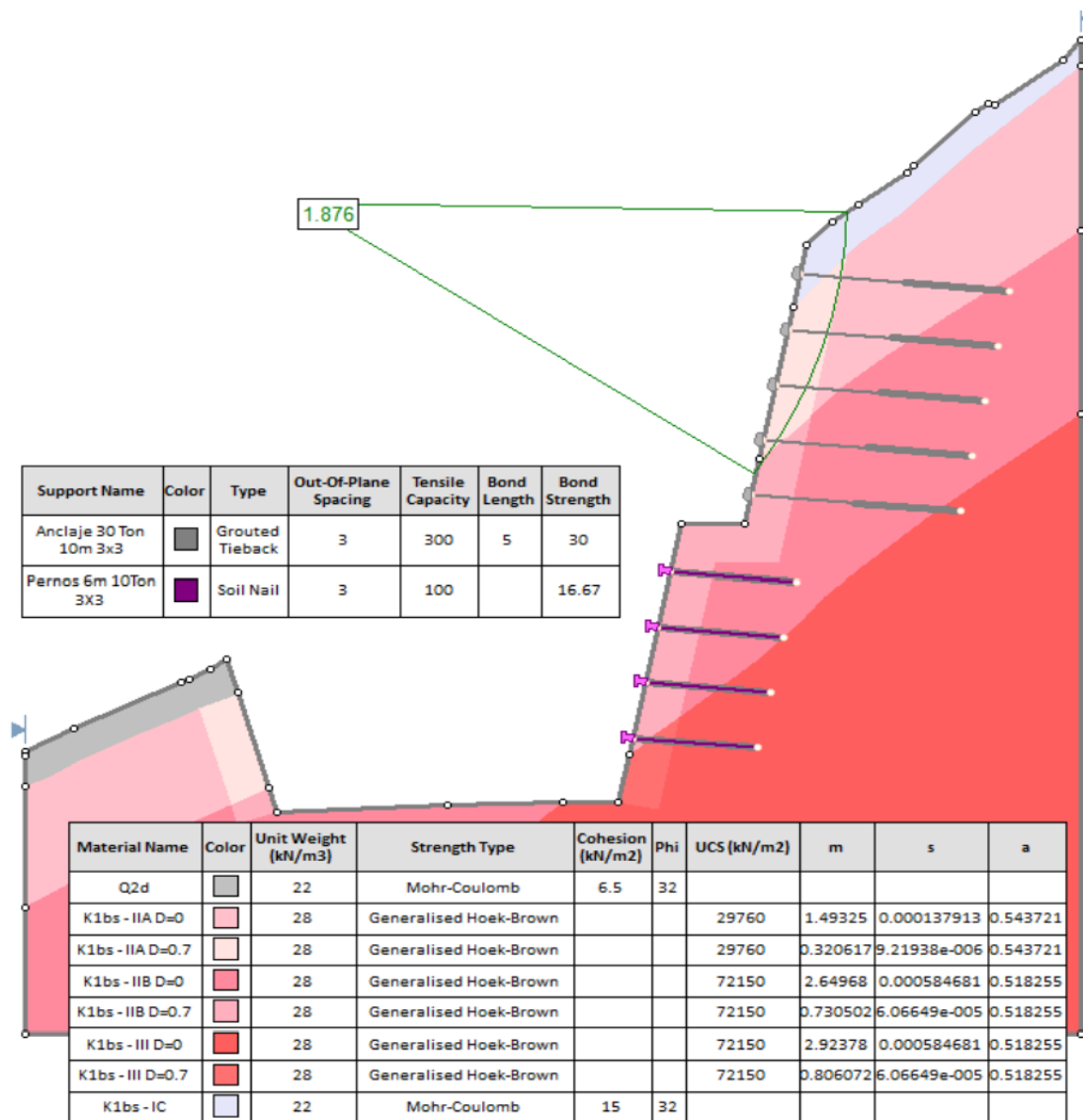


Ilustración 28 F.S estático Portal entrada túnel 2 Fuente (Condor, Marzo 2022)

Es ideal, una vez se tenga el barrenado terminado, tener listo el anclaje para ser introducido y evitar posibles colapsos internos. Posterior a esto, se puede iniciar el proceso de llenado con lechada cementante de manera tal que se perciba en superficie un lleno relativo del barrenado (Ilustración 29). Se debe esperar al menos 7 días en los que la lechada ha logrado alcanzar el 80% de su resistencia y está anclado al macizo para posteriormente generar la inyección a presión (8 a 10 bares solo para anclajes activos).

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

A pesar de que los anclajes pasivos no trabajan a tensión, en los pernos es ideal generar una tensión de prueba del 10 % de ellos a una carga que dependerá de su longitud una vez fragua la lechada con la intención de medir su resistencia, Por otro lado los anclajes activos son probados durante la tensión de operación de los mismos y es por eso que es una actividad de mucho cuidado y control. Mientras se endurece la lechada es pertinente realizar el proceso de construcción del dado a partir de la instalación de la formaleta y fundición del mismo (Ilustración 30).

Nota: el anclaje debe sobre salir de la superficie aproximadamente 1.5 metros para lograr tener distancia suficiente para tensionamiento una vez se construya el dado.



Ilustración 29, Inyección de anclajes pasivos. Fuente: elaboración propia

Se debe esperar 8 días para que el concreto del dado alcance la resistencia óptima para el tensionamiento del anclaje. El proceso de tensionamiento debe realizarse de manera progresiva tomando lectura de las elongaciones obtenidas en diferentes cargas de tracción hasta obtener la carga de diseño. Para evitar que el concreto sufra daños por la carga de tensionamiento se implementa una platina de acero que hace contacto con el concreto y la caperuza (Ilustración 31).

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri



Ilustración 30, Construcción de dado. Fuente: elaboración propia



Ilustración 31, Dado terminado. Fuente: elaboración propia

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

Los dados se deben construir a lo largo y ancho del banco hasta una altura de la berma no inferior a 1.5 metros. Una vez se tenga construido el dado se procede a realizar la otra fila de anclajes y se repite de forma periódica el mismo proceso.

Problemáticas comunes durante el proceso constructivo

- A la hora de generar los cortes y excavaciones en el talud se debe se debe generar todos los sistemas de acceso de maquinaria y control de material a excavar.
- Colapso interno del barreno antes de ingresar el anclaje.
- Consumo excesivo de lechada para el llenado del anclaje.
- Deslizamiento de zonas donde no se ha llevado a cabo el tensionamiento del dado.
- Derrumbes durante el proceso de corte y excavación.
- Deterioro y falla de sistemas de lanzado de concreto por retrasos en obra.
- Falla de equipos y maquinaria.

RESULTADOS

- Fue posible obtener un avance en los sistemas de estabilización en los diferentes frentes de obra respetando las especificaciones establecidas en los planos interiorizando el proceso constructivo y su base teórica.
- Se logró tener un avance del 95% en el portal entrada túnel 2 dando vía libre a las obras iniciales para la construcción del Túnel.
- La calificación en el desempeño de cargo de inspector presentó una respuesta muy favorable por parte del director.
- En el portal entrada de túnel 2 se llevaron a cabo varias modificaciones en obra en los sistemas de estabilización dado el cambio de la estratigrafía y perfiles del terreno.
- Se obtuvo una avanzada comprensión de los sistemas de estabilización por medio de anclajes pasivos y activos.

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

CONCLUSIONES

- Los anclajes son sistemas de estabilización efectivos que deben ser dimensionados según las demandas y condiciones de la zona.
- Es indispensable tener claridad sobre la teoría de suelos y resistencia al corte para el dimensionamiento de anclajes.
- El cargo de inspector es fundamental para garantizar la técnica en la ejecución de procesos constructivos en obra.
- Fue posible establecer un vínculo amigable entre el mundo laboral y académica durante el periodo de práctica.

REFERENCIAS

- [1] Aburto, A. (2011). Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado .
- [2] Condor. (Marzo 2022). *Informe Portal Entrada Túnel 2*.
- [3] CONTRERAS, M. G. (2014). TÉCNICAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE. UNAM.
- [4] Daniel Morales Soler. (Marzo 2021). Construcciones El Cóndor gana licitación de Invías para construir obras del Túnel del Toyo. *La Republica*.
- [5] Eduardo Rojas, G. G. (2013). Estimación de esfuerzos efectivos a partir del parámetro χ de Bishop en una arena limosa.
- [6] Guzmán, D. (2018). Uso de la teoría de Mohr-Coulomb para explicar el mejoramiento de suelos mediante el proceso de.
- [7] INVIAS. (Febrero 2022). inició obras en las vías de acceso al túnel Guillermo Gaviria Echeverri y firmó la orden de inicio del contrato de equipos electromecánicos. *INVÍAS*.
- [8] *NSR-10 título H*. (2010).
- [9] REPRESENTACIÓN DEL ESTADO TENSIONAL DE UN SÓLIDO. (s.f.).

Inspección técnica de los cielos abiertos y construcción de anclajes pasivos y activos en el proyecto Obras de Acceso al Túnel Guillermo Gaviria Echeverri

- TOXEMENT. (2020). INYECCIÓN DE PERNOS PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES.