
PROYECTOS DE INGENIERÍA Y DESARROLLOS



**CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA CALZADA EN EL SECTOR CHIRAJARA –
FUNDADORES, UBICADA EN LOS PR62+965 Y EL PR 85+600, Y ADMINISTRACION,
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA BOGOTÁ –
VILLAVICENCIO**

CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS

ANEXO 1 APENDICE TÉCNICO 9 – PLAN DE OBRAS

Versión 0

Bogotá

29/12/2014

CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS**ANEXO 1 APÉNDICE TÉCNICO 9 – PLAN DE OBRAS**

CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA CALZADA EN EL SECTOR CHIRAJARÁ –
FUNDADORES, UBICADA EN LOS PR62+965 Y EL PR 85+600, Y ADMINISTRACION,
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ASPECTOS QUE REVISTEN CONDICIONES DE RIESGO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES	5
3. PRESENCIA DE PERSONAL TECNICO DE LA INTERVENTORIA EN OBRA	8
4. PRESENCIA DE OTROS ESPECIALISTAS	9
5. REUNIONES DE RIESGO GEOLÓGICO	10
6. CERTIFICACIONES DE CANTIDADES DE OBRA.....	11
7. ACTIVIDADES A CONTROLAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES Y LAS CAUSAS QUE GENERAN SU VARIACIÓN.	12
8. ACTIVIDADES DE SUPERVISIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE TUNELES ...	14
9. CONCLUSIONES	16

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento proporciona unas recomendaciones basadas en los documentos de la I.T.A. elaborados por el ITA Working Group 19 Conventional Tunelling acerca de la forma como se debe realizar el control en la construcción convencional de túneles por parte de la Interventoría de la ANI para las actividades de Riesgo Geológico: Excavación, Presoporte y Revestimiento.

El documento, igualmente, describe los aspectos que revisten condiciones de riesgos y generan disminución en rendimientos, y aumentos en plazos y cantidades.

Así mismo identifica las actividades (ítems) que requieren especial control en la construcción convencional de túneles, así como las causas que pueden generar variación en cantidades o en tiempos de ejecución.

Adicionalmente incluye las principales actividades que deben desarrollar las partes involucradas para realizar el adecuado control de la ejecución de los túneles y la adopción oportuna de decisiones que permitan garantizar la estabilidad del túnel, la seguridad de los trabajadores en tiempo real y la continuidad de las obras.

Con el procedimiento que se describe a continuación se busca evitar disputas y prolongadas discusiones sin definiciones oportunas, entre las partes, mediante la inclusión de reglas claras en el texto del contrato y como se mencionó, la toma de decisiones concertadas de conformidad con las especificaciones, regulaciones de construcción y los diseños, teniendo en cuenta el comportamiento y condiciones reales del terreno encontradas durante la excavación.

2. ASPECTOS QUE REVISTEN CONDICIONES DE RIESGO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES

Durante la construcción de túneles se pueden presentar condiciones diferentes a las establecidas en los estudios y diseños, lo cual puede originar cambios en las cantidades de obra estimadas, ajustes en los sistemas constructivos y , por consiguiente, variación de los costos estimados.

La construcción convencional de túneles es el proceso cíclico de construcción por pasos repetidos de excavación mediante perforación y voladura o mediante el empleo de excavadoras mecánicas (excepto TBM), seguido de la aplicación de soporte primario y del revestimiento.

De igual forma, la construcción convencional de túneles puede ejecutarse mediante la excavación total o parcial de la sección, de acuerdo a las condiciones geológicas geotécnicas de los terrenos realmente encontrados, y las condiciones de modelación de diseño establecidas para cada uno de ellos..

Para lo anterior, se deberá tener en cuenta el diseño detallado basado en la modelación del diseñador y las condiciones reales encontradas durante la construcción y verificadas día a día de manera permanente en el frente de excavación (método observacional).

De esta manera, se podrá hacer un estricto control y seguimiento a las diferentes situaciones de riesgo durante la etapa de construcción, entre otros, a:

- Desprendimientos de rocas por efecto de cuñas
- Flujos de materiales
- Interceptación de bolsas de agua
- Emisión de gases
- Variación del tipo de roca encontrado respecto al esperado de conformidad con los reportes de los geólogos de la Interventoría, Constructor y de la Auditoría Técnica, los cuales deberán quedar firmados por las partes.
- Variación del comportamiento de la roca por causa del desconfinamiento y/o la presencia de agua.
- Cerramiento de la sección por presiones mayores a las estimadas originalmente

- Nuevas fallas o mayores longitudes de fallas a las determinadas en los diseños

Estos riesgos, todos asociados a la geología y el comportamiento geotécnico de los macizos que se están excavando en la zona donde se ubica el proyecto, entre otros pueden producir:

- Mayores volúmenes de concreto u otros materiales especiales para llenar los espacios generados por la caída de roca que se desprenden del macizo al momento de la excavación por el efecto cuña.
- Sistemas de soporte previstos pero cuya definición y cantidad solamente puede establecerse en obra en el momento de efectuar la excavación, consistentes en techos falsos (lamina), perfiles de acero, pernos e inyecciones de consolidación, amortiguadores para empujes y demás requeridos para controlar el flujo de materiales finos mezclados con agua y estabilizar el suelo circundante de la excavación y/o en el frente para permitir un avance de excavación seguro y eficiente.
- Sistemas de ventilación adicionales, suspensiones temporales de trabajos, tiempos muertos no previstos, incrementos en los monitoreos para evacuar posibles gases tóxicos generados por algunos tipos de rocas, equipos especiales para condiciones de grandes flujos o movimientos encontrados durante el proceso de excavación
- Variación en las cantidades de obras necesarias para el sostenimiento estructural de la excavación subterránea.

En el caso del presente proyecto, se realizó una exploración geotécnica mediante perforaciones con recuperación de núcleos en forma vertical y sub horizontal; sin embargo, estas perforaciones que son investigativas y que permiten recuperación de muestras de 0.0019 m² para NQ y de 0.00407 m² para HQ, ayudan a tener una aproximación de las características del terreno donde se va a emplazar el túnel, más no permite garantizar una certeza absoluta del tipo de material y sus condiciones particulares (fracturas, meteorización, humedad, entre otros) que se va a encontrar en el momento de la excavación de la sección total del túnel que es en promedio de 100.00 m², y de las actividades requeridas para la excavación, presoposte y revestimiento, teniendo en cuenta que en la zona en la cual se ubica el proyecto, los macizos son muy heterogéneos tal como se ha comprobado en la excavación de los túneles del tercio medio y los anteriormente

excavados como Buenavista y Boquerón, en los que se han encontrado en una misma sección transversal diferentes tipos de terreno entre el hastial derecho y el izquierdo.

Este factor corrobora lo establecido en los diseños en el que se contempla la alta variabilidad de los materiales presentes en formaciones rocosas sedimentarias, lo que hace prácticamente imposible la estimación exacta de los tipos de roca, los cuales solamente se conocerán a medida que se avance la excavación del túnel (Ver Anexo 1 – Planos geológicos del Proyecto).

A medida que varía el tipo de roca de I a VA, Terraza, Terraza Drenante o Zona de Falla, aumenta o disminuye la cantidad de los elementos de soporte requerido (malla, concreto, arcos, etc.), razón por la cual, es inevitable la variación entre los elementos de presoporte estimados y los que realmente se requieren, situación que puede causar en estos casos, menores rendimientos y mayores consumos en la ejecución de la obra.

Es importante entender, entonces, que el riesgo de una obra subterránea como lo es la construcción de túneles está asociado a los factores indicados arriba.

3. PRESENCIA DE PERSONAL TECNICO DE LA INTERVENTORIA EN OBRA

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores la Interventoría deberá contar en obra - en forma permanente- con un Geólogo y un geotecnista para verificar conjuntamente con el Constructor las condiciones de cada uno de los frentes de excavación de los túneles, antes y después de cada ciclo, hacer en forma conjunta la clasificación del terreno, teniendo en cuenta las muestras de los barrenos de frente, y las condiciones de frontón y de los hastiales, las cuales deben ser debidamente registradas en los formatos respectivos y refrendadas por todas las partes intervinientes. Se debe registrar mediante utilización del programa Ship Matrix o similar el frente de excavación luego del ciclo y esta información se deberá procesar en oficina para tener el registro tridimensional de las condiciones de los terrenos a todo lo largo de cada uno de los túneles. La interventoría y el constructor deberán adoptar medidas inmediatas conducentes a garantizar la estabilidad de la excavación y evitar que se presenten caídos, desprendimientos, flujos, cierres etc. así como la paralización de las obras.

4. PRESENCIA DE OTROS ESPECIALISTAS

La Interventoría de Construcción deberá contar en obra como mínimo, con un especialista en túneles con disponibilidad 24 horas durante todo el tiempo que dure su construcción, para que con los especialistas asesores del Concesionario y los del Constructor, pueda analizar, evaluar y acordar medidas en forma conjunta, que permitan, garantizar la estabilidad de la excavación de los túneles. De igual manera el especialista de túneles de la Interventoría deberá analizar y dar el concepto técnico a las modificaciones que presente el concesionario con sus respectivos soportes, en plazos cortos.

5. REUNIONES DE RIESGO GEOLÓGICO

Se deben reunir máximo cada 15 días o cuando alguna de las partes lo considere necesario, el Geólogo, el Geotecnista y el Especialista de túneles, tanto de la interventoría como del Constructor junto con los especialistas de la auditoría de calidad del concesionario, para analizar la información tomada en los distintos frentes de excavación de los túneles, revisar el comportamiento de las convergencias, de los sucesos que se hayan reportado en los túneles y recomendar los ajustes a los sistemas de excavación y presoporte que se estén utilizando.

Estas reuniones podrán mantenerse abiertas permanentemente dependiendo de la dificultad que se llegare a presentar.

6. CERTIFICACIONES DE CANTIDADES DE OBRA

La Interventoría certificará las cantidades de obra mensualmente ejecutadas, y presentadas por el Constructor, ejecutadas de acuerdo con las especificaciones respectivas, en un término no mayor a 7 días calendarios de su presentación por el Concesionario, la cual se basará en los reportes diarios de clasificación y de elementos colocados debidamente registrados por las partes.

7. ACTIVIDADES A CONTROLAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES Y LAS CAUSAS QUE GENERAN SU VARIACIÓN.

A continuación se describen las principales causas que pueden generar variación en las cantidades de obra estimadas y en los rendimientos para las actividades de excavación, presoporte y drenaje de riesgo geológico:

- **Excavación Subterránea:** A medida que disminuye la calidad de la roca, aumenta el tamaño de la sección transversal de excavación, debido a las mayores tolerancias requeridas en el proceso de excavación por la mayor deformación que presentará el terreno y el mayor número de elementos y espesor de concreto neumático requerido para el presoporte.
- **Bombeo de aguas de infiltración:** El agua de infiltración se ha determinado con estudios hidrogeológicos, pero la predicción realizada por el estudio no puede determinar la existencia de bolsas de agua dentro del macizo rocoso que sumadas a las condiciones de la roca pueden producir volúmenes de agua superiores a los inicialmente estimados durante la etapa de diseño.
- **Extracción y transporte de derrumbes:** En los terrenos tipos I, II y III pueden presentarse “caídos” que consisten en el desprendimiento de cuñas de roca y en los terrenos tipos IV, V y VA pueden presentarse flujos de roca triturada, meteorizada o degradada por estar saturada y en el peor de los casos, suelo (terreno tipo VA o Zona de Falla). Estos flujos de material pueden llenar nuevamente tramos ya excavados del túnel.
- **Sistema de Soporte Estructural:** Los terrenos se clasifican por las propiedades del macizo rocoso, midiendo los parámetros definidos en el sistema de clasificación establecido en los diseños. Sin embargo aún después de instalar los pernos, los arcos de acero, las cerchas metálicas, la malla electrosoldada y el concreto neumático, los drenes e inyecciones en algunos casos, para cada tipo de terreno clasificado, se pueden registrar deformaciones demasiado altas, que requerirán la instalación de elementos de soporte adicional a los recomendados por el diseño. Esta situación puede asociarse a condiciones de saturación del macizo rocoso o a variación en las propiedades de la roca por su origen sedimentario, fallas, altas coberturas, etc.
- **Listones de avance (enfilajes) y atices:** En el caso de excavar terrenos de mala condición se requiere la instalación de tuberías de 3 a 12m de longitud, en la parte

alta de las sección excavada, las cuales se llenan con concreto y de ser necesario, se realizan inyecciones de consolidación utilizando esta tubería (perforada), con lo cual se genera un techo que proteja la zona que se está excavando. Estas protecciones se definen durante la construcción en función de la calidad de roca encontrada. En algunos casos se puede requerir su colocación en zona de los hastiales.

- Inyecciones con lechada de cemento o llenado con concreto: En el caso de presentarse caídos de cuñas de roca o flujos de roca blanda, el terreno que ha dejado una cárcava debe llenarse con concreto, u otro material de condiciones especiales dependiendo de la magnitud de la cárcava para garantizar que la sección de concreto del túnel estará en contacto permanente con el terreno.
- Espesores de Revestimiento: en la medida que exista sobre excavación producto de variaciones no esperadas en el Tipo de Terreno, el espesor del revestimiento aumenta, por lo que las cantidades de concreto y acero son mayores y se ven reflejadas en el valor final del revestimiento definitivo.

8. ACTIVIDADES DE SUPERVISIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE TUNELES

Las actividades de excavación, presORTE y revestimiento deben ser evaluadas en forma permanente (en todo el momento de excavación del túnel) conjuntamente por los geólogos, especialistas geotécnicos y de túneles, Directores tanto del Constructor como de la Auditoria del Concesionario (si existe), y de la Supervisión de la ANI y/o quien haga sus veces (la Interventoría), como responsable de la supervisión de los trabajos, tal y como se estableció en los numerales 3, 4 y 5 el presente documento

Con la supervisión permanente en el frente del túnel se logra:

- Ajustar en tiempo real el método de excavación, la longitud de avance de excavación y el diseño del presORTE conforme al material encontrado.
- Verificar los desplazamientos sufridos en el presORTE, corroborar la presencia de grietas o fisuras en la superficie del concreto lanzado y mediante el análisis de los resultados de convergencia (instrumentación geotécnica), evaluar la estabilidad de la excavación, para optimizar el proceso constructivo y los elementos de soporte a utilizar.

El método observacional requiere como herramienta el programa de monitoreo sistemático y frecuente (instrumentación geotécnica por convergencias), que incluye observaciones permanentes en campo e interpretación en tiempo real en la ejecución de la excavación.

Estas actuaciones tienen que ser continuas tanto por el Constructor/Auditor, ANI/Interventoría, con el fin de realizar reuniones técnicas que permitan analizar de manera conjunta la información y tomar decisiones en tiempo real como se definió en los numerales anteriores.

El programa de monitoreo e instrumentación, y la interpretación de las lecturas de convergencia, observaciones en campo y corroboración del frente de excavación, permiten lograr capturar el rango de desplazamientos admisibles. La función principal del programa será validar en conjunto la efectividad de la excavación y los elementos de soporte, y a su vez permitirá la continua actualización del modelo geológico.

En resumen, para la supervisión de la construcción de túneles, se deberá como mínimo:

-
- Contar con los profesionales idóneos en forma permanente en los frentes de excavación de túneles, según los ciclos de construcción previstos, teniendo en cuenta lo dispuesto en el Plan de Obras que presente el Concesionario, como parte de lo solicitado en el Apéndice Técnico 9 y la disponibilidad total de los Directores, Especialistas y asesores, tanto del Constructor-Auditor (Concesionario), como de la ANI-Interventor, para reunirse en forma inmediata ante cualquier situación que se presente en la construcción del túnel.

Procedimiento:

- 1) La Interventoría, el Concesionario (Auditoría Técnica) y el contratista deberán llevar un registro en tiempo real donde se consigne la clasificación del tipo de terreno y sus condiciones particulares (Registro geológico-geotécnico de avance de excavación), día a día y para cada ciclo de excavación para establecer la clasificación del terreno y tomar decisiones en el momento de definir la ejecución de las actividades de excavación y presORTE.
- 2) Obtenido este registro geológico-geotécnico en el frente de excavación, inmediatamente se convocará a un comité técnico de túneles contando con la asistencia de los Directores, Especialistas (asesores) y geólogos, tanto del Constructor-Auditor (Concesionario), como de la ANI-Interventor. Si la Interventoría no está presente, el Concesionario, definirá el avance de excavación y soporte y continuará con la ejecución de la obra, en un todo.
- 3) En caso que no haya acuerdo entre el Concesionario y el Interventor, en la definición del tipo de terreno o en el soporte a colocar, el primero continuará con la ejecución de las actividades, y elaborará un informe en donde expondrá y justificará su posición, el cual debe ser revisado por el representante de la ANI en la obra.
- 4) En el evento de continuar la controversia, luego de estudiado el informe por la Entidad Contratante y/o su representante, el asunto se someterá al procedimiento de solución de controversias previsto en el Contrato Parte General.
- 5) Finalmente se deben registrar las cantidades reales ejecutadas de los ítems de riesgo geológico realmente ejecutados en la medida que avanza la excavación. Esto se realizará a través de formatos creados para tal fin y suscrito entre las partes (Concesionario e Interventoría).

9. CONCLUSIONES

- La presencia permanente, en el sitio de los trabajos, de especialistas tanto de la Entidad contratante del Proyecto por intermedio de la interventoría como de los expertos de Constructor y la auditoría del concesionario son necesarios e indispensables para definir de manera oportuna y conjunta las longitudes de avance en la excavación, el tipo y la cantidad de medidas de soporte a usarse.
- La experiencia internacional indica que una interacción integral y oportuna de las partes involucradas, disminuye sensiblemente las disputas y disensos que podrían afectar la normal ejecución de las obras.