



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Nuñez Jiménez”
FACULTAD DE MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Jesis en opción al título de Ingeniero en Minas

Propuesta de la colocación de un Paraguas en el
emboquille del túnel Rio la Ceiba Tramo III-A del
Trasvase Este - Oeste.

Autora: Rosana Ramírez Torres

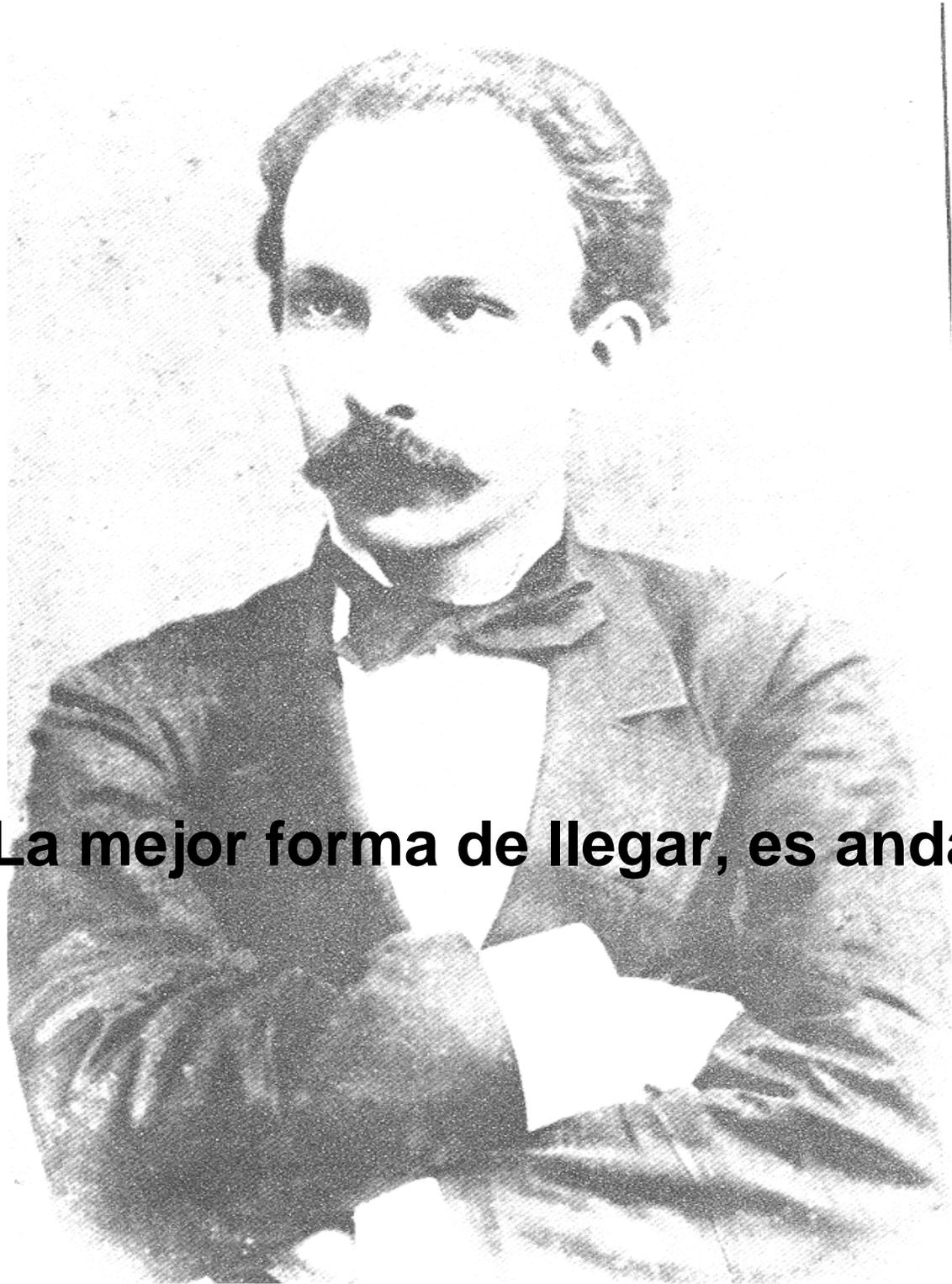
Tutores: Dra. C. Maday Cartaya Pire

Dr. C. Rafael Noa Monjes

**“Año 55 de la Revolución”
Julio – 2013**



PENSAMIENTO



La mejor forma de llegar, es andar



DEDICATORIA

El resultado de este trabajo se lo dedico a todas aquellas personas que confiaron en mí y me dieron mucho apoyo para seguir adelante en los momentos más difíciles.

- ✓ En especial a mi madre Caridad Torres López y a mi padre Verónico Ramírez Segura por su sacrificio incondicional, sin ellos no hubiese sido posible terminar mi carrera.
- ✓ A mi querido hijo Ricardito como cariñosamente le llamo, éste trabajo quiero que lo tome como ejemplo para su superación profesional.
- ✓ A mi gigantesca familia y principalmente a mis 7 hermanos.



AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo lleva implícito una serie de gratos esfuerzos y apoyos de no ser así no hubiese sido posible realizarlo. De esta forma agradezco:

- ✓ A mi madre Caridad Torres López que antes sus problemas de salud puso toda su entrega al cuidado de mi hijo para que yo me superara.
- ✓ A mi padre Verónico Ramírez Segura que siempre me tomó de la mano guiándome por el camino correcto de la vida.
- ✓ A mi hijo Ricardo Macdonal Ramírez que sin él saberlo me ayudó siendo un niño obediente.
- ✓ A mi pareja y amigo Yurisdell Velázquez La O que en todas las circunstancias que me enfrentado ha estado ahí, apoyándome con sus conocimientos sin límites de horario.
- ✓ A mis compañeros de estudio y en especial a dos que sinceramente le debo mucho a Odalis Rodríguez Ricardo y Yurainis Nápoles Zapata.
- ✓ Al colectivo de trabajadores de la Empresa por no tener limitaciones en el momento de colaborar con mi investigación: Yordan, Andrianis, Ramiro, Jorge Proenza, Caliz, Cebrero y al Coronel Rivero.
- ✓ A Marivi que a pesar de no conocerla hizo de mi trabajo el suyo brindándome toda la documentación que necesitaba.
- ✓ A Julio Montero Matos y familia, mis más sinceros agradecimiento, por acogerme en su casa mientras estudiaba.
- ✓ A mi amiga Yaislin por ofrecerme lo que estaba a su alcance.
- ✓ A mis tutores Noa y Maday por dedicarle parte de su ocupado tiempo a mi trabajo.
- ✓ A esta Revolución, a la que debo lo que soy hoy.
- ✓ A la memoria de Miguel Padilla que aunque no esté físicamente lo recuerdo por haber sido un hombre sacrificado, preocupado y ante todo amigo.



INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: ESTADO ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA	4
I.1 - Marco Teórico Conceptual.....	4
I.2 - Estado actual de la temática.....	6
CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS INGENIERO - GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
II.1 – Litología.....	18
II.2 – Tectónica.....	22
II.3 – Sismicidad.....	23
II.4 - Evaluación del Agrietamiento.....	24
II.5 - Evaluación de la Estabilidad.....	25
II.6 – Hidrogeología.....	27
CAPITULO III: PROPUESTAS DEL SISTEMA DE EMBOQUILLE PARA EL TRAMO III – A	29
III.1 - Procedimiento que se lleva a cabo en el Traspase Este - Oeste Melones – sabanilla para la ejecución del emboquille.....	29
III.2 - Propuesta para la construcción de los taludes laterales y frontal y aplicación del Paraguas en el emboquille del túnel Rio la Ceiba, Tramo III – A..	33
III.3 - Construcción del zuncho de hormigón.....	49



CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONOMICO E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL...	52
IV.1 - Análisis Económico.....	52
IV.2 - Impacto medioambiental.....	60
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	



RESUMEN

El propósito de esta investigación es proponer un sistema de estabilización del talud frontal en el emboquille del túnel Rio la Ceiba, Tramo III-A del Traspase Este – Oeste. Para validar la propuesta se evaluó el procedimiento de construcción actual del emboquille en todos los túneles del traspase, se estudió las características ingeniero – geológicas del área de estudio para determinar el índice de calidad del macizo. Se comprobó que las medidas de estabilización que se aplican en los emboquilles sí garantizan la estabilidad de la clave del túnel por sus características constructivas, pero no responde antes los posibles deslizamientos del talud y es ahí donde los problemas de estabilidad son frecuentes; el macizo rocoso es el más superficial, y por tanto el más alterado y meteorizado. Por lo que la colocación del “Paraguas” sostiene el terreno existente por encima del emboquille, minimiza las deformaciones del mismo, permite laborear en condiciones de mayor seguridad y proporciona un aumento de propiedades de resistencia y deformidad al terreno, es una práctica aplicada mundialmente y se recomienda cuando la calidad del macizo no es muy buena como es el caso que nos ocupa. En el presente trabajo además se realiza una valoración económica y se exponen medidas medioambientales para la aplicación de la propuesta realizada.



ABSTRACT

The intention of this investigation is to propose a system of stabilization of the frontal slope in emboquille of the Rio tunnel the Ceiba, III-A Section of the Tránsito Este - West. In order to validate the proposal the procedure of present construction of emboquille in all the tunnels was evaluated of trasvase, studied the characteristics engineer - geologic of the study area to determine the index of quality of the bulk. It was verified that the stabilization measures that are applied yes in emboquilles guarantee the stability of the key of the tunnel by their constructive characteristics, but before does not respond the possible slidings of the slope and is there where the stability problems are frequent; the rocky bulk is most superficial, and therefore the most altered and meteorizado. Reason why the positioning of the "Umbrella" maintains the existing land over emboquille, diminishes the deformations of the same one, allows to reeve in conditions of greater security and provides an increase of resistance properties and deformity to the land, is a applied practice world-wide and it is recommended when the quality of the bulk is not very good as it is the case that occupies to us. In the present work in addition an economic valuation is made and environmental measures for the application of the made proposal are exposed.



INTRODUCCIÓN

La economía de la nación cubana recibe los impactos de las crisis medio ambiental y económica que atraviesa el mundo, a pesar de ello el país toma medidas para alcanzar la invulnerabilidad en esta dimensión y planifica acciones que le permitan minimizar el impacto de dicha crisis.

En estos momentos se llevan a cabo numerosas inversiones en varias esferas, tales como: la salud, la educación, el deporte, la vivienda, el turismo, la industria minera del níquel, las obras hidrotécnicas, el transporte, entre otros campos.

Para ello, en el año 2005 se reinicia una de las obras de ingeniería más importantes comenzadas en el siglo XX, el Traspase Este-Oeste que en su proyección concibe la construcción de canales, presas, puentes y túneles.

En el caso de los túneles uno de los aspectos más importantes es el proceso constructivo. En estas obras donde más riesgos e incertidumbres pueden hallarse. Así, quizás sea sólo en esta parcela de la ingeniería en donde pueden encontrarse bastantes ejemplos de obras abandonadas por la complejidad de su construcción.

Al conocer que los túneles constituyen quizás las obras más complicadas de la ingeniería, no es aventurado afirmar que, de todas las partes que lo constituyen, el emboquille es una de las etapas más complicada y singular, tanto porque se trata de la zona con menor columna de roca, como porque en él el macizo rocoso suele ser el de peor calidad por su grado de meteorización.

Es por ello que esta investigación se centra esencialmente en la propuesta para la colocación del “Paraguas” en el emboquille del Túnel Rio la Ceiba Tramo III – A del Traspase Este – Oeste, que permita garantizar la estabilidad del talud frontal. Este túnel está ubicado entre la presa Levisa y la Presa Mayarí, en la provincia de Holguín, y forma parte de un proyecto que se extiende hasta Camagüey.



Algunos autores se dan la tarea de proponer metodologías para llegar al diseño y construcción de emboquilles, principalmente los investigadores españoles, ellos deducen la imposibilidad de intentar contar con un tratado sobre como emboquillar. Cada emboquille del túnel representa un caso particular, difícilmente extrapolable a otra situación o incluso a otro emboquille de la misma obra.

La fortificación que se emplea para emboquillar actualmente en los túneles del trasvase sí garantizan la estabilidad de la clave del túnel por sus características constructivas, pero no responde ante los posibles deslizamientos del talud frontal, ya que las medidas de estabilización que se aplican actualmente solo evitan la erosión de las rocas y no el movimiento de la masa de terreno del talud frontal.

Por lo anterior expuesto el **Problema científico** que se pretende resolver con esta investigación es la necesidad de garantizar la estabilidad de las rocas del talud frontal mediante la colocación del “Paraguas” en el emboquille del túnel Río la Ceiba.

Objeto de estudio

El Emboquille

Campo de acción

Túnel Tramo III – A, Río la Ceiba del Traspase Este - Oeste

Hipótesis

Si se realiza el emboquille con la colocación del “Paraguas” es posible garantizar la estabilidad de las rocas del talud frontal del túnel Río La Ceiba del Traspase Este – Oeste e iniciar la construcción del mismo con la seguridad requerida y menores gastos de recursos materiales.



Objetivo general

Proponer la colocación del “Paraguas” en el emboquille del Túnel Tramo III – A, Rio la Ceiba del Traslase Este – Oeste que permita garantizar la estabilidad del talud frontal.

Objetivos específicos

1. Estudio de las condiciones ingeniero – geológicas.
2. Análisis del método de emboquille que se aplica actualmente en las obras del Traslase.
3. Realizar la propuesta de colocación del “Paraguas en el emboquille.
4. Selección del equipamiento para el emboquille.
5. Realizar el cálculo económico y evaluar el impacto ambiental.



CAPITULO I: ESTADO ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

I.1 - Marco Teórico Conceptual

Ortuño. L, 1998 (Ingeo Túnel 1) plantea el emboquille de un túnel consiste, en su aceptación general en excavar en una ladera hasta obtener un talud más o menos vertical para iniciar la ejecución del túnel. El talud o frente se conoce como talud frontal y los taludes situados a ambos lados de éste de denominan laterales. Básicamente un emboquille plantea dos problemas, por un lado, es necesario analizar la estabilidad de los taludes a ejecutar para penetrar suficientemente en la ladera y comenzar a excavar el túnel con seguridad, por otro lado, es necesario resolver la construcción del túnel en sus primeras fases. Ambos problemas se plantean en las condiciones más desfavorables y difíciles por los motivos antes apuntados: escasez de recubrimiento y baja calidad del terreno. Dicho así, es fácil deducir la imposibilidad de intentar contar con un tratado sobre cómo emboquillar. Cada emboquille en cada túnel representa un caso particular, difícilmente extrapolable a otra situación o incluso a otro emboquille de la misma obra.

También expresa como principales condicionantes de ellos están que se sitúan habitualmente tan cerca de la superficie de la ladera como sea posible con el fin de reducir los taludes de excavación, por ello, el macizo rocoso es también el más superficial, y por lo tanto el más alterado y meteorizado, la excavación del túnel puede afectar directamente a la estabilidad de los taludes, suelen ser lo primero que se ejecuta en la obra, de manera que posiblemente los técnicos y demás personal aún no tienen tiempo para adaptarse al trabajo en equipo. Por otra parte, tampoco se ha ganado experiencia alguna sobre lo que cabe esperar del comportamiento del terreno, por ultimo, históricamente los emboquilles resultan problemáticos y a menudo se producen fallos debidos tanto a deficiencias del proyecto como a una errónea selección del sistema constructivo. Afortunadamente suponen una parte muy pequeña de la obra, de manera que se puede ser conservador y actuar del lado de la seguridad, sin que en general suponga un incremento global de costo significativo.



Desde el punto de vista del diseño, la ubicación de las boquillas depende de dos factores fundamentales. El primero es de carácter geométrico y contempla la topografía de la ladera, el ángulo de incidencia de la traza del túnel sobre la misma y otros aspectos relacionados, el segundo deriva de las condiciones geológicas e hidrogeológicas existentes (tipo de material, estructura del macizo, grado de meteorización, características geomecánicas, presencia y afluencia de agua, etc.)

Además Ortuño. L, 1998 (Ingeo Túnel 1) explica que para comenzar la excavación del túnel verdadero es deseable que exista un recubrimiento suficiente por encima de su clave de manera que se pueda desarrollar un arco autoportante de terreno. Lógicamente la altura de la columna de roca mínima dependerá en cada caso del tipo de terreno, de sus características geomecánicas y demás factores geotécnicos. Como quiera que lo más probable es que el macizo en la zona del emboquille sea el más alterado, es habitualmente recomendable contar con un recubrimiento mínimo de al menos 2 diámetros por encima de la clave.

Según U.S. Corps of Engineers, 1978 (Ingeo Túnel 1) en zonas de roca suficientemente sana, es posible reducir esta montera hasta un diámetro.

El autor González de Vallejo 1995 (Ingeo Túnel 1) declara que con las premisas anteriores, si se supone un diámetro de túnel de unos 8 m, los taludes de desmonte de los emboquilles podrán alcanzar unos 24 m, siendo éste un valor razonable en la mayoría de los casos, si bien en ocasiones pueden alcanzarse alturas del orden de 40 m o más.

Celada. B, 2002 (Ingeo Túnel 5) plantea que el emboquille de un túnel va a constituir, durante la explotación, la entrada al túnel y, desde ese punto de vista, lo primero que hay que exigirle que inspire confianza a los usuarios.

En el Manual de Túneles 1996, se expone que en el estudio del emboquille de un túnel existen dos aspectos que se deben considerar. Por un lado, durante la ejecución de la obra, las bocas están siempre en el camino crítico, ya que son el



paso previo necesario para comenzar la excavación del túnel. Una correcta y rápida ejecución de todas las labores de emboquille, permite comenzar el túnel en un plazo corto y con seguridad. En la fase de explotación, la boca del túnel es realmente la única parte de éste que es visible a lo lejos desde el exterior, por lo que es conveniente procurar que estéticamente sea agradable y que encaje dentro del entorno general. Con este objetivo, en los emboquilles de los túneles suelen construirse unas estructuras, falsos túneles, que sirven de prolongación de éstos hacia el exterior, con una finalidad principalmente estética aunque a veces funcional, cuando por ejemplo el talud frontal del túnel resulta inestable y pudiera caer material a la plataforma.

Este Manual también plantea que aparte de estos aspectos, existe otro que mezcla componentes económicos, técnicos y también estéticos, durante la fase de proyecto del túnel. Este aspecto es la posición que ocupa el emboquille del túnel a lo largo del eje del trazado, y en función de ella, la longitud mayor o menor del túnel.

Romana. M, 2005, (Emboquilles: Intersección de Talud y Túnel) explica que el emboquille de los túneles es la intersección del talud y del túnel y tiene características diferentes a ambos. Es un punto delicado porque presenta riesgos específicos tanto durante su construcción como durante su explotación. El acceso al túnel tiene dos geometrías básicas: excavación del emboquille en un talud o ladera frontales de traza plana o casi plana, y de desarrollo importante respecto al ancho de cada boca (como es muchas veces el caso de las dos bocas de un túnel con dos tubos), o emboquille en el “fondo” de una trinchera relativamente estrecha, con talud frontal de poco ancho en la base y taludes laterales.

I.2 - Estado actual de la temática

La zona más exterior de un túnel presenta unas complicaciones adicionales sobre la problemática general de la excavación de una obra subterránea. De hecho, normalmente se considera que los 10 ó 15 metros iniciales del túnel



(aproximadamente un diámetro), deben recibir un tratamiento distinto y más reforzado que el resto, en relación con la excavación y el sostenimiento.

Como medida complementaria general Ortuño. L, 1998 (Ingeo Túnel 1) prevé el sostenimiento o la estabilización necesaria para asegurar un buen comportamiento de los desmontes de los emboquilles, ya que el macizo se encuentra en las peores condiciones por su proximidad a la superficie. Cuando se trata de túneles en roca las medidas más clásicas sin duda son las construidas por bulones y anclajes, mientras que se pueda contar con una berma, desde su plataforma se pueden ejecutar bulones verticales que alcancen la clave del futuro túnel con anterioridad a la finalización de la excavación del talud frontal del emboquille. Obviamente, en función del grado de alteración de la roca y del espaciamiento y orientación de sus discontinuidades, puede ser recomendable acudir a la instalación de otras medidas tales como mallazos, gunitas, muros de hormigón o escollera, etc.

Existen en la literatura técnica múltiples ejemplos de emboquilles resueltos con este tipo de sistemas, así como descripciones de fallos e inestabilidades y cómo se solucionaron.

En el año 2002, Celada. B, (Ingeo túnel 5) cita ejemplos de emboquilles los cuales muestran los siguientes aspectos:

- ✚ La protección a la calzada: Túnel de Orhi, Túnel principal del Canal de Urgel,
- ✚ La integración ambiental: Túnel de Soller “Palma de Mallorca”, Túneles urbanos en Bergen, Noruega,
- ✚ La visibilidad: Túneles de El Prado
- ✚ Disipación de sobre presiones en los túneles de líneas de alta velocidad: Túnel de Tartaguille del TGV Lyon – Marcella.

Expone que no es habitual que el emboquille del túnel se realice en el lugar exacto del inicio del túnel; ya que, por razones de reacondicionado de la superficie final, se



suele construir un falso túnel que une la sección del emboquille con la entrada real del túnel. Además al emboquillar en un recubrimiento elevado, durante toda la obra, se correrá un mayor riesgo de que se produzcan inestabilidades en los taludes debido, a que al aumentar la altura disminuyen el coeficiente de estabilidad del talud por lo que recomienda construir alguna protección para evitar que una posible caída de piedras incida sobre los operarios y máquinas que entran en un túnel; como la construcción de una visera con 5 ó 6 cerchas metálicas, de la misma sección del túnel, que se refuerzan con hormigón proyectado como la estructura de protección construida en el emboquille Norte del Túnel de La Laja, y en los túneles de Riudecós (Eix Transversal de Catalunya) y de Hadiansas de la línea de alta velocidad entre Malmoe y Gotterburg se construyeron un falsos túneles para poder estabilizar el talud frontal. Menciona en caso de emboquilles de recubrimiento mínimo las obras hechas en Suizas; el Túnel ferroviario de Vereina y uno de los túneles de acceso para la construcción del gran Túnel ferroviario de Loschberg, las obras españolas Túnel Nerón II, el de lado Vic del Túnel de Riudecós y uno de los túneles de la línea de alta velocidad Madrid – Sevilla.

En la literatura técnica española se ha escrito muy poco sobre emboquille de túneles, más allá de citar una serie de casos concretos, según Romana. M, 2000 (Uso de las Clasificaciones Geomecánicas en las boquillas de túneles), por lo que realiza una primera aportación para cerrar esa laguna al presentar unas “Recomendaciones de emboquille de túneles indicando varios aspectos específicos” y parte con las clasificaciones de Bieniawsky (RMR y las clases), donde se puede determinar la partición de la sección del emboquille y el tipo de paraguas, además del método de estabilidad para el talud frontal.

Más tarde Romana. M, 2005, (Emboquilles: Intersección de Talud y Túnel) presenta varias tipologías de roturas en las zonas de los emboquilles producto a las inestabilidades del talud que son las mismas que las de un talud sin túnel: deslizamientos con roturas planas y/o de cuñas, vuelcos de estratos, o roturas en masa por el interior del talud con directrices total o parcialmente curvas. Especifica



que la rotura por “hundimiento” de una parte del terreno situada sobre el túnel, produce un área “vacía” en la base del talud o una “chimenea” en las inmediaciones de dicha base según que el colapso sobre el túnel se puede producir en la misma boca o ligeramente hacia el interior. Este tipo de rotura puede deberse a escasez de sostenimiento del túnel como en el caso del emboquille Sur del Túnel de Pancorbo, o a operaciones de excavación extemporáneas como en el caso del emboquille Norte del primer Túnel del Pando, o en el del emboquille Norte del Túnel II de la variante de Gandia.

Este autor menciona ejemplo de túneles que producto a la necesidad de tratamientos especiales tanto en los taludes frontales como en los emboquilles aplicaron procedimientos constructivos que surgieron a lo largo del tiempo, por ejemplo:

- ✚ En los túneles hidráulicos de la Presa de Tarbela en Pakistán se protegieron algunos taludes frontales de emboquille mediante una malla, en su parte inferior, de anclajes tipo Perfo de f 34 y 24 metros de longitud, inyectados y tensados a 20 T, en otros taludes de la misma presa se construyó una berma, necesaria por razones de obra y se reforzó fuertemente el sostenimiento de la zona de emboquille con cerchas metálicas rígidas y arcos de hormigón.
- ✚ Los Túneles de Carenque, en el anillo exterior de Lisboa las boquillas Suroeste tenían un recubrimiento de sólo 3 metros, y por último, los emboquilles Sur de los Túneles de Dölzschen, en la Autopista Dresde-Praga, que emboquillaron inmediatamente después de un puente, el talud se sujeta mediante anclajes y bulones y la base de la boca del túnel es a la vez el estribo del puente y se construyó mediante un muro de hormigón anclado en cabeza.

Varios escritores de gran relevancia dedicaron parte de sus obras al diseño de sostenimientos en los emboquilles de los túneles, por el elevado número de incidentes (y de accidentes), unas de las recomendaciones es la colocación del paraguas.



Por ejemplo, en el (Manual de Túneles, 1996) se declara que con el objetivo de proteger la clave de los primeros metros del túnel frente a la posibilidad de desprendimientos, es conveniente siempre colocar un paraguas en el emboquille. Según la calidad de la roca, el paraguas podrá ser más o menos pesado y largo: de tubos o de bulones. Si además la roca se encuentra muy fracturada o alterada, y especialmente cuando la excavación se lleva a cabo mediante perforación y voladura, suele ser muy beneficioso la ejecución de un zuncho de hormigón armado que recoja todos los elementos del paraguas, permitiendo además que éstos puedan ir tensados.

Más tarde, en Ortuño. L, 1998 (Ingeo Túnel 1) aporta algunos sistemas integrales para la construcción de emboquilles en los que está el Paraguas de micropilotes, explica que es uno de los métodos más difundidos actualmente para acometer la excavación de túneles en la zona de influencia de los emboquilles, y en condiciones difíciles del terrenos, y se aplica en combinación muchas veces con robustos sostenimientos y revestimientos en los primeros metros de túnel que atraviesan los terrenos de peor calidad.

El autor detalla que un paraguas de micropilotes es un conjunto de perforaciones sub horizontales en cuyo interior se aloja una tubería de acero y a continuación se rellena con lechada de cemento, en el proyecto de un Túnel ferroviario madrileño se aplicó esta metodología.

Especifica que las perforaciones tienen usualmente entre 100 y 200 mm de diámetro, con una maquinaria convencional que posee entre 3 a 5 posicionamientos para conseguir un paraguas de 15 a 20 micropilotes, estos suelen dotarse de una ligera inclinación, entre 5 y 15°, de tal manera que el paraguas completo tiene la forma de un tronco de cono, Cuando se emplea como presostenimiento al avance, se hacen solapar sucesivos paraguas, de manera que uno proporciona el necesario sostenimiento mientras se ejecuta el siguiente. Ver Figura 1.1.

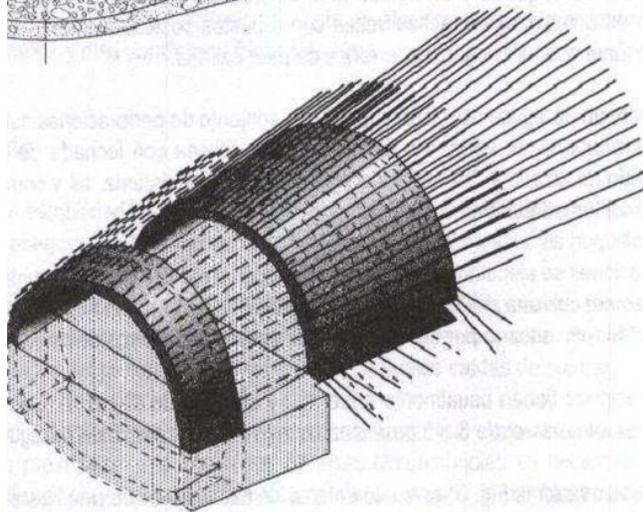


Figura 1.1 Paraguas de Micropilotes.

La distancia entre micropilotes contiguos contando con las desviaciones en la perforación debe permitir que las lechadas de inyección, o sea, sus zonas e influencia solapen asegurando así la formación de una prebóveda más o menos continua, por lo que las longitudes de los micropilotes oscilan de 12 a 18 metros. Los micropilotes así contruidos trabajan a flexión, empotrados por delante en el terreno situado más allá del frente de excavación, y por detrás en el revestimiento ya construido. Cuando se trata de emboquilles, es habitual recoger sus extremos exteriores en un anillo de hormigón o visera, lo que les proporciona el apoyo necesario.

Este método se encuentra muy difundido en Italia en el Túnel de Poggio y Barisone en 1983 recogió un buen número de túneles italianos donde se emboquilló mediante este procedimiento como son el Túnel Serre la Voute (Turín), Túnel Pietratagliata, Túnel Spallanzani, Túnel Frejus, Túnel Clap Forat, Túnel Pontebba, y en los túneles gemelos de San Lázaro, renombrados a principios de 1997 como Túneles de Angel.

Después Romana. M, 2000 (Uso de las Clasificaciones Geomecánicas en las boquillas de túneles) argumenta que el paraguas es siempre una buena práctica y se



recomienda cuando la calidad del macizo rocoso no es muy buena ($80 > \text{RMR}$), por simplicidad ha considerado describir solo tres tipos:

- a) Paraguas ligero ($60 < \text{RMR}$): Constituido por bulones de $\varnothing 32$ y 6 metros de longitud colocados dentro de una perforación de $2^{1/2}$ " (67 cm). El espacio entre la barra y la perforación se rellena con lechada de cemento. La longitud máxima es de 9 m y las barras son únicas sin solapes ni prolongaciones. La distancia usual entre las perforaciones varía entre 0.5 y 1 m.
- b) Paraguas medio ($30 < \text{RMR} < 70$): Constituido por micropilotes de tubo metálico de diámetro exterior igual o inferior a 90 mm y espesor igual o inferior a 7 mm. Estos tubos se introducen en perforaciones de diámetro inferior a 6" (150 mm) y se rellenan interiormente y exteriormente con mortero, que puede aplicarse con una ligera presión. La distancia entre ejes de micropilotes oscila entre 40 y 70 cm. La longitud de estos paraguas varía entre 9 y 20 m. Para longitudes mayores de 9 m es preciso adicionar tubos por un sistema de rosca macho-hembra (la resistencia a flexión disminuye mucho en la sección roscada) o con manguitos exteriores. Generalmente los micropilotes asoman algo en cabeza y se arriostran con una viga armada de directriz curva, paralela al límite teórico de la sección de emboquille.
- c) Paraguas pesado: Puede estar constituido por micropilotes de tubo metálico de diámetro exterior superior a 90 mm y espesor superior a 7 mm, introducidos en perforaciones de diámetro superior a 6 (150 mm), rellenas interiormente y exteriormente por lechada que puede aplicarse con una ligera presión, o bien inyectarse con la técnica de los tubos-manguito. La distancia entre los ejes de micropilotes es menor de 50 cm. La longitud de los paraguas pesados es, como mínimo de 20 m y está limitada técnicamente por la capacidad para mantener el paralelismo entre perforaciones próximas. Aunque se han citado paraguas de hasta 40 m de longitud la práctica habitual rara vez excede de 20-25 m.



Un método antiguo de construcción de paraguas pesados sustituye los micropilotes por carriles ferroviarios pero la longitud de los paraguas de carriles está limitada por la capacidad de perforación. En terrenos sin cohesión el paraguas puede construirse mediante columnas de jet - grouting, y utiliza el método llamado de Jet 1 (con inyección a presión solo de lechada). En las columnas es conveniente introducir una armadura. La distancia entre ejes de columnas es la necesaria para que resulten tangentes (o casi tangentes) entre si. La longitud de los paraguas de jet - grouting suele variar entre 12 y 20 m aunque se construyeron paraguas de jet - grouting de hasta 25 m.

Luego Celada, B. 2002 (Ingeo Túnel 5) escribe como principio básico de aplicación general, salvo en casos excepcionales, que siempre se proyectará el inicio de la construcción del emboquille al abrigo de un paraguas de protección. Muestra uno de los emboquilles del túnel de Romagats construido al abrigo de un paraguas ligero y la misma situación para el túnel de Vera de Bidasoa (Navarra). Sin embargo, descarta que los paraguas que se construyen para emboquillar deben ser del tipo pesado; es decir estarán constituidos por micropilotes, en vez de las barras corrugadas de los paraguas ligeros. La longitud de los micropilotes del paraguas, que pueden colocarse en una sola operación, oscila entre 10 y 30 m. Los micropilotes sólo se colocan en la bóveda del túnel y su número, habitualmente, está comprendido entre 25 y 40 unidades.

Este autor menciona que habitualmente los tubos que arman los micropilotes se dejan sobresalir unos 30-50 cm del talud frontal con objeto de construir una viga de atado, que reparta las cargas sobre los micropilotes. el hecho de colocar un paraguas pesado, con su correspondiente viga de atado, no puede considerarse como una patente de corso que da derecho a iniciar la excavación de cualquier forma, ya que esta operación es siempre delicada y debe hacerse con pases de avance moderados y con gran esmero. Ver Anexo 1.

En los Túneles de la variante de Suria y Cardona este autor describe que en el emboquille lado Cardona se construyó un paraguas pesado a base de micropilotes



de 12 m de longitud y 140 mm de diámetro, armado con tubos de acero de 120 mm de diámetro y 10 mm de espesor. En el emboquille Lado Barcelona del túnel de Cardona se construyó un paraguas desde su interior, en el emboquille Norte del Túnel de la Torre para construirlo se tomó las mismas medidas que el de Cardona solo que por ser el terreno con características excelentes se sustituyó el paraguas pesado por uno ligero constituido por bulones de 32 mm de diámetro y 6 metros de longitud anclados con resina. El Emboquille norte del túnel de Costafedra se construyó al excavar desde el interior del túnel bajo la protección de un paraguas pesado.

Romana, M. 2005 (Emboquilles: Intersección de Talud y Túnel) ejemplifica túneles que aplicaron el método del paraguas es sus emboquilles tales fueron: el Túnel de San Elías, en la Autopista Mesina-Palermo, se construyó un falso túnel cimentado mediante columnas de jet-grouting (una cada 3 m²), y el emboquille mediante un paraguas de jet-grouting, en el Túnel de L'Arzilier en la Autopista del Lemán, en Suiza, el emboquille se realizó bajo un paraguas de tubos metálicos separados a 50 cm, en los Túneles de la Corniche de San Remo en Italia, se emboquilló sosteniendo el talud con 9 niveles horizontales de anclajes de 40 T y 15 metros de longitud y construyendo un paraguas de micropilotes, finalmente menciona el emboquille Norte del Túnel 2 en la variante de Gandia el cual se construyó con un paraguas ligero de micropilotes de tubo de 9 metros de longitud. (Ver figura 1.2)

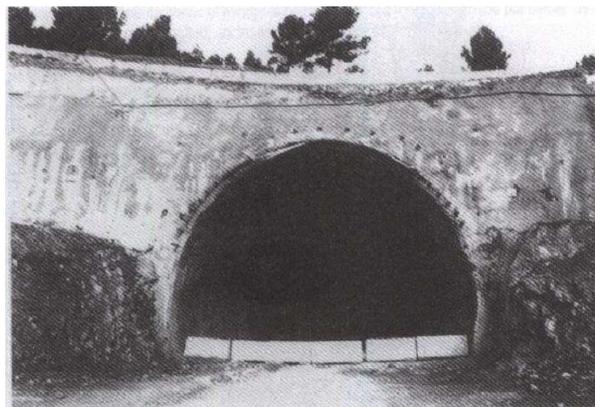


Figura 1.2 Emboquille bajo la protección de un paraguas pesado



En este mismo año en la (Guía para el proyecto y ejecución de micropilotes en obras de carreteras, 2005), se define el Paraguas de sostenimientos como una opción que se ejecuta como sostenimientos en la excavación de túneles, normalmente antes de la fase de avance, bien con carácter general en toda una obra, en emboquilles, zona de especial dificultad, etc.

En determinadas circunstancias se emplean en la ejecución de túneles los denominados Paraguas de micropilotes, que consten en una yuxtaposición de estos elementos hasta obtener superficies aproximadamente troncocónicas – cilíndricas en ocasiones – de semiángulo pequeño y eje prácticamente paralelo al túnel. Se usan al atravesar zonas débiles, o que presenten cualesquiera otras circunstancias que aconsejen una mejora de la capacidad resistente de la sección con carácter previo a la excavación. Pueden emplearse en lugares concretos o con carácter general en determinados tramos de túnel o incluso es toda su longitud, también resultan muy habituales en emboquilles donde suele disponerse un zuncho perimetral de hormigón armado que una sus cabezas.

Expone Pérez. V, 2011 (Construcción de los Túneles del Barranco de la Batalla) que se perforó y se colocó una armadura con micropilotes de 25m, con inyección de mortero en los micros y después se ejecutó una viga de atado.

Polo, J. 2005 (Paraguas Pesados de Micropilotes,) hace una exposición la cual es continuación de la realizada por SITE (T. Murillo P.) en donde define que un paraguas de micropilotes es un conjunto discreto de elementos lineales subhorizontales perforados en el terreno armados e inyectados, que forman una prebóveda resistente envolvente de la cavidad a excavar. También desarrolla su clasificación, fase de ejecución, la armadura con su tipo de unión, el equipamiento que exige para su colocación, y cita un ejemplo lo que fue un caso singular la variante de Bregua del Eje Atlántico de Alta Velocidad.

Otras obras también ejecutaron su emboquille bajo la protección de un paraguas como: en la (Ejecución de una galería como alternativa de acceso al museo minero

de Escucha, 2002) en los túneles de Huauchinango, en el (Proyecto constructivo del tramo de Ermua de la línea de ferrocarril Bilbao - Donostia, 2010), en la (Estimación de Costo y Plazo en Proyecto de Túneles ejecutados mediante excavación convencional y voladura) donde el Túnel de Sorpe sus emboquilles muestran un paraguas de refuerzo formado por micropilotes de 100/80 mm y 10 mm de espesor de 15 m de longitud que se dispondrán en perforaciones de 150 mm, en la Construcción compleja de un túnel en el centro de Brno en tramos con escaso recubrimiento o grandes exigencias de índice de subsidencia se planificaron paraguas de micropilotes. En la Construcción del emboquille Norte del Túnel de Nocedo, ingenieros de caminos abordan que en el talud de frontal se dispuso la ejecución del típico paraguas pesado reforzado con otro exterior. Ver figura 1.3.



Figura 1.3 Emboquille de túneles con paraguas de micropilotes

En el Traspase Este Oeste se han construido hasta la actualidad 18 emboquilles permanentes y 6 temporales (Interceptos), los emboquilles que dan acceso a los túneles hidráulicos Conexión I Tramo III – A y Conexión II tramo III – B en su interior se fortificaron mediante la colocación de pre fabricado tipo T-26 modificado (patas cortas), este mismo método se aplicó en las bocas de los túneles hidráulicos de Levisa – Melones Salida, en Toma Derecha en la Descarga - Peche y en el túnel Sábana Lamar Pozo Azul, Guantánamo, mientras que los emboquilles de los Túneles hidráulicos Toma Derecha “Acceso - Peche”, Toma Izquierda “Acceso - Peche” fue



el pre fabricado tipo T-26 (patas largas). La fundición In Situ con molde español se empleó en la entrada de los túneles Levisa Mayarí, Esperanza - En medio, Enmedio – Guayabo, Salida Guaro, Guaro – Manacal, Manacal castellano 2 y Buenaventura. Con el objetivo de darle estabilidad y buscarle apoyo a los taludes frontales, en la mayoría se construyeron contra – taludes, estos consisten en cimentar una visera de hormigón de 40 cm de alto a una distancia de 1.35 m del talud, y a partir de ella con un ángulo de inclinación de 1.025° se rellena con hormigón de 10 Mpa

En las Proyecciones del Tramo Mayarí – Birán, Túnel de Buenaventura (2011), se diseñó como sistema de estabilización y protección del techo y frente a la excavación se colocaron paraguas de micropilotes compuesto por bulones de longitud 3.20 m \varnothing 25.4 mm y se solapados a 0.70 m a partir de una altura de 2.50 m del piso del túnel. Estos bulones que conformaron el paraguas se colocaron a 12.5 cm del contorno de la excavación en el frente, con un ángulo de inclinación de 10° hacia el exterior, tomando con referencia el contorno de colocación del paraguas. Es esta fase los bulones del paraguas se colocaron de forma tal que quedó una longitud de 50 cm fuera del frente de la excavación para el amarre con las costillas de acero.

CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS INGENIERO - GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para el proyecto de un túnel es de vital importancia el conocimiento del terreno por el cual va a discurrir el mismo. De las características de las rocas dependerá el método de excavación, el tipo de sostenimiento a colocar, las medidas de impermeabilización que se empleen; incluso el trazado puede verse condicionado en ocasiones por las características geológicas de las roca atravesadas. El estudio geológico de un túnel se basa en definir las características litológicas, estructurales, la presencia de agua, entre otras.

II.1 - Litología

Del Estudio Ingeniero-Geológico del Túnel Levisa-Mayarí, se tiene que el túnel tramo III pase por las rocas ofiolíticas, clasificándose por su fábrica como: **serpentinitas esquistosas y/o budinadas y las serpentinitas agrietadas y/o brechosas**, como muestra la figura 2.1.



Figura 2.1 Perfil Ingeniero - Geológico

A partir de las descripciones de campo, se evalúan las principales características ingeniero-geológicas de las fábricas lito-estructurales presentes en la zona de estudio, relacionándolas con los tipos y/o capas ingeniero-geológicas descritas



1. Capa 5b. Serpentinitas esquistosas y/o budinadas, que se caracterizan por la presencia de pliegues con budinas espaciadas de tamaño medio a grande. En la clasificación de Cordovés y Quintas, 2009, se incluye un Tipo formado por Serpentinitas budinadas y foliadas, donde predominan las budinas, que por ser estas de gran tamaño, cartografiables a la escala de los trabajos ingeniero-geológicos, se considerarán según sus características dentro de las demás capas y/o tipos. Las serpentinitas esquistosas presentan una dureza blanda y las budinas son de dureza media. Por lo general están medianamente intemperizadas. Más raramente como budinas pueden encontrarse bloques de gabra. El color es verdoso con bandas oscuras y claras con aspecto abigarrado. Estas rocas no son homogéneas por lo que la denominación de capa es formal, ya que no cumple los parámetros de homogeneidad en extensión (ancho y largo) y potencia. Al ser una roca esquistosa, donde la resistencia depende de la dirección de esquistosidad, envolviendo a rocas más duras (budinas) hace que la excavación pueda presentar problemas de deslizamientos o derrumbes. Las serpentinitas esquistosas presentan una dureza blanda y las budinas son de dureza media. Predominan las rocas foliadas sobre la parte budinada por lo tanto hay que tener en cuenta que se va a avanzar sobre un tipo de roca blanda a muy blanda en algunos sectores y van a aparecer bloques alargados de rocas de dureza media.

Como el túnel estará siempre por debajo del nivel freático, no se darán las propiedades por encima del mismo. En la tabla 2.1 se muestran las Propiedades de la capa por debajo del nivel freático (Subcapa 5 b') y en la figura 2.2 el aspecto de tiene esta capa.

Tabla 2.1 Propiedades físico – mecánicas de la capa 5b

PROPIEDADES	ESTADO	U/M	VALOR
Densidad	Seca	kN/m ³	18.3-24.5 (21.3)
	Natural	kN/m ³	18.4-26.6 (21.5)



	Saturada	kN/m ³	21.5-25.5 (23.3)
Peso específico			2.55-2.73 (2.66)
Porosidad		%	8.39-32.20 (19.7)
Resistencia a la compresión	Seca	Mpa	20.03-49.50 (32.7)
	Saturada	Mpa	7.10-38.7 (19.4)
Coeficiente de ablandamiento			0.21-0.95 (0.60)
Absorción (Abs)			2.5 a 18.0 (7.5)
Coeficiente de fortaleza de Protodiakonov (F.K.P)	Seca	Mpa/10	2.0-5.0 (3.0)
	Saturada	Mpa/10	1.0-4.0 (2.0)
Resistencia a la tracción	Seca	Mpa	2.09-2.94
	Saturada	Mpa	1.90-1.92
Módulo de Young	Seco	Mpa	920-4248 (2063.6)
	Saturado	Mpa	545-2792 (1531.5)
Químicos	CaCO ₃	%	Traza a 1.5
	SST	%	0.026 a 0.086 (0.04)



Figura 2.2 Serpentinita esquistosa budinada

2. Capa 5c. Serpentinitas agrietadas y/o brechosas: A diferencia del Tramo II, en el Tramo III, sólo se espera en los primeros 600 a 650 m y con posible plano y zona de falla subhorizontal, lo que puede acarrear problemas de estabilidad en este



sector. Se caracterizan por presentar bloques elementales entre grietas de tamaño medio entre 10-30 cm. Por su dureza se clasifican como rocas medias a blandas, pueden estar medianamente intemperizadas predominando en profundidad las poco meteorizadas, excepto en zonas de influencia de fallas con circulación de aguas estacionales. Su color predominante es verde claro hasta oscuro casi negro. Las variedades brechosas propiamente dicho, se presentan en la parte más externa de la zona de influencia de fallas, ya que hacia el centro de estas pueden encontrarse a un nivel de trituración tal que llegue hasta la milonización

Todas las muestras ensayadas en el laboratorio corresponden a esta capa por ser la más superficial en el inicio del tramo, cuyos resultados se resumen en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Propiedades físico – mecánicas de la capa 5c

PROPIEDADES	ESTADO	U/M	VALOR
Densidad	Seca	kN/m ³	22.0
	Natural	kN/m ³	22.7
	Saturada	kN/m ³	23.4
Peso específico			2.64
Porosidad		%	15.44
Absorción		%	3.18
Resistencia a la compresión	Seca	Mpa	190.90
	Saturada	Mpa	95.18
Coeficiente de ablandamiento			0.50
Coeficiente de fortaleza de Protodiakonov (F.K.P)	Seca	Mpa/10	1.91
	Saturada	Mpa/10	0.95
Resistencia a la tracción	Seca	Mpa	2.16
	Saturada	Mpa	1.50
Módulo de Young		Mpa	1130.80



Esta Capa por su dureza se clasifica según Duncan y Jennings como blandas y por el Precons 2005 como medias.

Debe aclararse que los valores de resistencia de estas rocas presentes en las diferentes capas ingeniero-geológicas, siempre están por debajo de sus condiciones naturales al encontrarse estas confinadas y más aún a la cota 65 m que representa la base del túnel. Ver figura 2.3.



Figura 2.3 Serpentinita agrietada brechosa

II.2 - Tectónica

Lo diferentes eventos tectónicos que ocurrieron en la región y afectaron las rocas del área de estudio, generaron estructuras superpuestas a las litologías presentes de la asociación ofiolítica, encontrándose grietas iniciales formadas durante el proceso de riftogénesis durante la formación de estas secuencias y diques de gabro-diabasa durante el Jurásico tardío y el Cretáceo inferior, más tarde desde el maestriciano al Eoceno medio parte alta ocurre la colisión del arco Cretácico con la Plataforma de Bahamas, cerrando el mar marginal entre ambas estructuras, formando escamas tectónicas de bajo ángulo, corrimientos y fallas de deslizamiento por el rumbo, todo en un ambiente combinado marino-continental, que fue creando una especie de nappes o escamas tectónicas combinados con depósitos caóticos de cuencas superpuestas, que dieron origen a la Fm. La Picota y que da la apariencia a todo el conjunto regional de un gran mega-melange, interpretado por Cordovés y Quintas

II.4 Evaluación del Agrietamiento

Según el diagrama de roseta, existen 3 sistemas con grietas aisladas, existiendo un sistema en la misma dirección del eje del túnel que puede ser peligroso y provocar derrumbes de techo durante la construcción. Ver figura 2.5.

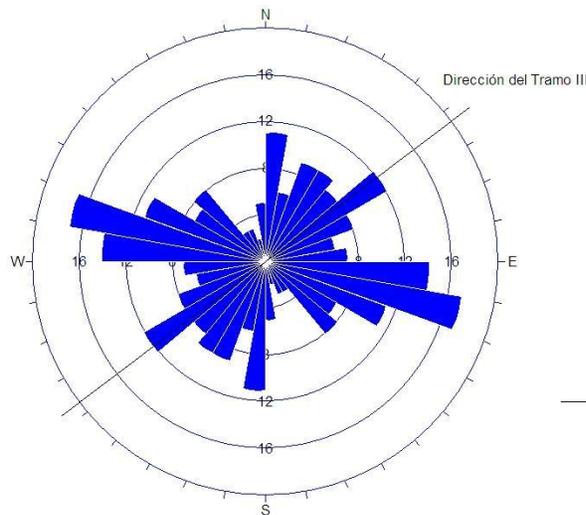


Figura 2.5 Diagrama de roseta

Cuando se tiene en cuenta no solamente el rumbo y acimut de las grietas, sino además el ángulo de buzamiento, la mejor forma de determinar las familias, es mediante el diagrama de contorno en una de las falsillas recomendadas.

Del análisis de este gráfico, se tiene que existen 4 familias de grietas bien definidas con grietas aisladas y planos por lo general poco abiertos y siempre rellenos de minerales serpentínicos, que en superficie se oxidan y pueden transformarse en arcillas, pero en el interior del macizo deben predominar los minerales serpentínicos, sólo pudiendo existir arcillas en los lugares de circulación de agua.

La figura 2.6 que se muestra a continuación, se representan 4 concentraciones o familias cuyos planos máximos se han superpuesto a éste, que son por orden de frecuencia de aparición:

1. 7°/79°
2. 307°/41°
3. 140°/56°
4. 214°/81°

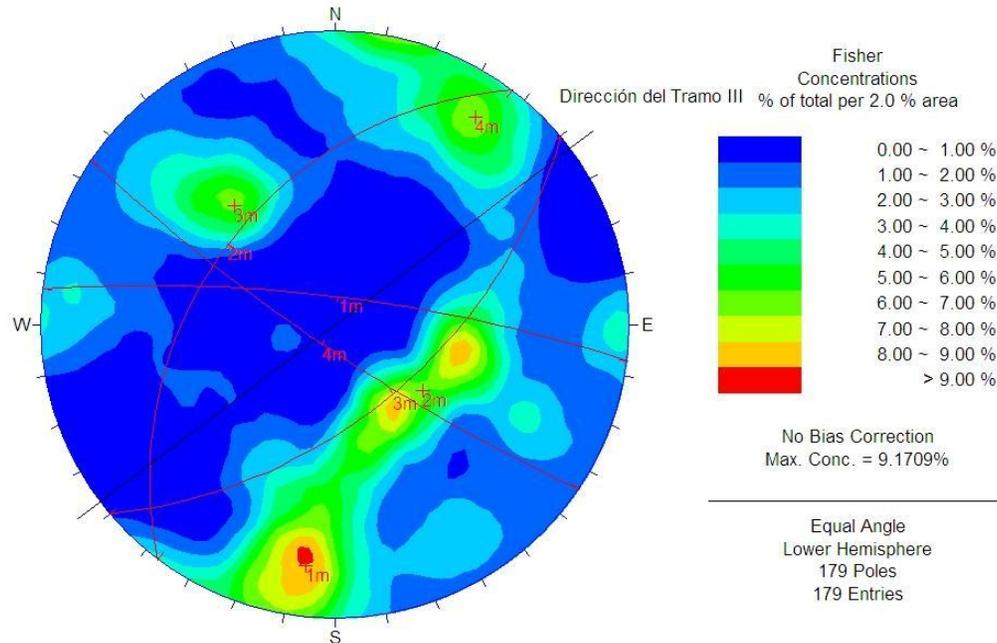


Figura 2.6 Diagrama de contorno y planos máximos de las principales familias

De estas familias, la 2 y la 3 tienen rumbos paralelos o subparalelos al eje del túnel, por lo que serán los sistemas más peligrosos que generan prismas de desprendimiento que combinados con los otros sistemas, mientras que la tercera familia (4) buza con gran ángulo (81°) en la misma dirección del vértice, por lo que no lo hace inestable; sin embargo un segundo prisma formado por las familias 1, 3 y 4 puede ser propenso a desprendimientos de techo, sin embargo este prisma por sus ángulos casi verticales en 2 de sus familias hace que no sean de gran tamaño, pudiéndose bulonar con facilidad.

II.5 – Evaluación de la Estabilidad

La evaluación de la estabilidad de la roca que predomina en el área de estudio (emboquille) se muestra en la Tabla 2.3. Informe RAUDAL 2011.



Tabla 2.3 Evaluación de la Estabilidad.

Formulación	
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}, \text{ LTE} = 2 * \text{CTE} * Q^{0.4}$	
Parámetros	Zona
	Capa N° 5b' > 50 m
RQD	33
Clasificación	Roca mala
Jn	12
Jr	3
Ja	2
Jw	1
SRF	2.5
Q	1.6
Clasificación	Roca mala
RMR	48
Clasificación	Roca mala
LTE	3.9
FS	0.6

Donde:

- ✓ RQD Grado de fracturación de la roca (%).
- ✓ Jn Intensidad de la fracturación o índice de diaclasado.
- ✓ Jr Índice de rugosidad del plano de grieta.
- ✓ Ja Índice de alteración de las fracturas.
- ✓ Jw Coeficiente reductor por la presencia de agua.
- ✓ SRF Coeficiente de influencia del estado tensional (Stress Reduction Factor).



- ✓ LTE Luz Teóricamente Estable (m).
- ✓ L Luz real de la excavación (6.20m).
- ✓ FS Factor de seguridad.
- ✓ CTE Categoría del Tramo Excavado=1.6
Evaluación del Macizo Rocoso (Rock Mass Rating). Por RQD, sc,
- ✓ RMR Espaciamiento entre grietas, Jr, Jw y rumbo de las grietas. Se calculó por tabla de Bieniaswki, (1989).

Según los resultados de estas clasificaciones se obtiene que para la capa 5b' constituida por las serpentinitas esquistosas y/o budinadas, exista una correspondencia entre los valores obtenidos referente a la calidad del macizo desde malo a muy malo.

Para la Capa 5c constituida por las serpentinitas agrietadas y/o brechosas, se observa igual correspondencia entre los índices de calidad aplicados, que van desde roca mala a media.

En las zonas de fallas e influencia de estas, los índices de calidad del macizo van desde roca mala a roca extremadamente mala. Se presentan los valores del índice de calidad Q estimados para las distintas capas o tipos ingeniero-geológicos.

Del resultado de estas mediciones se estima que el mayor por ciento de la excavación se construirá en roca de calidad mala a muy mala y en las zonas de fallas estas condiciones se comportarán aún más críticas, por lo que durante la etapa constructiva, deberán reajustarse estos resultados e ir monitoreando el proceso de avance-sostenimiento de la excavación. El resto de la excavación se encontrará en rocas de calidad media, que en algunos casos pudiera llegar a buena.

II.6 – Hidrogeología

En el área de estudio, al igual que en la mayor parte del trazado se encuentra el complejo acuífero de las aguas fisurales de las rocas ultrabásicas. Estas aguas se encuentran en grietas y fisuras de las serpentinitas y gabro-diabasas,



caracterizándose por presentar bajos caudales. En la investigación del Tramo I (Sánchez Rivas G., et al (1991)), se obtuvieron gastos específicos que varían desde 0.0035 a 0.075 l/min/m y coeficientes de filtración que van desde 0.003 hasta 0.073 m/día.

De acuerdo a los valores de los coeficientes de filtración obtenidos se pueden clasificar estas rocas como prácticamente impermeables o muy poco permeables, sin embargo en las zonas de fallas, el gasto específico y el coeficiente de filtración serán mayores.

Por lo complicado del cuadro tectónico y por la experiencia que se tiene de investigaciones vecinas (por analogía), las aguas se mueven desde el macizo rocoso hacia los arroyos y ríos que hay en el área, siendo la divisoria las cimas del trazado. En todo el Tramo III, durante los trabajos de campo, se observaron pocos manantiales por lo general de muy bajo gasto representación del nivel freático pronóstico. Ver Anexo 3.



CAPITULO III: PROPUESTAS DEL SISTEMA DE EMBOQUILLE PARA EL TRAMO III – A

En el emboquille de un túnel el talud queda siempre, de alguna manera, débil tanto por la extracción de material en su pie como algunas veces por las voladuras que se requiere para el mismo. La boca de un túnel es un verdadero cuello de botella de la obra, porque todo tiene que entrar por el emboquille (personal, aire limpio, agua, energía, líneas de comunicaciones, materiales, maquinaria) o tiene que salir (escombros de la excavación, aire y agua sucios, desechos, personal y maquinaria ingenieros). Durante la explotación la boca del túnel, y la zona próxima a ella, es siempre un punto con el riesgo de que se produzcan inestabilidades, avalanchas y caídas de terreno (o rocas sueltas) en el talud.

III.1 – Procedimiento que se lleva a cabo en el Tránsito Este - Oeste Melones – sabanilla para la ejecución del emboquille

A continuación se detalla la ejecución en el tránsito de los taludes laterales y frontales, y el emboquille.

✚ Construcción de la calicata

Después de obtener el proyecto mediante la entidad Raudal, los topógrafos realizan su correspondiente análisis, y al conocer las coordenadas y puntos de referencia con ayuda de la estación total se dirigen al terreno.

Esta actividad se divide en tres etapas:

1. Se realiza el desmonte del área, donde se arrasa con plantas y maleza.
2. Se desbroza toda el área que ocupa la calicata. En esta actividad se utilizan máquinas ingenieras como buldózer (para áreas de gran magnitud), retroexcavadoras y cargadores (para áreas de menor magnitud).



3. Excavación: se realiza en rocas blandas, medias y duras. El equipo de perforación que se utiliza es la CEGUEDA, carretilla barrenadora capaz de obtener barrenos con una longitud mayor de 10 m. Ver Anexo 4.

Procedimiento para la ejecución de la calicata:

A partir de la corona del talud (punto dado por los topógrafos) se avanza un metro y se profundiza 1 m, cuyo ángulo de inclinación con respecto a la horizontal, se calcula previamente en el proyecto. El corte de la cuña resultante se hace con las máquinas mencionadas. A medida que se profundiza y según lo requiera el proyecto (en dependencia de las propiedades físico-mecánicas de las rocas) se construyen las bermas de seguridad, las que tienen como propósito la protección del talud, evitar deslizamientos y evacuar las aguas provenientes de las lluvias. Ver Anexo 5.

Composición de las calicatas:

- ✓ Taludes (frontal “portal” y lateral)
- ✓ Bermas
- ✓ Plato

+ Construcción del emboquille

Para el caso concreto del trasvase los topógrafos luego de interpretar el proyecto topográfico ubican en el terreno (talud frontal) los puntos y ejes de coordenadas, replantean los primeros barrenos del patrón de voladura, con las formas y dimensiones según especifica el proyecto para iniciar la excavación de los primeros 10 m que definirán el emboquille. Cada avance es de aproximadamente 50 cm y se sostiene con un espesor de hormigón proyectado de 5 cm reforzado con fibras.

El tipo de fortificación (emboquille) que se emplea es la fundición de hormigón in situ, para ello se utilizan los moldes metálicos y se adaptan a las dimensiones del túnel (5,6 metros de altura y 6 metros de ancho), Ver figura 3.1, éstas fundiciones

tienen una longitud de 3 metros y abarcan aproximadamente 6 metros de excavación, por lo que se funden dos de ellos. También en la primera fundición se coloca doble malla de acero y en el resto se continúa con una sencilla.



Figura 3.1 Emboquille mediante la fundición de hormigón In Situ en el túnel Buenaventura del Traslase Este – Oeste

Existen otras variantes de fortificación, como lo es la colocación de prefabricado, éstos se componen de arcos y patas de hormigón armados que se suministran por el proveedor, sus dimensiones se conocen como T-26 patas largas y patas cortas con un ancho de 70 cm y espesor de 25 cm. Ver figura 3.2.



Figura 3.2 Emboquille mediante la fundición con pre fabricado en el túnel conexión I, Traslase Este – oeste



Como se demuestra en las anteriores imágenes, la fortificación que se emplea para emboquillar actualmente en los túneles del trasvase sí garantizan la estabilidad de la clave del túnel por sus características constructivas, pero no responde ante los posibles deslizamientos del talud frontal. En ésta área exterior se aplica solamente hormigón proyectado de 5 a 10 cm de espesor reforzado con fibras, con el objetivo de combatir la posible erosión de las rocas suprayacentes. Para las inestabilidades la medida a tomar es darle al talud el ángulo adecuado que le permita su equilibrio natural (ángulo de reposo natural). Para iniciar la excavación del túnel luego de obtener el talud frontal se realiza un corte vertical que conlleva a la destrucción del pie de este talud, es ahí donde las viseras hacen su función de pie del talud artificial para acuñar todo el material que se desplaza en busca de su estabilidad. Ver figura 3.3.



Ver figura 3.3 Emboquille con viseras de hormigón

Todo el proceso de excavación afecta de forma directa a la distribución de las tensiones existentes en el macizo rocoso deformándose éste alrededor de la cavidad creada. De esta forma, el estado tensional final es la suma de las tensiones originales existentes en el macizo más las inducidas por la cavidad. Para disminuir el estado tensional (desplazamiento) y lograr retrasar el deterioro del terreno producto a las tensiones, y a su vez laborear en condiciones de mayor seguridad, la ingeniería



actual de diseño de túneles desarrolló un sistema de estabilización y protección del techo y frente denominada PARAGUAS, que proporciona un aumento de sus propiedades de resistencia y deformidad.

III.2 - Propuesta para la construcción de los taludes laterales y frontal y aplicación del Paraguas en el emboquille del túnel Río la Ceiba, Tramo III – A.

La siguiente propuesta de construcción de la calicata y del emboquille del Túnel Río la Ceiba, Tramo III-A, se desarrolló con los datos reales que refleja el Proyecto de éste túnel, por ejemplo:

- ✓ La calicata, se ejecutará tal y como lo describe el Proyecto, excepto la manera de proyectar el hormigón en el talud frontal.
- ✓ En el emboquille todas las actividades se ejecutaran según lo especifica el Proyecto del túnel en mención, sus dimensiones, tipo de fortificación, a diferencia que se adiciona un sistema de estabilización para el talud frontal.

✚ Construcción de la calicata (taludes laterales y frontal).

La calicata se construirá con el mismo procedimiento que se aplica actualmente en las obras del Trasvase, y que ha sido descrito anteriormente, la propuesta de la calicata en el Túnel Río la Ceiba posee una sección trapecial, el ancho de la sección del camino será de 6 metros para facilitar los trabajos de movimientos de tierra. Tendrá una pendiente de 5.5%. Ver Anexo 6.

Para obtener la estabilidad en los taludes estos tendrán una cuneta a ambos lados como solución de drenaje, ya que las inestabilidades se ven muy favorecidas por la presencia de agua, la utilización de un drenaje para eliminar ésta de la zona de influencia del talud suele ser muy beneficiosa.

El hormigón que se proyecta en el talud frontal no se efectuará de manera sistemática. No es deseable gunitar de forma constante los taludes, la capa de hormigón que se proyecta puede dificultar:



- ✓ Al drenaje natural.
- ✓ Aporta poca resistencia frente a un problema de inestabilidad del talud.
- ✓ Enmascara los síntomas iniciales de roturas por deslizamiento.
- ✓ Tiene un mal aspecto desde el punto de vista estético.

La masa rocosa del talud frontal es de calidad mala, el hormigón que se proyecta puede ser útil para prevenir la erosión superficial producto al clima o a la escorrentía superficial de agua, por lo que éste talud irá revestido con una capa de 20 cm de hormigón proyectado R'bk 20 MPa, los taludes laterales irán recubierto con una capa de 5 cm de hormigón proyectado R'bk 25 MPa como medida de protección.

✚ Ejecución del Emboquille caso de estudio del Túnel del Rio La Ceiba, Tramo III-A

El emboquille comprende los trabajos previos a la excavación del túnel, necesarios para asegurar la entrada y que de esta forma no se produzcan desprendimientos del talud frontal. En esta zona se entrelazan las inestabilidades propias del túnel con las del talud frontal del desmonte. La excavación del túnel puede afectar negativamente y desestabilizar el talud ó, viceversa, una posible inestabilidad del talud puede provocar desprendimientos o incluso el derrumbe total del túnel.

En el talud frontal son frecuentes los problemas de estabilidad, con caídas parciales o incluso roturas generalizadas (Ver figura 3.4), especialmente los problemas de vuelco de estratos suelen sorprender durante la ejecución, y así como es un talud normal el vuelco suele ser un proceso lento que rara vez es catastrófico. En los taludes frontales de las bocas de los túneles el vuelco desorganiza la masa rocosa que se sitúa sobre la clave del túnel y daña las medidas de emboquille construidas previamente.



Figura 3.4 Deslizamiento del talud frontal en el emboquille del túnel Manacal – Castellano del Traslase Este - Oeste

Debido a estas causas, en el emboquille es habitual emplear una serie de medidas complementarias de sostenimientos especiales, para asegurar esta zona más delicada.

Dadas las características del terreno en el cual se excavará el túnel del Río la Ceiba, Tramo III – A, mediante la clasificación de la roca según el índice de la calidad dado por (Barton, 1974) el valor de Q en esta zona es 1.6, por lo que le corresponde la clasificación de Roca mala.

Con el fin de asegurar la estabilidad del frente de excavación y lograr un buen control de los desplazamientos, se propone la utilización del sistema de paraguas como medida de estabilidad en el talud frontal, es una práctica aplicada mundialmente y se recomienda cuando la calidad del macizo no es muy buena, como es el caso de estudio, la función de este sistema es sostener el terreno existente por encima del emboquille, así como minimizar las deformaciones del mismo. El incremento de costo que esto supone es muy pequeño comparado con el costo de cualquier incidente.

No existen métodos de diseño numéricos adecuados que permitan definir el sistema de paraguas debido al alto número de parámetros que intervienen como son:



1. La deficiencia en la simulación del efecto del frente del túnel
2. La complejidad de aplicación de métodos numéricos tridimensionales,
3. Las dificultades de interpretar el traslape de los paraguas y su conexión con los marcos en comparación con las cargas verticales
4. La influencia de las características mecánicas del terreno en el frente de excavación.

Por esto el diseño de estos elementos de pre-refuerzo se realiza con base en consideraciones empíricas o esquemas simplificados.

Para determinar el tipo de paraguas a colocar, antes se define los índices de calidad del macizo rocoso (Q y RMR) en el emboquille, para esto Romana. M, 2000, propone como regla general aproximada que:

$$Q_{emboquille} = \frac{Q_{túnel}}{5} \quad (1)$$

O sea;

$$Q_{emboquille} = \frac{Q_{túnel}}{5} = \frac{1.6}{5} = 0.32$$

Nota: $Q_{túnel}$ según proyecto

Bieniawski en las versiones de la clasificación RMR no realiza ninguna recomendación específica para emboquille, por lo que Romana (2000) a partir de la fórmula conocida de Bieniawski obtiene que:

$$RMR_{emboquille} = 9 \ln Q_{emboquille} + 44 = RMR - 9 \ln 5 \cong RMR - 15 \quad (2)$$



O sea;

$$RMR_{emboquille} = 9 \ln Q_{emboquille} + 44$$

$$RMR_{emboquille} = 9 \ln 0.32 + 44$$

$$RMR_{emboquille} = 33$$

Cumpléndose la condición:

$$RMR_{emboquille} = 9 \ln Q_{emboquille} + 44 = RMR - 9 \ln 5 \cong RMR - 15$$

$$33 = 48 - 9 \times 1.6 \cong 48 - 15$$

$$33 = 33.5 = 33$$

Como resultado del $RMR=33$ el paraguas idóneo para este macizo rocoso es el Paraguas Medio de Micropilotes según la clasificación de Romana (2000).

Un paraguas se compone de un número determinado de micropilotes colocados normalmente al seguir el perfil de la bóveda del túnel, a una distancia dada de ésta, y a una distancia determinada por las necesidades del pre-sostenimiento.

Los micropilotes que conforman el paraguas son elementos generalmente de sección circular, de pequeño diámetro, que son capaces de transmitir las cargas de una estructura al terreno, mediante esfuerzos de compresión, y en ocasiones, de flexión y cortante, e incluso de tracción.

Se definen como elementos longitudinales ya que predomina su longitud sobre su sección. Se componen de una armadura en forma de tubo o barra y por el recubrimiento de ésta en forma de lechada de cemento o mortero que queda en contacto con el terreno y que se introduce a presión contra el mismo. Esta inyección puede realizarse por tramos, como por ejemplo en este Paraguas de Micropilotes.

Para describir un paraguas de emboquille en un proyecto es preciso especificar los siguientes parámetros:



1. Diámetro de la perforación
2. Dimensiones de la armadura
3. Tipo de acero
4. Sistema de inyección
5. Tipo de lechada o mortero de inyección
6. Longitud de los micropilotes
7. Separación entre micropilotes
8. Numero de micropilotes
9. Posición relativa respecto a la sección del túnel
10. Inclinación vertical y horizontal
11. Unión de los tubos metálicos

Paraguas Medio de Micropilotes. Características

Los paraguas de micropilotes presentan una alta adaptación a las variaciones de las condiciones geológicas geotécnicas del macizo. Se instalan de una forma muy sencilla gracias al tipo de maquinaria empleada en colocación y los operarios que los instalan no requieren formación específica que no sea la propia del manejo del jumbo de perforación. Ver Anexo 7. Permiten ejecutar un sostenimiento anticipado en rocas y suelos de calidad mala o muy mala, reduce las deformaciones y aumenta la seguridad en rocas muy alteradas y suelos.

Su colocación requiere replanteo por parte de los equipos topográficos. Ver anexo 8. Producen importantes excesos de la excavación y desviaciones en la medición de hormigón de revestimiento por la exigencia de crear la superficie mínima necesaria en el frente para su colocación. Esta situación exige obtener



datos fiables de la excavación realizada para efectuar las mediciones oportunas de los excesos producidos y su justificación.

El replanteo es una fase fundamental para la buena ejecución del paraguas, de no realizarse correctamente los micropilotes pueden cruzarse en el espacio o terminar dentro de la sección del túnel a excavar, tal sistema de replanteo debe ser preciso, fiable y fácil de realizar.

Para ello se aporta en esta investigación el esquema del paraguas tal y como quedará en el talud, ver figura 3.5.

Teniendo como punto de partida la sección típica del emboquille, la distancia que tendrá en paraguas del contorno de la excavación se conoce el perímetro que tiene el paraguas.

Con ayuda del Autocad 2008, programa informático que permite diseñar, se conformó la distribución de los barrenos según la distancia entre ejes y altura desde el piso del primer micropilote, de esa manera se obtuvo la cantidad de barrenos necesarios.

La comisión de topografía se basa en este esquema para replantear y enumerar los barrenos.

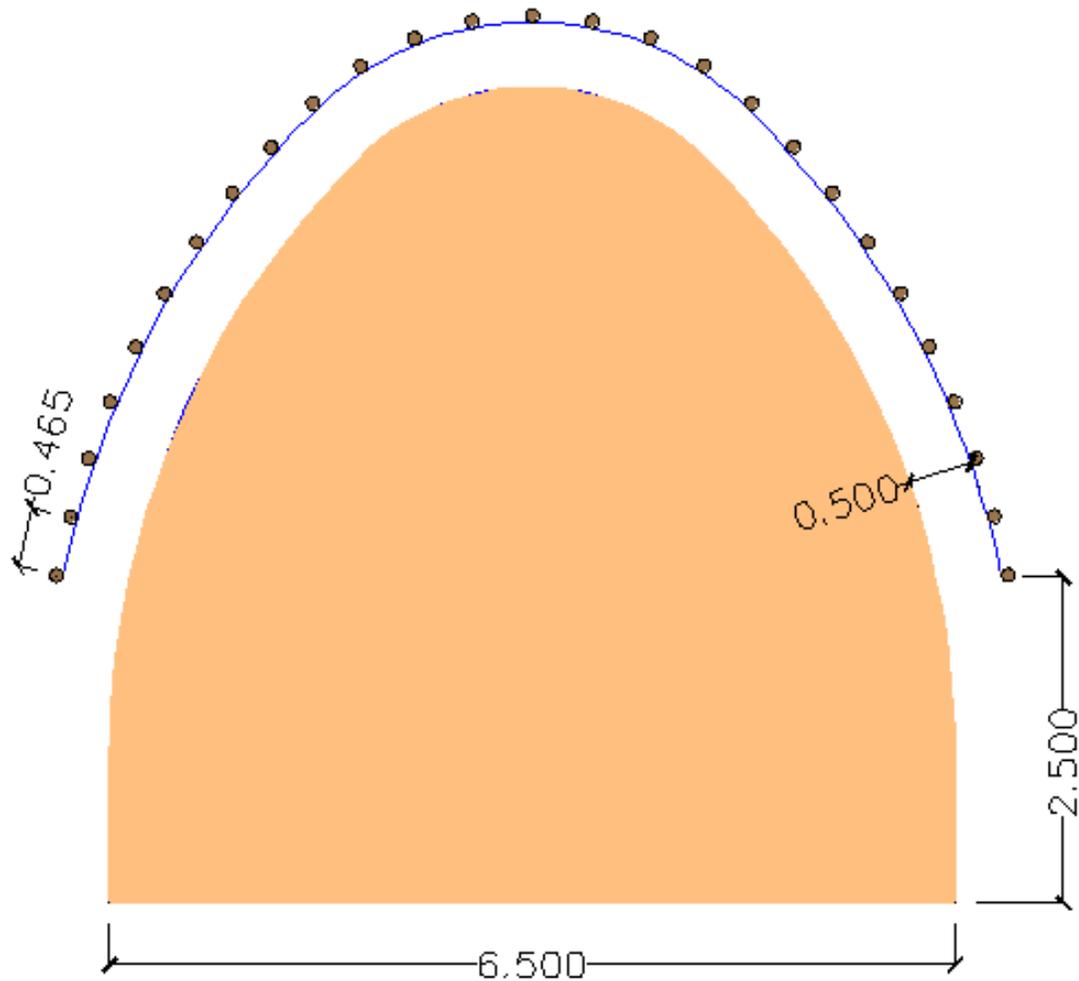


Figura 3.5 Esquema del Paraguas Medio de Micropilotes

A continuación se detallan las descripciones del Paraguas de Micropilotes a colocar en el emboquille del Túnel Río la Ceiba, Tramo III – A.

1. Diámetro de la perforación

El diámetro exterior de la corona permite determinar el diámetro exterior aproximado que tendrá la perforación. Los tubos se introducen en perforaciones de 102 mm de diámetro, a partir del diámetro de la broca del equipamiento de perforación que existe en la empresa, estos diámetros pertenecen a los detalles constructivos del paraguas medio según Romana (2000). Ver Anexo 9.



2. Tipo de acero y armadura

Acero

Se utiliza tubería de acero galvanizado con el objetivo de consolidar y estabilizar la bóveda del túnel en este terreno, como medida de pre sostenimiento, a través del paraguas de micropilotes.

Armadura

Para este caso las armaduras de micropilotes que se utilizan son tubulares de aceros de tipo convencional, que son aquellas que se usan en estructuras metálicas.

3. Dimensiones de la armadura

Este paraguas quedará constituido por micropilotes de armaduras tubulares por ser predominante su uso y fácil su unión, con un diámetro exterior de 90 mm, el espesor de 6 mm y un peso de 10.58 kg/m, estos diámetros pertenecen a los detalles constructivos del paraguas medio según Romana. M, 2000 (Uso de las Clasificaciones Geomecánicas en las boquillas de túneles). Ver Anexo 10.

4. Sistema de inyección

La inyección de la lechada o mortero se realiza en el fondo del micropilote nombrada Inyección de Fondo.

5. Tipo de lechada o mortero de inyección

La inyección de la lechada o mortero puede realizarse en el fondo del micropilote (Inyección de Fondo) o a lo largo del mismo (Inyección Repartida). En este segundo caso, la armadura debe llevar, ubicadas según necesidades válvulas unidireccionales, de botón (sencilla, doble o triple) o de tubo manguito que permitan distribuir uniformemente la inyección a lo largo del taladro completo.



En el caso de emplear lechada de cemento ésta debe cumplir con las siguientes características:

- ✓ El tipo de cemento a emplear será como mínimo de clase resistente 42,5 N.
- ✓ A los 28 días la resistencia característica de la lechada debe ser superior a 25 Mpa
- ✓ A los 7 días la resistencia característica de la lechada debe ser igual o superior al 60% de la resistencia requerida a los 28 días.
- ✓ La relación agua/cemento de la lechada debe estar entre 0,4 y 0,55, de manera que suele emplearse 0,5.

Si se opta por el empleo de morteros, éstos deben cumplir las siguientes características:

- ✓ A los 28 días la resistencia característica debe ser superior a 25 MPa.
- ✓ El contenido mínimo en cemento será de 375 Kg/m³.
- ✓ La relación agua/cemento será inferior a 0,6.
- ✓ La granulometría del árido cumplirá: $D_{85} \leq 4 \text{ mm}$ y $D_{100} \leq 8 \text{ mm}$
- ✓ Acero tipo N-80 con un límite elástico $\geq 5620 \text{ Kg/cm}^2$ y un límite de rotura $\geq 6900 \text{ Kg/cm}^2$.
- ✓ Tolerancia del diámetro exterior de $\pm 1\%$.
- ✓ Tolerancia del espesor de $\pm 12\%$.

La Bomba ENERPAC SPH – 42 y la Bomba Kuchler GMBH son el equipamiento que cuenta la empresa para esta actividad, por sus características de trabajo se aplicará la inyección de la lechada mediante la Inyección de Fondo.



6. Longitud de los micropilotes

Los micropilotes tendrán una longitud de 10.5 metros, cada uno contendrá 2 tubos metálicos de 6 y 4.5 metros de longitud. Ver Anexo 11. Asomarán en cabeza a **0.50 cm**, y estos elementos que sobresalen del talud se recogerán con un zuncho de hormigón armado permitiendo que éstos puedan ir tensados. Estos parámetros pertenecen a los detalles constructivos del paraguas medio según (Romana 2000).

7. Separación entre micropilotes

La distancia entre ejes de micropilotes será de **46 cm**.

8. Numero de micropilotes

El número de micropilotes es 27, que se determinó luego de obtener el perímetro del paraguas, la distancia que existe entre el piso hasta el primer micropilote con un espaciamiento de 46 cm.

9. Posición relativa respecto a la sección del túnel

Estas armaduras que conforman el paraguas se situarán a una altura de **2.50 m** del piso del túnel, este valor se obtiene por la experiencia en el túnel de Buenaventura. Se colocarán a una distancia de **50 cm** del contorno de la excavación, distancia mínima a la bóveda establecida en el Manual de Instalación de Paraguas de Micropilotes en Túneles.

10. Inclinación vertical y horizontal

Un aspecto importante a tener en cuenta en la instalación del paraguas es la desviación admisible en el taladro. Las desviaciones laterales y hacia arriba son prácticamente despreciables, la desviación vertical en el taladro, producto al peso de la sarta y de la armadura depende de las condiciones del terreno, y debe estar por debajo de 500 mm en una longitud total de 15 m. Por lo que el



posicionamiento de la armadura se realizará con un ángulo de divergencia 5° , y toma una forma troncocónica.

11. Unión de los tubos metálicos

La unión en su mecanización afecta a la sección nominal de la tubería al reducir la misma, se produce pérdida de resistencia a tracción debido al pequeño paso de rosca, siendo variable el comportamiento a flexión dependiendo del tipo de unión mecanizada, por lo que para adicionar el segundo tubo se utilizará un sistema de rosca macho – macho con manguito exterior, ver anexo 12, aunque reduce la sección nominal de la tubería al labras los extremos macho, la sección total puede incrementarse al elaborar el manguito exterior con tuberías de diámetro y espesor superiores, siendo conveniente que dicho espesor sea superior al nominal de la tubería por su mejor comportamiento en la parte plástica del diagrama carga-flecha.

Es además conveniente que el manguito sea largo, entendiendo por tal aquel cuya generatriz es mayor que el diámetro lo que provocará la disminución de la flexión en la sección roscada.

Equipos adecuados para la colocación del Paraguas Medio de Micropilotes

1. El **Tamrock Axera 6-240** es un jumbo electrohidráulico de dos brazos. Ver Figura 3.6. Sus resistentes brazos universales tienen un amplio alcance perfectamente definido, una rotación de avance de 358° y un paralelismo totalmente automático para facilitar y agilizar la perforación. Los brazos pueden ser utilizados también para hacer recortes transversales y la perforación de agujeros de bulonaje. Es el mismo que se emplea para perforación y voladura, con unas pequeñas adaptaciones para poder realizar la colocación de paraguas que consisten en:

- ✓ Conformar los extremos del manguito de acoplamiento que se colocará para adaptarle la segunda barrena.



Figura 3.6 Tamrock Axera 6-240

Para una mejor descripción de las partes que forman el equipo de perforación del Tamrock Axera 6-240 ver Tabla 3.1 y la Figura 3.7 muestra la sarta de perforación.

Tabla 3.1 Equipo de Perforación del Tamrock Axera 6-240.

<p>Adaptador</p> 	<p>La energía de impacto y el par de rotación del martillo perforador se transfieren al equipo de perforación a través de un adaptador.</p>
<p>Manguito de acoplamiento</p> 	<p>Los manguitos de acoplamiento conectan entre sí las varillas extensibles.</p>
<p>Varillas extensibles (Barrena)</p> 	<p>Ambos extremos de una varilla extensible disponen de roscas idénticas. La longitud De la varilla es de 520 cm).</p>

Bocas de perforación (broca)



Las brocas poseen una buena tasa de penetración, durabilidad.



Figura 3.7 Sarta de perforación

2. La Bomba de pasta de cemento Plusthmail: facilitará la tarea de inyectar con lechada el interior y exterior de los tubos metálicos que componen el paraguas.
3. La BSA PM 702 E Putzmeister Mortelmaschinen inyectará con hormigón de 25 Mpa la estructura que se armará para construir el zuncho de hormigón armado. Ver figura 3.8. Las características técnicas más importantes de ésta máquina se especifica en la Tabla 3.2.

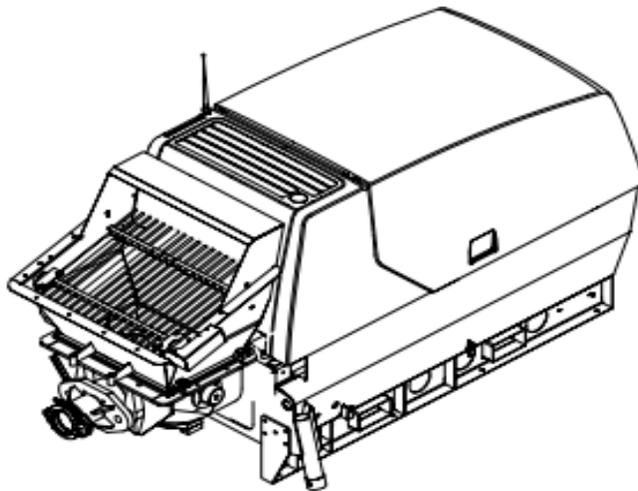


Figura 3.8 BSA PM 702 E Putzmeister Mortelmaschinen



Tabla 3.2 Características técnicas PM 702

Longitud	3067 mm
Anchura	1392 mm
Altura	1395 mm
Altura de llenado	973 mm
Pesos vacío	1850 kg
Motor de accionamiento	Motor eléctrico 30 kw a 1500 rpm
Presión de aceite hidráulico Bomba principal	250 bares
Presión de aceite hidráulico Bomba agitador	190 bares
Caudal de suministro	18 m ³ /h

Procedimiento de colocación del Paraguas Medio de Micropilotes

El procedimiento para la colocación del paraguas de micropilotes en el túnel consta de los siguientes puntos:

1. Marcar el frente

Se sitúa en el frente la posición exacta del punto de ubicación de cada uno de los micropilotes a instalar.

2. Posicionamiento de la armadura

Ubicar en un lugar próximo al frente los tubos de acero galvanizado con sus respectivas uniones, así como las barras de perforación, los manguitos de acoplamiento, y la broca.

3. Colocación de la sarta al iniciar el trabajo

- ✓ Se coloca la primera barrena de 5.20 metros en el manguito de acoplamiento.



- ✓ Se coloca la broca de 102 mm de diámetro en la barrena.

4. Inicio de la perforación

- ✓ Posicionar deslizadera del jumbo en el lugar marcado en el frente para la perforación del micropilote.
- ✓ Avanzar el martillo hasta que la broca se posicione contra el frente.
- ✓ Comenzar la rotopercusión (no se debe iniciar la rotopercusión sin tener la broca apretada sobre el frente).
- ✓ Avanzar la maniobra y se tiene en cuenta el manómetro de presión.
- ✓ Mantener la deslizadera con el mismo ángulo respecto al eje del túnel y a la horizontal durante toda la operación de perforación.

5. Prolongación de la barrena

- ✓ Cuando la parte final de la barrena esté a falta de 50 cm de introducirse, se detendrá el avance y la rotopercusión. Se soltará el manguito de acoplamiento de la barrena y se retira la maquina de percusión y giro.
- ✓ Se enrosca la segunda barra al manguito de acoplamiento ubicado en el adaptador y seguida a ésta otro manguito de acoplamiento que tendrá el sistema de rosca adaptado a cada extremo de las barrenas.

Éste nuevo manguito de acoplamiento se rosca con la barrena ya introducida en el terreno (hay que recordar en este punto que la rosca de las barrenas es a derechas). Desde la parte trasera se alinea y desde la parte delantera se enrosca. Si la alineación no fuera correcta resulta necesario el uso de llave de apriete en ese caso.

- ✓ Se repite este proceso con la próxima barrena hasta llegar a la longitud total del micropilote.



6. Puesta/Retirada de la sarta

- ✓ Perforar con toda la sarta de perforación hasta obtener 10.0 metros de longitud para garantizar los 0.50 cm.
- ✓ Se detiene el martillo de percusión y giro.
- ✓ Se retira toda la sarta de perforación.

7. Introducción de la armadura

Al terminar la perforación se introduce en cada uno de los barrenos de 10 metros la armadura compuesta por los 2 tubos de acero galvanizado de 6 y 4.5 metros respectivamente, unidos con el sistema macho – macho, y queda en el exterior 50 cm.

8. Inyección de la Lechada

En fondo: se realiza mediante un cabezal de inyección con llave de paso y testigo. La lechada recorre el interior del tubo hasta el fondo y retorna por el espacio libre entre el tubo y la perforación. El espacio anular entre la perforación y el tubo, en el frente de la galería, se obstruye con espumas u otro material que resista la presión de la inyección.

III.3 – Construcción del zuncho de hormigón

Cuando la roca se encuentra fracturada y la excavación se lleva a cabo mediante perforación y voladura es muy beneficioso construir un zuncho de hormigón que reparta las cargas sobre los micropilotes. Ver Figura 3.9.

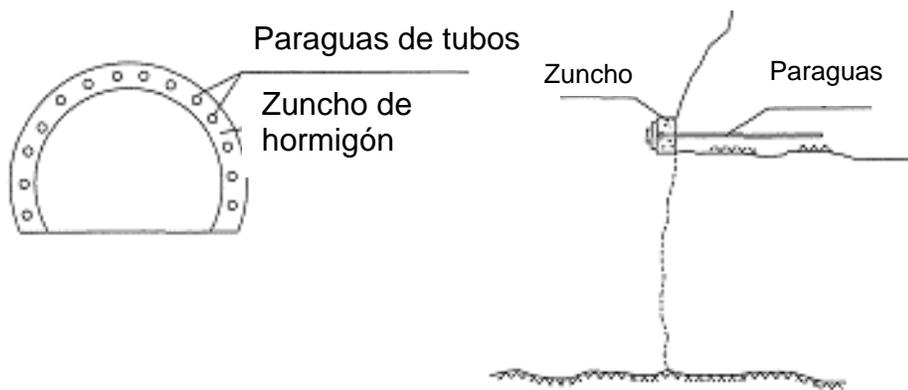


Figura 3.9 Paraguas zunchado

Como se comentó los micropilotes son capaces de transmitir las cargas de una estructura al terreno, mediante esfuerzos de compresión, y en ocasiones, de flexión y cortante, e incluso de tracción.

El zuncho de hormigón tendrá como objetivo principal distribuir las cargas que recibe de los micropilotes, será una estructura fuerte y resistente antes los efectos de la voladura, los detalles de construcción se muestran a continuación:

1. Se colocará de forma transversal a partir de 10 cm de cada extremo del micropilotes cuatro barras de acero de 5/8", dos por encima y dos por debajo, espaciada a 30 cm. Su longitud será 16.9 metros con el objetivo de llevar el zuncho hasta el piso. Ver figura 3.10.
2. Entre micropilotes y sujetas a las barras de acero superiores e inferiores se colocará barras de acero 5/8" de 40 cm.
3. Se encofra la estructura armada de tal forma que el espesor a obtener sea de 28 cm.
4. Se funde con hormigón de 25 Mpa con la BSA PM 702 E Putzmeister Mortelmaschinen.

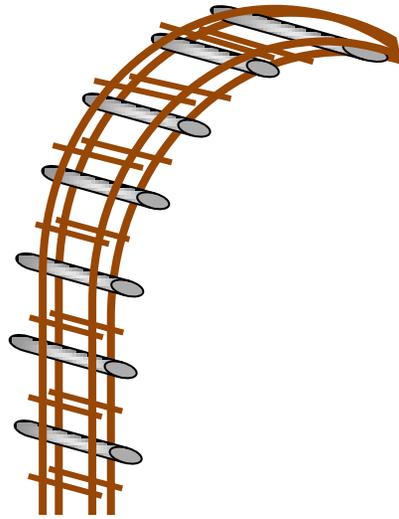


Figura 3.10 Vista tridimensional de la estructura armada del zuncho de hormigón



CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONOMICO E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

IV.1 – Análisis Económico

El calculo económico de un proyecto es de suma importancia, ya que a través de él se puede decir si el proyecto que se elaboró es factible o no.

La ventaja que posee el emboquille en este aspecto es que ocupa una parte pequeña de la obra y el actuar del lado de la seguridad no constituye un costo significativo.

El incremento de costo de la propuesta es muy pequeño si se compara con el valor de cualquier incidente que pueda ocurrir.

Para determinar la ventaja en valores que aporta la colocación del “Paraguas” en el talud frontal del emboquille de éste túnel, se procedió a lo siguiente. Ver tabla 4.1, 4.2 y 4.3.

Tabla 4.1 Cálculo con la propuesta de la colocación del Paraguas

Valor emboquille actual	Valor de la colocación del Paraguas		Emboquille con Paraguas	Aumento del costo
	Paraguas	Zuncho de hormigón		
\$ 23 910,55	\$7216,99	\$ 909,52	\$ 32 037,06	\$8 126,51
	\$8 126,51			



Tabla 4.2 Cálculo sin aplicar la propuesta de colocación del Paraguas y sin tener en cuenta el atraso del cronograma de ejecución

Valor del emboquille actual	Posible deslizamiento del talud		Costo total	Aumento del costo
	Escombreo	Sost.		
\$ 23 910,55	\$ 1 485,67	\$ 3 890,89	\$ 29 287,11	\$ 5 376,56
	\$ 5 376,56			

Tabla 4.3 Cálculo sin aplicar la propuesta de colocación del Paraguas y se tiene en cuenta el atraso del cronograma de ejecución

Valor del emboquille actual	Posible deslizamiento del talud			Costo total	Aumento del costo
	Escomb y Sost	Producción			
		Excav.	Sost		
\$ 23 910,55	\$ 5 376,56	\$ 39 627,70	\$ 3 749,42	\$72 664,23	\$ 48 753,68
		\$ 43 377,12			
	\$ 48 753,68				

Como muestra la tabla 4.1 la propuesta incurre en gastos de \$ 2 746.95 superior a los gastos de la tabla 4.2, ya que no se estimó el atraso del cronograma de ejecución, pero si se tiene en cuenta éste parámetro de vital importancia por ser el



objetivo principal de nuestra empresa, la propuesta existente proporciona un ahorro de \$ 40 627,17.

Como base informativa a continuación se detalla la distribución de los recursos para determinar el valor cuantitativo del Paraguas, Zuncho de Hormigón y el valor de las actividades de Escombreo, Sostenimiento y Cronograma de Ejecución por el posible efecto de deslizamiento. Ver Tabla.

✚ Paraguas Medio de Micropilotes

Tabla 4.4 Recursos Mano de Obra

Descripción	UM	Cantidad	Precio unitario	Importe
Ayudante de construcción	hh	\$168.5203	\$1.57	\$263.94
Ayudante de Plomero	hh	\$2.7001	\$1.74	\$4.69
Electricista instalador	hh	\$20.0000	\$1.88	\$37.56
Plomero	hh	\$20.0000	\$2.00	\$40.02
Soldador	hh	\$20.0000	\$2.23	\$44.61
Total		\$231.2204		\$390.82

Tabla 4.5 Recursos Equipos

Descripción	UM	Cantidad	Precio unitario	Importe
Barrenadora sobre neumáticos electrohidráulica Jumbo Axera 6-240	he	\$15,7950	\$87,31	\$1379,06



Inyector de cemento por aire 1-3 m ³ /h	he	\$2,7001	\$5,20	\$14,04
Bomba p/agua centrífuga 1500-4000 L/min	he	\$1,3500	\$10,50	\$14,18
Total		\$19,8451		\$1 407,28

Tabla 4.6 Recursos Materiales

Descripción	UM	Cantidad	Precio unitario	Importe
Obturador p/pozos de inyección de mortero	U	0,0038	\$ 66,35	\$ 0,25
Busing 3 a 2 pulg	U	1,0000	\$ 1,37	\$ 1,37
Unión de acero galvanizado de 3 pulg	U	37,0000	\$ 9,15	\$ 338,55
Busing de 2 a 1 ½ pulg	U	1,0000	\$ 0,36	\$ 0,36
Unión galv 150 Lb asiento plano s/zap #31 1 ½	U	1,0000	\$ 4,38	\$ 4,38
Nudo galv 150 lbs de 2x1pulg	U	4,0000	\$ 2,22	\$ 8,88
Nudo galv de 1 pulg	U	4,0000	\$ 0,69	\$ 2,76
Nudo galv de 2 pulg	U	4,0000	\$ 1,57	\$ 6,28
Tubo acero galv de 1 pulg de 5,8 m (15.50 kg/u)	Tn	0,0600	\$ 1.095,88	\$ 65,75



Tubo acero galv de 2 pulg de 5,8 m (33.06 kg/u)	Tn	0,1280	\$ 1.095,88	\$ 140,27
Válvula cuña de bronce 1 pulg	U	1,0000	\$ 4,11	\$ 4,11
Válvula cuña de bronce 2 pulg	U	1,0000	\$ 11,75	\$ 11,75
Electrodo p/soldar	Kg	1,0000	\$ 1,04	\$ 1,04
Manguera de uso industrial goma malla AC 350 lb T20 1	MI	1,0000	\$ 19,98	\$ 19,98
Conexión de manguera tipo Univ cierre rápido de 1 ½ pulg	U	1,0000	\$ 21,03	\$ 21,03
Unión universal de 2 pulg	U	1,0000	\$ 5,08	\$ 5,08
Cemento P-350 en bolsa	Tn	1,8900	\$ 144,47	\$ 273,05
Tubo Ac galv de 3 pulg	Tn	3,7300	\$ 983,80	\$ 3.669,57
Lámpara estanca de 40 watts	U	2,0000	\$ 23,57	\$ 47,14
Alambre TW #14	MI	10,0000	\$ 0,17	\$ 1,70
Cable royal cord 4 x 12	MI	20,0000	\$ 1,11	\$ 22,20
Cable multiconductor de 5 vías	MI	20,0000	\$ 37,75	\$ 755,00
Tubo fluorescente de 40 watts	U	2,0000	\$ 0,87	\$ 1,74
Tape plástico de 2 pulg de 50x10 mts	U	1,0000	\$ 2,48	\$ 2,48
Tape eléctrico de goma de 50x10	U	1,0000	\$ 6,67	\$ 6,67



m				
Manómetro tipo MM-40 T Uso Gral Diam 40 MM esc 0-25 kg/cm ² .	U	1,0000	\$ 7,49	\$ 7,49
Total				\$ 5 418.89

Tabla 4.7 Resumen

Resumen	Importe
Recursos Mano de Obra	\$390,82
Recursos Equipos	\$1 407,28
Recursos Materiales	\$ 5 418,89
Total	\$ 7 216,99

✚ Zuncho de Hormigón Armado

Tabla 4.8 Recursos Materiales

Descripción	UM	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Super Plastificante A2R9	Lt	6,00	\$ 1,88	\$ 11,28
Hormigón premezclado 30 mpa Bombeable(C410-AP1031-P 3/4P687)	M3	2,48	\$ 90,05	\$ 223,14
Altura <= 15 m con cualquier calidad de	M3	2,36	\$ 7,00	\$ 16,52



hormigón				
Acero 16 mm (5/8")	Tn	0,10	\$ 461,16	\$ 48,05
De 16 mm de diámetro	Tm	0,10	\$ 9,04	\$ 0,90
Alambre Ac Galv 1.2 mm	Tn	0,00	\$ 1.828,96	\$ 1,83
Hasta 16 mm en columnas	Tm	0,10	\$ 23,92	\$ 2,37
Pino del país aserrado	M3	0,78	\$ 488,76	\$ 383,19
Puntilla de 3"	Kg	1,00	\$ 2,15	\$ 2,15
Puntilla de 2 1/2"	Kg	2,00	\$ 2,15	\$ 4,30
Alambre 2.8 mm	Tn	0,03	\$ 1.067,69	\$ 29,90
Circulares o poligonales de mas de 4.00 m de altura	M2	16,84	\$ 3,82	\$ 64,33
Arme y desarme de andamios metálicos en interiores para trabajos en muros.	M2	53,00	\$ 0,75	\$ 39,75
Total de los presupuestos independientes				81.81
Total				\$ 909.52

Tabla 4.9 Resumen

Resumen	Importe
Recursos Materiales	\$ 909.52
Total	\$ 909.52



- Actividades de Escombreo, Sostenimiento y Cronograma de Ejecución por el posible efecto de deslizamiento.

Tabla 4.10 Por Concepto de Escombreo

Descripción	U/M	Cantidad	Precio unitario	Importe
Carga mecanizada de escombros (Cargador Volvo)	M3	339	\$1,02	\$345,78
Con topador, de cualquier material producto de las excavaciones a 25 m distancia.	M3	169,5	\$0,50	\$84,75
Por camino de tierra (velocidad 15-20 km/ h) hasta 1 km distancia con camión de volteo hasta 10 m3	C3	3,39	\$175,00	\$593,25
Presupuestos independientes				\$461,89
Total				\$1.485,67

Tabla 4.11 Por Concepto de Sostenimiento

Descripción	U/M	cantidad	precio unitario	importe
De 300kg/cm2 a presión en obras subterráneas (gunitaje)	M3	10	\$52,47	\$524,70
Fibra estructural X-FIBER 54	KG	22	\$31,25	\$687,50
Sigunit I50 AFX (Acelerante)	LT	180	\$2,44	\$439,20
Hormigón premezclado 30 MPa para	M3	10,5	\$92,70	\$973,35



proyectar(C450-AP799-AS342-GR)				
Super plastificante B2R9	LT	34,65	\$1,63	\$56,48
Presupuestos independientes y otros gastos:				\$1.209,66
Total				\$3.890,89

Tabla 4.12 Por Concepto de atraso del Cronograma de Ejecución en 2 días

Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario	importe
Excavación con Jumbo	M	6	\$ 6 604.616	\$ 39.627,70
Sostenimiento	M	6	\$ 624.90	\$ 3.749,42
Total				\$ 43.377,12

IV.2 – Impacto medioambiental

Las influencias medioambientales de las operaciones mineras se relacionan fundamentalmente con la extracción de materiales de la construcción e introducción de desechos mineros, por lo que se originan cambios en la circulación de sustancias y energía en el entorno. Estas influencias van transformando el paisaje y provocan el empeoramiento cualitativo o cuantitativo de los recursos y el origen o desarrollo de procesos dañinos o degradantes. En general, estas se como impactos ambientales.



Está claro que las exigencias medioambientales varían notablemente en el tiempo y de un país a otro, pero también está muy claro que la tendencia actual se orienta a que las actividades humanas distorsionen lo menos posible el espacio natural.

Las Regulaciones Ambientales constituyen un conjunto de medidas encaminadas a la protección del medio ambiente, y son específicas para el túnel Levisa – Mayarí.

A continuación se distribuyen por las áreas que cubre todo el emboquille.

La calicata

- ✓ La calicata se construirá para evitar por todos los medios sobrepasar los límites fijados en el proyecto.
- ✓ Para sobrepasar estos límites debe ser mediante la autorización expresa del proyectista y el inversionista bajo documentación oficial.
- ✓ El empleo de explosivos en la calicata se regirá por las regulaciones que para estos casos existen oficial y jurídicamente.
- ✓ Para evitar la erosión en la calicata se construirán bermas en los lugares factibles para ello, se protegerán los taludes con hormigón.
- ✓ Cuando la calicata se construya en pasos de ríos o arroyos en inversionista y el proyectista tendrán que dar la solución técnica para no afectar las aguas superficiales.
- ✓ Cuando la calicata se construya cercana a pendiente, se prohíbe el vertimiento de material rocoso por el borde de las mismas.
- ✓ Concluidos los trabajos en la calicata con talud pronunciado y bermas, estos serán recubiertos con capa vegetal para lograr la revegetación de los mismos y evitar la erosión eólica e hídrica.



- ✓ La construcción de la calicata contará con un control estricto de la calidad de los trabajos que se ejecute.

✚ El emboquille

El emboquille es la principal tarjeta de presentación del túnel ante los tuneleros y que, de su correcta construcción, depende en gran manera tanto su buena operatividad durante la explotación como su adecuada integración en el entorno.

En algunos túneles emblemáticos, se ha construido un emboquille monumental para resaltar la importancia de la obra realizada. Sin embargo, para los túneles que no poseen características excepcionales, que son la inmensa mayoría, parece que la tendencia actual se orienta a lograr una integración del emboquille en su entorno lo menos disonante que sea posible.

No hay duda de que unos taludes de gran altura a la entrada de un túnel son estéticamente poco recomendables. Los taludes de altura moderada pueden ser fácilmente ocultados por árboles u otras plantaciones, fácilmente integrados en el emboquille arquitectónico ó incluso ser parcialmente rellenados con tierra vertida sobre el falso túnel. Al atender criterios estéticos, deberemos tender a emboquillar con poca columna de roca, de forma que luego podamos ocultar o disimular el desmonte.



CONCLUSIONES

1. La propuesta para la colocación del “Paraguas” garantiza la estabilidad del talud frontal del emboquille del túnel Río La Ceiba del Tránsito Este – Oeste.
2. Al aplicar la propuesta la empresa obtiene ganancias desde el punto de vista económico comparado con la cuantía a emplear por un posible deslizamiento del talud frontal.
3. La propuesta de la colocación del “Paraguas” garantiza que el emboquille posea una adecuada integración en el entorno.



RECOMENDACIONES

1. Aplicar la propuesta de colocación del “Paraguas” en el emboquille del Túnel Río la Ceiba Tramo III-A.



BIBLIOGRAFÍA

1. Canavial, S.L. Ejecución de una galería como alternativa de acceso al Museo Minero de Escucha (Teruel). <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?>
2. Canavial, S.L. Ejecución de una galería como alternativa de acceso al Museo Minero de Escucha
3. Castanedo, J. (2009). Emboquilles, Tratamiento Talud Emboquille, Viseras y Portal de los Taludes.
4. Celada, B. (2002). Criterios para el diseño de emboquille. Ingeo Túnel 5, Capítulo 4.
5. Celada, B. Emboquille de los túneles de las variantes de Suria y Cardona
6. DSI Colombia S.A.C. Talud de acceso y emboquille para túnel de autopista estabilizado por bulones GEWI®. <http://www.dsi-colombia.co/referencias/referencias-mundiales-dsi/estabilizaciondetaludes/tunel-de-hindhead-autopista-a3-gran-bretana.html>
7. FCC Construcción. (2004). Túnel de L' Ollería II Valencia
8. González. Efecto de la Excavación de un Túnel en los Desplazamientos y Esfuerzos de la Pantalla y el Talud de un Emboquille. http://www.simulsoftingenieros.es/sites/simulsoftingenieros.es/files/descargas/presentaciones/SB2012/SB201204_JA_Gonzalez.pdf
9. Ibérica. Tecnología de Suelos. Cimentaciones especiales p 16.
10. Ilustre Colegio Oficial De Ingenieros Técnicos en Topografía, (2008). Control Geométrico en la Ejecución de Túneles p 3.
11. Informe RAULDAL 2011.



12. Jiménez, M; Romana, M. (2009) Los Túneles de El Perdón en La Autovía del Camino, entre Pamplona y Logroño p 71.
13. Manual De Instalación De Paraguas De Micropilotes En Túneles.
www.atrascopco.es
14. Manual de Túneles (1996). Boquillas, Capitulo 10.
15. Ortuño, L. (1998). Emboquille de Túneles. Ingeo Túnel 1, Capitulo 4.
16. Pérez, V. (2011) Construcción de los túneles de Barranco de Batalla.
17. Polo Narro. Paraguas Pesados De Micropilotes.
http://www.site.biz/descargas/Conferencias_pdf/Paraguas.pdf.
18. R. Raúl; J. Fernando; E. Pradera. La construcción del emboquille Norte del Túnel de Nocedo.
19. Rojas, S. (2012). Excavación de Túneles
20. Romana, M. (). Nuevas Recomendaciones De Excavación Y Sostenimiento Para Túneles Y Boquillas.
21. Romana, M. (2000). Uso de clasificaciones geomecánicas en las boquilla de túneles.
22. Romana, M. (2005). Emboquille Norte del Túnel 2 en la Variante de Gandía.
http://www.site.biz/descargas/Conferencias_pdf/Emboquille.pdf.
23. Romana, M. (2005). Emboquilles: Intersección De Talud Y Túnel.
http://www.stmres/recursos/downloads/STMR_Art_Emboquilles.pdf
24. Túnel de Buenaventura (2011). Proyecciones del Tramo Mayarí – Birán,
25. Túneles en Toquepala. http://www.ossaint.com/eng/tunel_toquepala.pdf



26. Univ. Nac. Autónoma de México. Enfilaje o Paraguas p 56.
27. Yuste, M. Micropilotes **KELLERTERRA**.



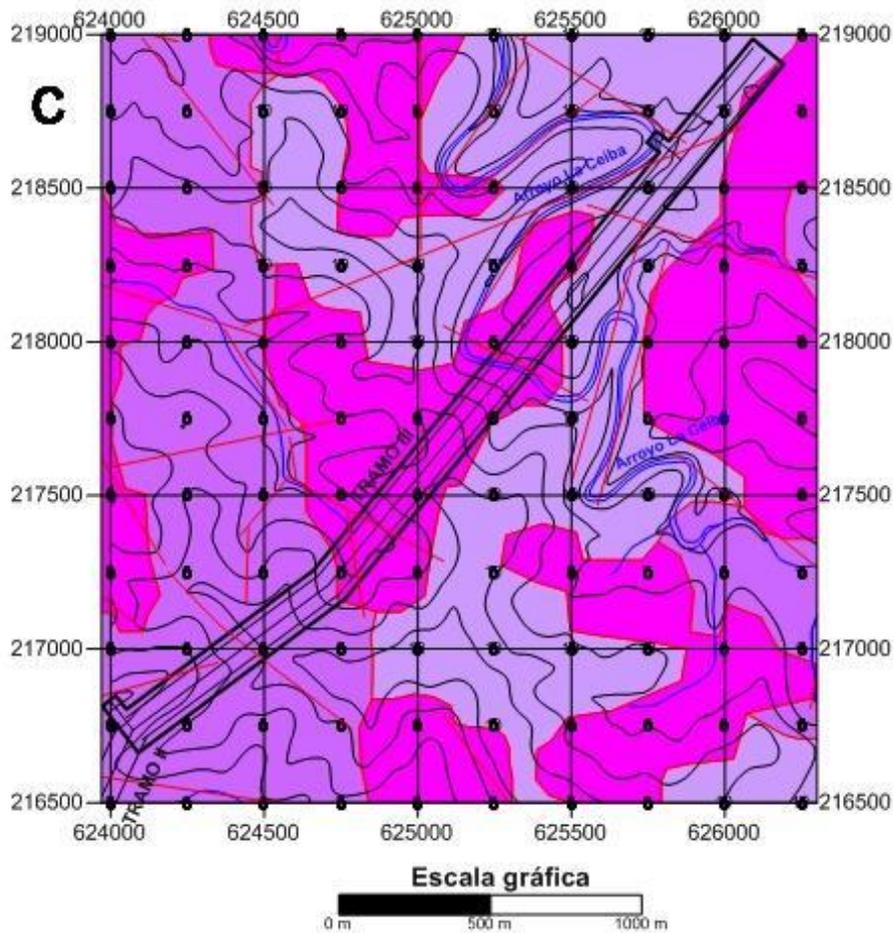
ANEXOS

Anexo 1. Efecto de una primera voladura poca cuidadosa sobre el terreno reforzado con un paraguas pesado y viga de atado



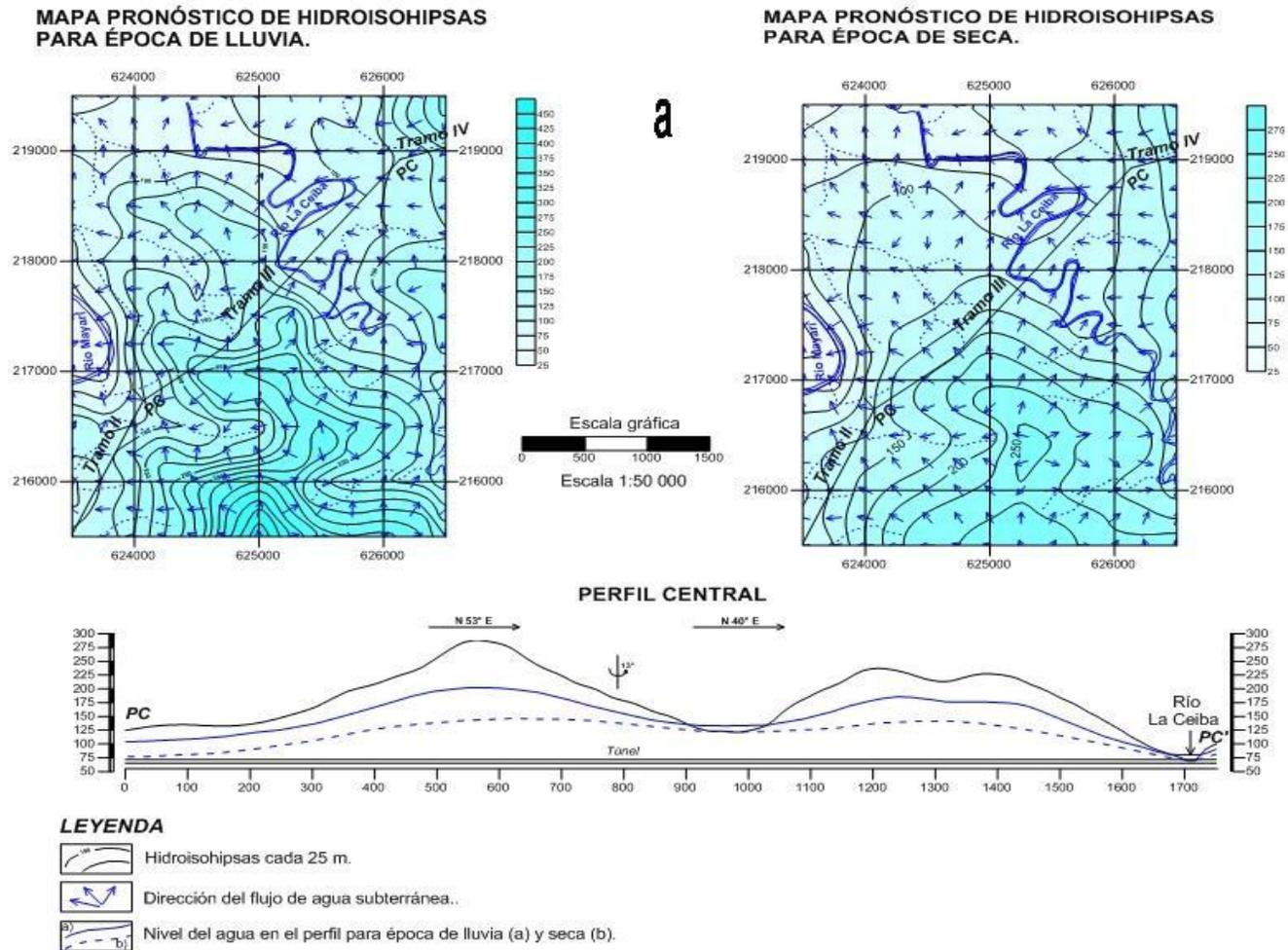


Anexo 2. Limite tectónico de las rocas del área de estudio



LEYENDA		
8	Sepentinitas agrietadas.	Límites tectónicos.
9	Sepentinitas muy agrietadas.	Curvas de nivel
10	Sepentinitas menos agrietadas.	Ríos
Fracturas.		Perfil izquierdo (PI), Perfil central (PC) y Perfil derecho (PD).

Anexo 3. Mapa de hidroisohipsas para épocas de lluvia y seca



Anexo 4. CEGUEDA, carretilla barrenadora capaz de obtener barrenos con una longitud mayor de 10 m.



Anexo 5. Calicata del túnel Guaro Manacal



Anexo 6. Proceso de construcción de la Calicata del túnel Rio la Ceiba



Anexo 7. Jumbo efectuando las perforaciones para la colocación del Paraguas



Anexo 8. Replanteo de los topográficos para la colocación del Paraguas



Anexo 9. Broca de 102 mm



Anexo 10. Tuvo de Acero Galvanizado de 90 mm diámetro exterior



Anexo 11. Micropilote constituido por dos tubos de acero galvanizado





Anexo 12. Tubos de acero galvanizado unidos con el sistema de rosca macho – macho

