

Evaluación de la ingeniería de perforación para apertura de túneles viales con explosivos, en vías de cuarta generación en Colombia, caso de estudio comparativo: túneles boquerón y de la línea

Evaluation of drilling engineering for the opening of road tunnels with explosives, on fourth generation tracks in Colombia, case study comparative: tunnels boqueron and line

Raúl Hernando Castaño Vargas¹, Alicia Fernanda Rojas Coral²

¹Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. U1102979@unimilitar.edu.co

²Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. U1102980@unimilitar.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN DEL ARTÍCULO: 01/03/2017 FECHA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO: 10/06/2017

RESUMEN

El presente artículo propone una breve comparación, a manera de reflexión, sobre la secuenciación de trabajos en la construcción de túneles viales, a partir de datos de entrada, tales como: el número de máquinas, número de trabajos, la cantidad de etapas, y los tiempos de preparación y operación de los trabajos en cada una de éstas, con el objetivo de minimizar el tiempo de ocupación total de procesamiento de todas las etapas, de tal forma que se obtenga una secuencia más eficiente de la ejecución de este tipo de proyectos. Los resultados obtenidos mediante la aplicación del algoritmo desarrollado a un escenario particular de tres etapas y dos trabajos han demostrado la disminución del tiempo de ocupación total de las etapas en 39 unidades de tiempo frente a una solución arbitraria con una ocupación total de 59 unidades de tiempo, confirmando de este modo que es significativo el algoritmo en la aplicación a un problema que exhibe estas características.

PALABRAS CLAVES

Planeamiento minero, programación de proyectos, algoritmos heurísticos, problema de programación de taller abierto.

ABSTRACT

This article proposes a brief comparison on the sequencing of works in the construction of road

tunnels, from input data, such as: the number of machines, number of jobs, the number of stages, and the preparation and operation times of the works in each of these, with the objective of minimizing the total occupation time of all the stages, in such a way that a more efficient sequence of the execution of this type of projects is obtained. The results obtained by applying the algorithm developed to a particular scenario of three stages and two works have shown the decrease of the total occupation time of the stages in 39 units of time against an arbitrary solution with a total occupation of 59 units of time, confirming in this way that the algorithm in the application is significant to a problem that exhibits these characteristics.

KEYWORDS

Mining planning, project scheduling, heuristic algorithms, open workshop scheduling problem.

INTRODUCCIÓN

La nueva infraestructura de Colombia debe considerar el cambio climático que conlleva una mayor dinámica geomorfológica. Se deben diseñar y construir obras que eviten las grandes inestabilidades superficiales, las formaciones geológicas de alta degradabilidad y los sectores con grandes movimientos en masa y coluviones potencialmente inestables. Las zonas protegidas ambientalmente deberán ser conservadas con el

Para citar este artículo / To cite this article

R. H. Castaño Vargas; A. F. Rojas Coral. Evaluación de la ingeniería de perforación para apertura de túneles viales con explosivos, en vías de cuarta generación en Colombia, caso de estudio comparativo: túneles boquerón y de la línea. Revista Ingenieros Militares. No. 12, pp. 60, 2017.

uso de obras, que disminuyan sustancialmente el impacto ambiental.

En consecuencia, este documento busca hacer una comparación de los diferentes procedimientos de construcción que se han empleado en Colombia para la creación de los diferentes túneles viales, discutiendo cuál de estos métodos generar una mayor productividad en el menor tiempo, generando de este modo un análisis de la efectividad de creación de los túneles viales [1]. Teniendo en cuenta que en Colombia el levantamiento de túneles carreteros es condicionalmente nuevo y la construcción y la adecuación de las carreteras en ejecución y en proyecto, aprecian un buen número de estos.

La primera conducta de ingeniería llevada a cabo por el hombre prehistórico fue la excavación de túneles, en el momento que este contemplo la necesidad de extender el ambiente de las cavernas que le daban abrigo. Al efectuar esta labor el hombre descubre, de forma ocasional agua y yacimientos de minerales lo que impulsa a perforar en su indagación. Por este motivo se puede asegurar que la ciencia de los túneles guarda sus principios en la minería, si bien sus intenciones son diferentes e inclusive opuestas [2]. En un túnel se aprecia el ámbito o recinto que concibe y desecha el componente que guarda. En cambio a gran diferencia en una mina se desecha el ámbito o recinto y se valora el material obtenido.

En la época moderna y con el avance de los ferrocarriles se obtiene un importante adelanto en la fabricación de túneles. Adicionalmente se comienza a emplear máquinas y sistemas constructivos actuales que sustituyen el trabajo manual y apresura el proceso [3]. En la segunda mitad del siglo XIX se crea un adelanto impresionante con la construcción de los extraordinarios túneles alpinos Ferroviarios, que dan lugar al comienzo de la era de las carreteras y con esta era no podrían faltar los túneles. El túnel de San Gotardo cuenta con casi 17 km de longitud el cual es en la actualidad el más largo en su clase en todo el mundo [4].

Reflexiones

Túnel del Boquerón

El túnel del Boquerón, levantado en la carretera

Bogotá - Villavicencio es una gema innata ya que cumple con los estándares internacionales y es uno de los primeros de su especie en Colombia en ser terminado y dado a su utilidad exitosamente, el proyecto de tener una vía extraordinaria que relacione a la capital del país con los llanos orientales que son una de las despensas de la nación, no es una nueva ambición del país. Aunque parezca increíble, desde hace 238 años se tiene este proyecto. La diferencia es que durante el siglo XVIII la ilusión de llegar por arribar a la llanura Colombiana, re-presentaba una aventura de más de un mes de duración.

En el periodo del cuarenta el recorrido a Bogotá podría extenderse por más de tres días. El plan actual aprecia un recorrido de tan sólo 90 minutos, un tiempo naturalmente impensable para nuestros antecesores. El General Santos Gutiérrez en 1869 manifestó unas obras entre Quetame y Villavicencio, que fueron interrumpidas debido a la falta de presupuesto nacional. Datos más recientes demuestran que la primera fase entre Bogotá y Chipaque, se culminó en 1928, la segunda fase entre Chipaque y Caqueza se terminó del 1932; y finalmente, la carretera llegó a Villavicencio en 1936, actualmente tiene 92 kilómetros.

Diseño Actual

El plan actual de la vía Bogotá - Villavicencio se viene realizando alrededor de cinco años. El inicio del levantamiento de esta considerable vía tiene sitio con el levantamiento de señalados puentes en cercanía a los municipios que se encuentran entre Cundinamarca y Meta. Originalmente la firma RECCHI GLF empezó la construcción del primer tramo de carretera desde Villavicencio hacia Bogotá. Esta distancia comprendía vías a cielo abierto, túneles y puentes de gran amplitud; todo el recorrido de vía es nuevo y enlaza con el rumbo antiguo en el sector de Pipiral. Este trecho conducirá el movimiento vehicular separado del sector antiguo de vía que atraviesa por el alto de Buenavista y el cual, debido a su petrografía y configuración, presenta alto riesgo de deslizamientos. Ahora la vía dirige a Villavicencio a través del túnel de Buenavista, para dar en el anillo vial de la población de Villavicencio. En este instante la firma Con-concreto S.A. finaliza los trabajos de la vía y Túnel en esta fase. El próximo tramo en dirección a Bogotá, inicia en el sector de

Pipiral y finaliza antes de llegar a Caqueza. Su edificación fue iniciada por la firma Brasileira Andrade Gutiérrez y concibe la corrección de la vía actual con la construcción de 42 puentes nuevos.

Túnel de La Línea

En el año de 1998 el INVIAS contrata al Consorcio La Línea, para elaborar los estudios de la Fase III para la edificación de la doble calzada en el sector conocido como “Cruce de la Cordillera Central” y el planeamiento de la Fase II ya avanzada del Túnel de La Línea. El diseño se encuentra ubicado en la zona central del país y empalma los departamentos de Tolima y Quindío, atravesando la cordillera central por el Alto de la Línea. Este pasaje hará parte de la troncal Bogotá - Buenaventura, en el tramo que conduce de Armenia a Ibagué.

Construcción del Túnel de La Línea

El diseño del túnel y su construcción se desarrolla siguiendo el método tradicional permitiendo ejecutar la obra en forma secuencial. El soporte utilizado está constituido básicamente por pernos, arcos, concreto lanzado y enfilajes, siendo utilizados de acuerdo con las características del terreno, desde eventuales pernos y concreto lanzado en terrenos consistentes, hasta enfilajes, concreto, arcos y pernos en terrenos de baja calidad [5].

Con la implementación de este método se logra que la misma roca actúe como elemento de auto-soporte y de esta forma disminuir la inducción de daños en la roca, sin embargo, es muy importante para el proceso controlar el comportamiento de la interacción roca – soporte y tomar mediciones de las deformaciones de la roca. El túnel comienza en el portal las Américas (Quindío) a una altitud de 2.417 msnm y finaliza en el portal Bermellón (Tolima) a una altura de 2.505 msnm, con una longitud mínima de 8.8 Km, un ancho de calzada de 10.50 m que incluye dos carriles, bermas y sobrancho de 2.50m y andenes laterales de 1 m.

Método de Voladura

- La utilización de explosivos para la realización de túneles, los resultados

obtenidos del estudio son presentados en ítems específicos y contemplaban varias alternativas de las cuales se seleccionaron las siguientes etapas:

- La construcción de un túnel piloto de aproximadamente 8.6 Km de longitud y 4.50 m de diámetro
- La construcción de un túnel principal unidireccional de aproximadamente 8.8 Km de longitud paralelo al túnel piloto, en dirección Cajamarca – Calarcá
- La construcción de la segunda calzada entre los municipios de Calarcá (Quindío) y Cajamarca (Tolima), incluyendo las respectivas obras requeridas para la conexión al Túnel del II Centenario sentido Cajamarca – Calarcá
- La construcción del segundo túnel principal unidireccional de aproximadamente 8.6 Km de longitud, en dirección Calarcá – Cajamarca
- El efecto arco se da de forma natural solo si se ayuda al terreno con una intervención apropiada que establezca el túnel.
- La iluminación de túneles depende de factores como lo son la versatilidad lumínica, diseño modular y la temperatura de diseño.

Método Tradicional

Al tener en cuenta que el método tradicional es uno de los más seguros para construir túneles de sección superior a 8 metros, la obra empieza con la excavación de la cara lateral de la obra la cual se divide en dos niveles, realizándose primero el inferior para seguidamente darle una estabilidad al contorno al realizar el revestimiento a sus paredes de concreto lanzado y continuar excavando encima de él. Una vez que se realiza el túnel del segundo nivel de la cara lateral de concreto se procede a continuación a espera su fraguado. A la vez que se ejecutan las caras laterales se realiza la galería, que será fundamental para la ejecución de las estructuras internas [6].

Al estar listo todo esto, comienzan a realizar desde lo alto de la cara lateral la estructura que formará la bóveda del túnel. Estas estructuras, que unen las caras laterales con la galería y a su vez las caras laterales contrarias, las cuales son también rellenadas de concreto una vez finalizadas [7].

Se repite el proceso tantas veces como sea necesario hasta conseguir la longitud total del túnel. Una vez fraguado todo ese hormigón y ya conformándose en una estructura de gran resistencia, se realiza el vaciado del interior de la caverna con excavadoras. Cuando los túneles a construir poseen una gran sección, normalmente 60-70 m², la excavación se suele realizar por fases, encontrándose que cuando la calidad del macizo rocoso no es buena y como consecuencia la estabilidad del terreno es baja, se recomienda la excavación a sección partida en terrenos de clase media a muy mala. Sólo se recomienda excavación a sección completa cuando el RMR es mayor a 60 y en secciones múltiples cuando el RMR es inferior a 20 [8].

CONCLUSIONES

Se encuentra que la utilización adecuada y necesaria del explosivo optimiza la voladura, dentro de los cuales es recomendable hacer los ensayos de laboratorio más adecuados para establecer las características del macizo.

De igual forma se requiere escoger el método más apropiado para el arranque de excavación, donde es fundamental escoger las brocas, los escudos y la maquinaria más idónea para desarrollar la excavación de acuerdo a los parámetros y clasificación del macizo.

Se debe evaluar el análisis de riesgos en los túneles en cuanto a la seguridad, la identificación del peligro, el análisis de fiabilidad y el análisis de consecuencias, asociados a la máxima pendiente que es de 5% y a partir de 3% se recomienda hacer un análisis de riesgos.

REFERENCIAS

- [1] L. Cornejo, Excavación mecánica de túneles, Madrid, España: Rueda, 1988.
- [2] M. Romana Ruíz, "Recomendaciones de sostenimiento para túneles," Dialnet, nº 476, pp. 40-50, 2006.
- [3] L. Cornejo Álvarez, "Las máquinas rozadoras en túneles y minas," *Revista de Industria Minera*, nº 243, pp. 5-26, 1984.
- [4] J. Hernández Michaca, J. Pisanty Levy, V. Sánchez Granados, M.

Carreón Méndez y M. Roldán ORTIZ, «Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos para la construcción y operación de túneles,» Secretaría de comunicaciones y transportes. Instituto Mexicano de Transporte, México D.F., México, 2000.

- [5] P. Soto Saavedra, "Construcción de túneles," Valdivia, Chile, 2004.
- [6] E. López, P. García y C. López Jimeno, «Manual de voladuras en túneles,» Carlos López Jimeno, Madrid, España, 2010.
- [7] F. Abadía Anadón, Manual de túneles y obras subterráneas, Carlos López Jimeno, 2011.
- [8] O. Aduvire, C. López Jimeno y G. Llopis, "Arranque y ripado de macizos rocosos," *Ingeopres (Madrid)*, nº 2, pp. 32-40, 1992.