



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# ANÁLISIS GEOMECÁNICO Y ESTABILIDAD DEL TÚNEL CHACAHUARO - TRAMO 2 IIRSA CENTRO

Hismael Rodríguez<sup>1</sup>, Miguel Carvajal Ortiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CONCAY S.A. SUCURSAL PERÚ, Lima, Perú (hismaelrodriguez@gmail.com)

<sup>2</sup> CONCAY S.A. SUCURSAL PERÚ, Lima, Perú (mcarvajal@concaysa.com)

## 1. Introducción

Conocer el comportamiento mecánico del geomaterial (roca blanda y macizo rocoso), es una herramienta útil para administrar el riesgo geotécnico durante el proceso de excavación de un túnel vial. Esto debido a que previene al constructor de ciertas amenazas de inestabilidad causadas por modos de rotura; entre ellos la rotura por flexión y rotura por cizallamiento, ello ayuda a redefinir las fases de excavación en ciertos sectores; y a definir el tipo, cantidad y oportuna instalación del soporte; ello se logra gracias a los actuales avances de la tecnología computacional, conjuntamente con el estado del conocimiento actual.

La variante Chacahuaro II (Túnel Chacahuaro), está localizado en Perú, en el departamento de Lima, provincia de Huarochiri, al noreste de la ciudad de Lima, a 80 km de distancia, Figura 1.



Obra Subterránea	Longitud	Progresiva
Túnel Chacahuaro II	360 m	Km 80+140 – Km 80+500

**Figura 1.** Ubicación del túnel Chacahuaro.

El objetivo del presente artículo, es describir el comportamiento mecánico del geomaterial (roca blanda, macizo rocoso), que alberga la obra subterránea (túnel Chacahuaro), y establecer las condiciones geológicas y geotécnicas que interactúan durante el proceso de

construcción que indujeron a adoptar el sostenimiento final entre las progresivas Km. 80+152 a Km. 80 + 210.

## 2. Metodología

El diseño y construcción de obras subterráneas tiene generalmente dos fases: La primera supone condiciones del espacio subterráneo de acuerdo a investigaciones básicas (mapeo geológico geotécnico a partir de estaciones geomecánicas, geofísica y sondajes) y define antes de la construcción un plan de acciones. La segunda fase de diseño se ejecuta durante la construcción, con base en las condiciones encontradas durante el proceso de excavación.

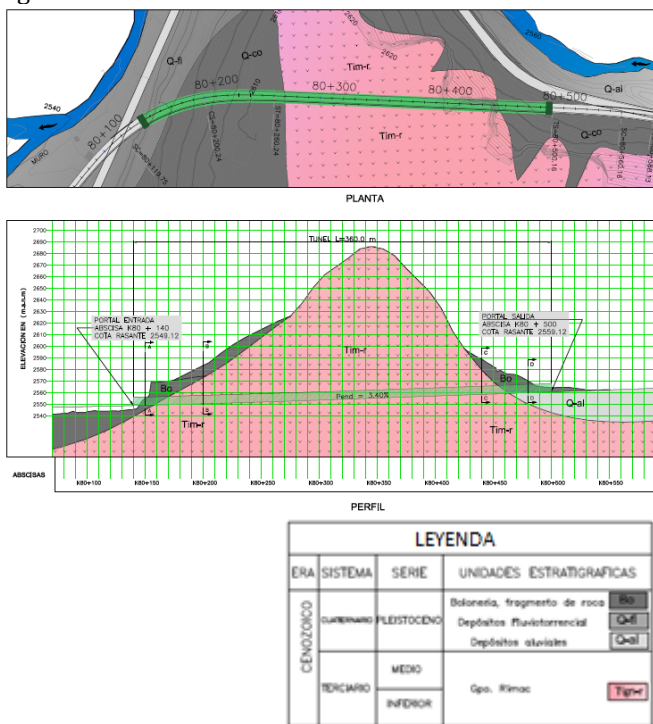
El análisis geomecánico y estabilidad del túnel, empieza en la recolección sistemática y representación de datos geológicos y geotécnicos. Las estructuras de deformación de los macizos rocosos van a condicionar la estabilidad geomecánica de estos frente a las posibles modificaciones de su estado tensional derivadas de las diferentes actividades de la ingeniería. (Lillo & Oyarzun, 2013).

Entre los métodos empíricos de sostenimiento a usar se tiene los sistemas de descripción del macizo rocoso: RMR (Bieniawski, 1989) y Q (Barton et al., 1980). Por otro lado, el sistema GSI (Hoek & Brown, 1980) estima parámetros de resistencia última, más que un sistema empírico de diseño de túneles, brinda información acerca de las condiciones del macizo rocoso y permite obtener parámetros mecánicos con fines a ser aplicados en modelos numéricos o físicos. El método analítico de análisis de estabilidad del túnel, es aquel que está basado en conceptos de plastificación del macizo y de la rigidez del sostenimiento, a diferencia; los métodos numéricos están, basados en relaciones tenso - deformacionales que gobiernan el comportamiento mecánico del geomaterial (roca blanda y macizo rocoso). El método de elementos finitos, según

Zienkiewicz (1986), un macizo rocoso, es considerado como el ensamble de una serie de elementos estructurales interconectados mediante un número finito de nodos.

**3. Resultados y Discusión**

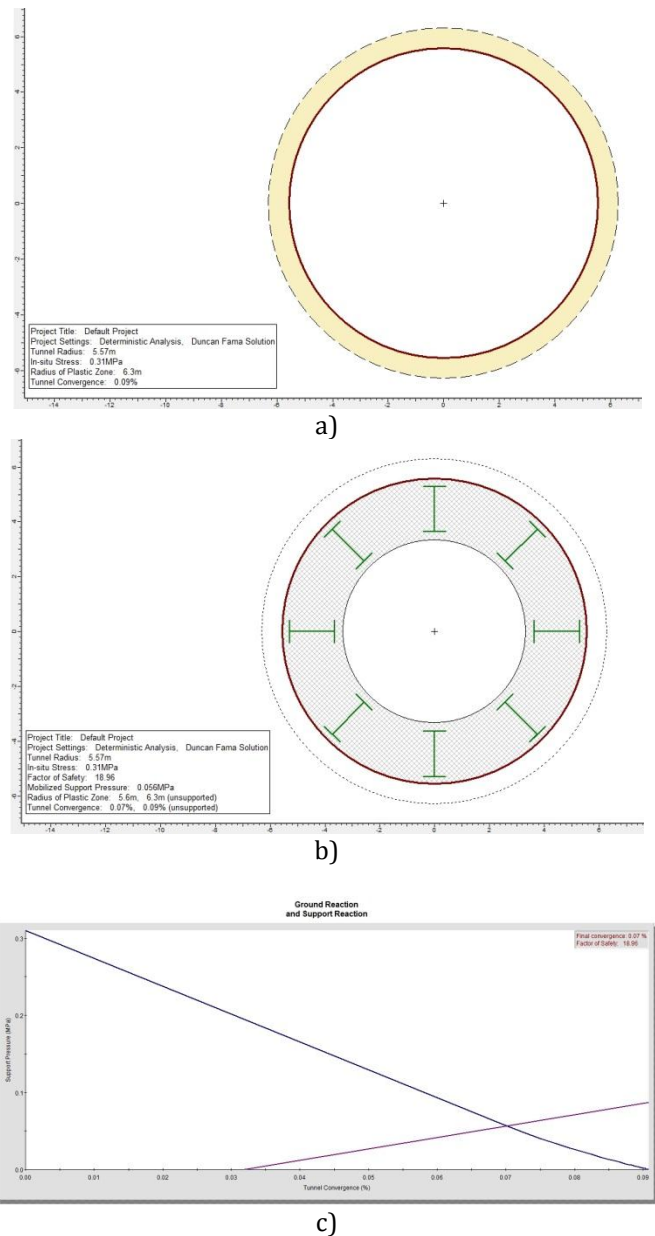
El túnel tiene una sección transversal en forma de herradura con un área de excavación de 76.58 m<sup>2</sup> (ancho igual a 11,14 m y altura de 7.55 m). La excavación del túnel se desarrolló a través de metodología tradicional de perforación - voladura y excavación mecánica. Desde el punto de vista litológico; en el túnel se encuentran afloramientos de edad correspondiente al Cretáceo y al Paleógeno. Compuestos principalmente por rocas volcánicas (andesitas porfíricas) y sedimentarias (calizas, limolitas y areniscas), litología que corresponde al Grupo Rímac, los que se encuentran cubiertos por depósitos del Cuaternario de tipo coluvial y aluvional (deslizamiento), figura 2.



**Figura 2.** Perfil Geológico. Fuente: Elaboración Propia.

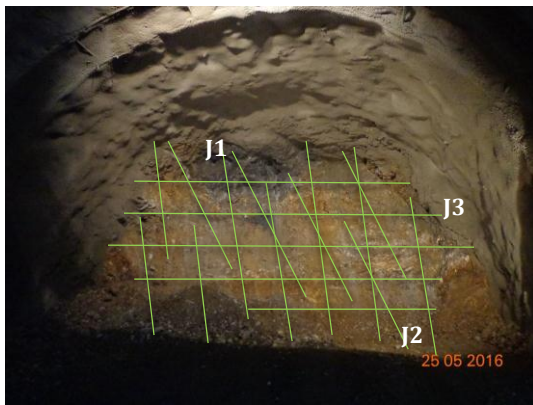
Desde el punto de vista geomecánico, el túnel Chacahuaro desde el portal de entrada (progresiva 80+152), hasta la progresiva 80+192, el túnel atraviesa el geomaterial constituido de roca blanda; en la progresiva 80+192, se tienen macizos de clase III, según el índice RMR<sub>89</sub>, consiguientemente macizos de clase IV y II, según el índice RMR<sub>89</sub>.

Para determinar la estabilidad del túnel en las progresivas con presencia de roca blanda, se ha usado el método analítico (solución de Duncan – Fama), figura 3a, 3b, 3c.

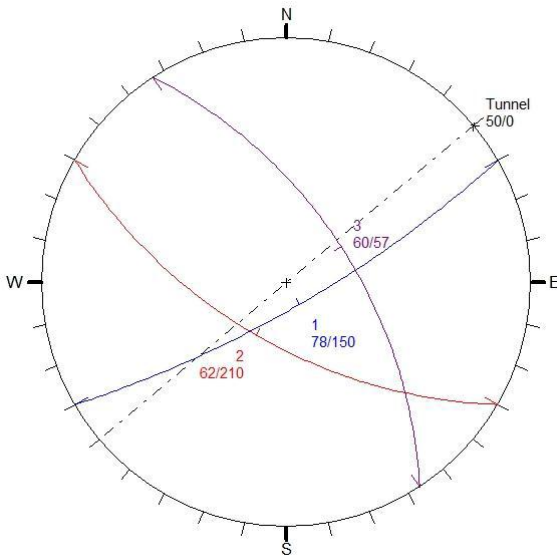


**Figura 3.** a) Plastificación del terreno analizado en la progresiva 80+175, b) Sostenimiento aplicado en la progresiva 80+175, con el fin de disminuir la zona de plastificación d) Curva característica del terreno y la curva característica del sostenimiento aplicado en la progresiva 80+175.

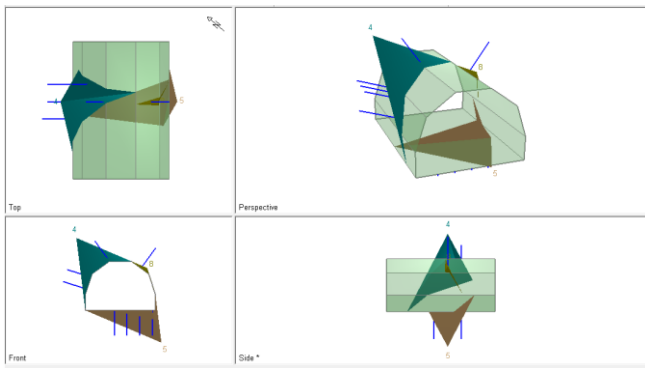
En la progresiva 80+210, se tiene macizo rocoso de clase III, según el índice RMR<sub>89</sub>, cuyas discontinuidades tienen los siguientes buzamientos/direcciones de buzamiento: J1 (78/150), J2 (62/210), y E (60/57), el rumbo de la excavación es N50°E. Vea la figura 4a, 4b y 4c.



a)



b)

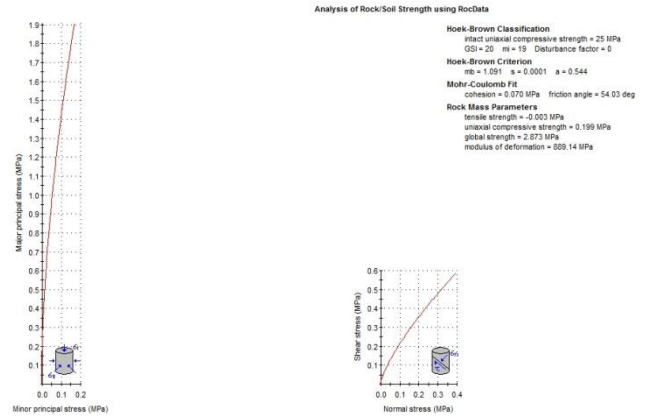


c)

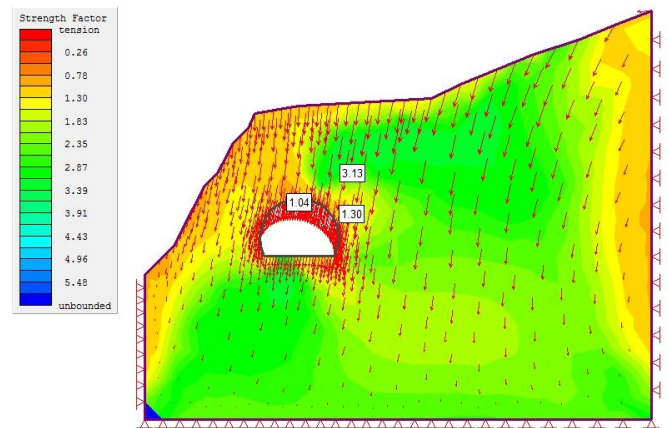
**Figura 4.** a) Fotografía del frente en la progresiva 80+210, b) Salida del programa Dips. c) sostenimiento a aplicar con pernos helicoidales de 4.5 m de longitud y 1” de diámetro.

En la progresiva 80+175 se aplica el método de elementos finitos (MEF). Los parámetros considerados en el análisis numérico, son: altura (H) = 12.45 m, densidad ( $\gamma$ ) = 0.025 MN/m<sup>3</sup>, GSI = 20,  $m_i$  = 19, E = 889.14 Mpa,  $\nu$  = 0.3, Cohesión (C) = 0.070 Mpa, y Ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 54.03 °, estos datos han sido obtenidos a partir del levantamiento topográfico, mapeo geológico y ensayos geotécnicos, los que han sido usados en softwares como: Rock data y Phases. En el análisis de esfuerzo – deformación, se ha determinado factores de seguridad cercanas a 1, lo que

indica que la resistencia del material es menor que los esfuerzos inducidos. Por lo que el sostenimiento a utilizar, es: Cerchas espaciadas a 0.80 m y concreto lanzado de 0.15 cm con una RCU = 25 MPa, figura 5a, y 5b.



a)



B

**Figura 5.** a) Salida del programa RocData v. 3.0, b) Factores de seguridad y dirección de vectores ; salida del programa Phases v. 5.0.

**Conclusiones**

La modelación numerica – método de elementos finitos (MEF), simula el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, el grado de confianza esta condicionado a la exactitud de los datos provenientes de campo (calidad del macizo, altura) y laboratorio (peso específico, Parámetros de Resistencia, parámetros dinámicos). En el análisis de esfuerzo – deformación, se ha determinado factores de seguridad cercanos a 1, lo que indica que la resistencia del material es menor que los esfuerzos inducidos.

En la evaluación de la estabilidad y diseño del túnel se ha considerado que el empernado y sostenimiento con shotcrete garantizara la estabilidad a largo plazo del túnel.

El método analítico, debe, ser consensuado con los métodos empíricos y el análisis de equilibrio estático de cuñas, con la finalidad de verificar la existencia de la inestabilidad.

**Agradecimiento**

El trabajo ha sido apoyado por la empresa Concay S.A. Sucursal Perú.

### **Referencias**

Barton et al., (1980) Application of Q-System in Design Decisions." *Subsurface Space*, ed. M. Bergman, Pergamon, New York, pp. 553- 561.

Bieniawski, Z. T. (1989) Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York

Hoek, E. & Bray, (1980) Underground Excavations in Rock, London, Inst. Min. Metall.

Zienkiewicz, O. (1968) "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics". London.

Javier & Oyarsun. (2013). Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera. Ediciones GEMM. 206 p.