



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Construcción de túnel hidráulico con información básica

Paul Johan ALIAGA ROBLES¹, Luis ROBLES ESPINOZA², Nerio ROBLES ESPINOZA³

Obrainsa¹ Robles Geomecánicos^{2,3}.

Resumen.

La construcción del túnel N° 07, que tiene una longitud de 615m., con una dimensión de 3.4 por 3.4 metros y una cobertura máxima de 140m., forma parte del sistema de conducción de agua mediante túneles del proyecto hidroeléctrico Chancay-Rucuy, el cual fue construido con información superficial, utilizando levantamiento geológico geotécnico de campo, resistencia del macizo con el martillo de Schmidt, registro de discontinuidades, interpretación de bloques, análisis estereográficos y mapa de pendientes a partir del plano topográfico. Este documento registra la información preliminar usada y que tan cerca esta fue al ser contrastada con la realidad y las consecuencias de la construcción sin investigación.

Palabras Clave. Túnel, Mecánica de rocas, Geomecánica.

Key words. Tunnel, rock mechanics, geomechanics.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Chancay se ubica, al norte de Lima, en la provincia de Huaral, este río tiene un gran potencial energético, por eso está programada la construcción de varias centrales alrededor de esta zona. El proyecto consiste en la construcción de una central hidroeléctrica, que recibirá el agua transportada del río Chancay a través de 13 km entre túneles y canales el cual termina en una caída de 688 m. directo a la central hidroeléctrica generando 20 MW de energía. El túnel 07 es parte de un sistema de túneles, que servirán para conducir agua a la central, la construcción de los túneles fue hecha por el método de perforación y voladura. La geología está formada por rocas volcánicas y rocas ígneas, de naturaleza andesita,

riolitas, dacitas y tonalitas que son en su mayoría rocas resistentes y en menor cantidad materiales piroclásticos. La construcción se realizó con información preliminar y se necesitó un soporte constante de geología para ajustar el diseño.

CONDICIÓN GEOLÓGICA

Las principales Formaciones geológicas que afloran en la zona del proyecto son;

FORMACIÓN VOLCÁNICO CALIPUY

Consiste de rocas volcánicas de gran extensión, que va desde el norte al centro del Perú. La litología tiene una gran variación, principalmente se forma de andesitas de color purpuras y piroclastos gruesos, toba finamente estratificada, basaltos riolitas y dacitas. Es común encontrar piroclastos con composición andesítica y secuencias gruesas de lavas andesíticas purpuras.

TONALITA

En general la tonalita es una roca leucocrata con grano medio, con cristales prismáticos de hornablenda y capas de biotita. La biotita y la hornablenda son minerales con el mismo tamaño. A lo largo del proyecto la tonalita es una roca que se presenta mucho, pero presenta variaciones de un lugar a otro, las variaciones consisten en el incremento de los minerales maficos y la variación de la hornablenda. La variación de los minerales de feldespatos potásicos hacen una gran transformación cambiando una tonalita a una granodiorita.

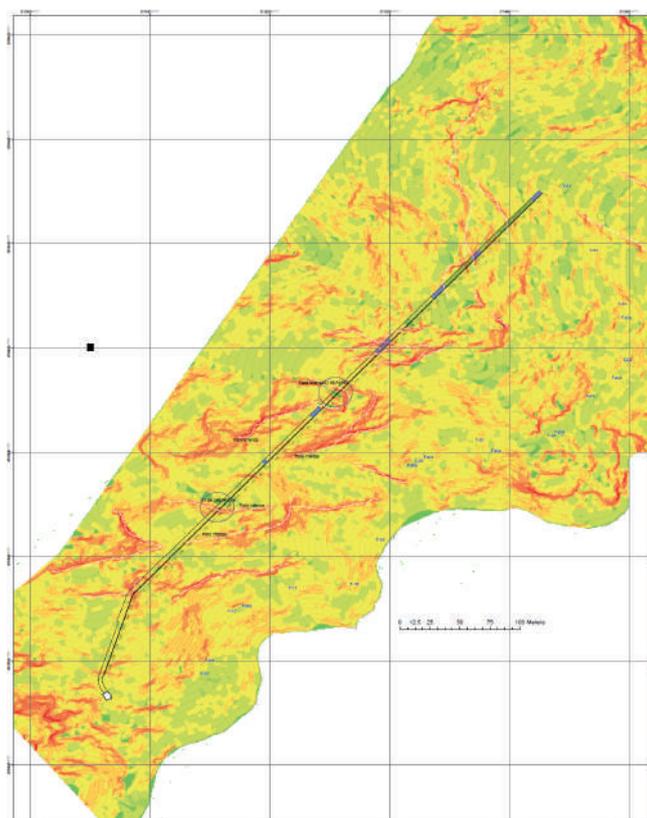
En el proyecto se tiene dos afloramientos de roca intrusiva en forma de stocks, una está ubicada en las inmediaciones de Acos y la otra al este de Acos. Estos dos stocks se ubican a través del valle de Chancay y están dentro de la Formación volcánico Calipuy.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

El acceso a la zona del proyecto era muy dificultoso, razón por la cual el trabajo de exploración diamantina fue imposible de implementar, ya que se debía construir una ruta solo para instalar las maquinas, así fue como se usó un mapa de pendientes para indicar y analizar las zonas que podrían presentar dificultades a la hora del trabajo de excavación en el túnel.

MAPA DE PENDIENTES

La creación del mapa de pendientes parte de la técnica de relacionar las zonas de altitudes pronunciadas a través de la combinación de gráficos DEM, TIN y sombras de terreno. Esta técnica nos ayuda a encontrar zonas de debilidad en un proyecto subterráneo, partiendo de la idea de que zonas del terreno con depresiones pueden ser considerados zonas débiles. Se usó esta técnica en el túnel 07 dándonos un acercamiento de donde se podría encontrar zonas de inestabilidad y así buscar, prever y proponer medidas de contención antes de que la excavación empiece.



1.1.1 REGISTRO DE DISCONTINUIDADES.

Para el ingreso del personal y de la maquinaria de excavación, se creó una ruta de acceso que va desde la entrada a la salida del túnel y que es además paralela al eje del túnel. La construcción de esta ruta dio la oportunidad de obtener las características principales de las discontinuidades y la resistencia de la roca. Con la necesidad de obtener toda la información posible varias estaciones lineales de medida fueron creadas, estas estaciones sirvieron para obtener las características principales que se tendrá al momento de excavar el túnel. Con esta información fue posible definir anticipadamente

la forma y el movimiento de los bloques que se encontraran dentro del túnel. Asumiendo tipos y condiciones que se enfrentara al momento de la construcción del túnel.

Se realizó el análisis en 12 estaciones, y se obtuvo tres sistemas de discontinuidades principales, 349/68, 175/68 y 056/20, la primera y la segunda discontinuidad van paralelas al eje del túnel y la tercera va perpendicular al túnel. Con esta información se asume como será el movimiento y por el espaciamiento que hay entre estas tener un acercamiento del tamaño de los bloques (0.6 a 0.2 m).

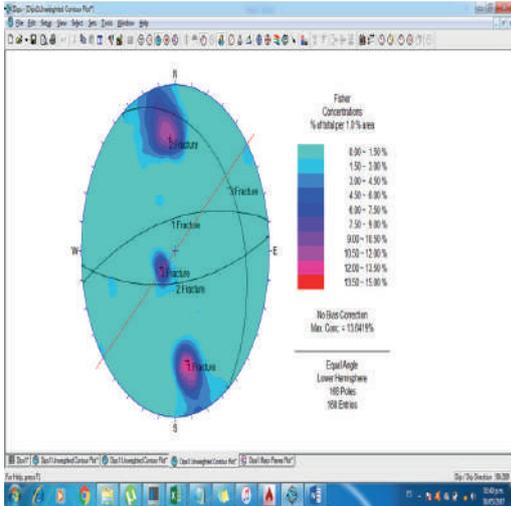


Figura 2: Dirección general de las discontinuidades en el túnel

1.1.2 RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO USANDO EL MARTILLO DE SCHMIDT.

Se seleccionaron superficies frescas en las 12 estaciones a lo largo de la zona paralela al túnel para obtener la resistencia del macizo rocoso. La adquisición de la información de resistencia considera los límites que tiene la misma prueba, teniendo en cuenta que los valores que se obtienen son aproximaciones del promedio del valor de

resistencia que se puede encontrar en el túnel.

Tabla 1: Ubicación de las estaciones.

Ubicación de la estación			
Estación	Norte	Este	Altura
T01	8756146	311442	2704
T02	8756090	311465	2693
T03	8756042	311485	2676
T04	8755988	311489	2670
T05	8755948	311465	2657
T06	8755910	311433	2663
T07	8755906	311373	2665
T08	8755886	311322	2646
T09	8755810	311290	2639
T10	8755768	311268	2629
T11	8755764	311217	2645
T12	8755742	311166	2652
T13	8755682	311143	2649

El número de golpes que el martillo genera nos servirá para saber la resistencia del material que es analizado. Existen varias correlaciones para tener el valor de la resistencia del macizo, en este análisis se aplicó tres correlaciones, Beverly, O'Rourke y Sachpazis, los cuales nos dan valores muy cercanos al Abaco usado para obtener la correlación entre resistencia y el número de golpes.

En conclusión se asume que los valores de la roca

Tabla 2: Tabla resumen de las estaciones y los golpes con el martillo.



Figura 3: Correlación y aproximación con los valores de resistencia.

en promedio se encuentran en el orden de 160 a 180 mpa, confirmando la gran resistencia de la roca.

1 INFORMACIÓN PRELIMINAR Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA.

A continuación se presenta un cuadro clasificatorio que muestra cuáles serán las posiciones donde se tendrá zonas de debilidad, clasificado como pendiente baja, media y alta. Esta tabla clasificatoria se basa en el mapa de pendientes

Tabla 3: Zonas con baja, media y alta pendiente.

Clasificación por Pendientes			
Desde	Hasta	Largo	Pendiente
0+000	0+040	40.00	Baja Pendiente
0+040	0+050	10.00	Alta Pendiente
0+050	0+080	30.00	Media Pendiente
0+080	0+140	60.00	Alta Pendiente
0+140	0+170	30.00	Media Pendiente
0+170	0+230	60.00	Alta Pendiente
0+230	0+240	10.00	Baja Pendiente
0+240	0+290	50.00	Alta Pendiente
0+290	0+340	50.00	Media Pendiente
0+340	0+360	20.00	Baja Pendiente
0+360	0+370	10.00	Alta Pendiente
0+370	0+400	30.00	Baja Pendiente
0+400	0+420	20.00	Alta Pendiente
0+420	0+470	50.00	Baja Pendiente
0+470	0+530	60.00	Alta Pendiente
0+530	0+590	60.00	Baja Pendiente
0+590	0+600	10.00	Media Pendiente
0+600	0+615	15.00	Baja Pendiente

Para el registro de las discontinuidades, tenemos tres principales, que han sido encontradas en base a su promedio.

Tabla 4: Principales discontinuidades en el Túnel

Estructura	Presencia	Inclinación	Dirección de inclinación
1	Alta	68	349
2	Media	68	175
3	Baja	20	056

Estructura	Presencia	Rumbo	Inclinación
Túnel		220	10

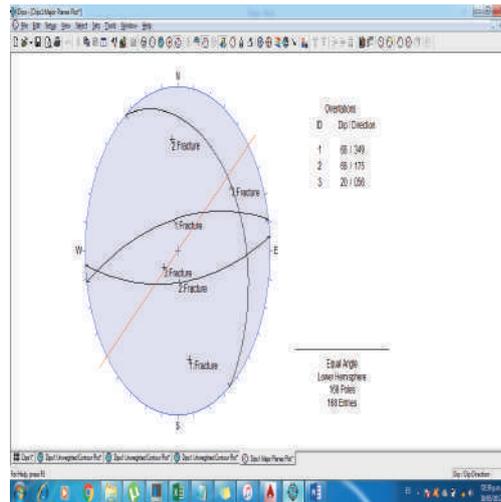


Figura 4: Representación estereográfica en los planos.

2 COMPORTAMIENTO DE LA ROCA ESTIMADO A PARTIR DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR.

Se resume toda la información obtenida y se crea una hoja de cálculo para entender el comportamiento de la roca en relación al túnel durante su construcción. Se aplica el criterio de falla de Hoek and Brown y se obtiene la curva de reacción del subsuelo (Fenner-Pacher curve) buscando definir comportamiento elástico y plásticos del túnel. Los parámetros usados de entrada se encuentran descritos en la Tabla 5.

Luego de hacer el análisis, se obtienen valores de comportamiento elástico para el túnel, con solo un punto con comportamiento plástico 0+174. Otra zona que crea preocupación es la zona donde se encuentra la sección más grande y la que a la vez tiene la más pobre calidad de roca, en esta zona se tiene una convergencia elástica de 8mm como máximo.

Con la información obtenida desde los estereogramas, se crea un modelo de como las discontinuidades actúan alrededor del túnel, se usa el software Unwedge para ver las cuñas que se forman en el túnel y su posible localización.

Se concluye que no se tiene acumulación de estrés, y que se tiene en general un comportamiento elástico en el túnel. La roca es lo suficientemente fuerte y no se necesita un soporte especial, además se tiene que prestar atención a las cuñas que se van a formar en el túnel en especial a las cuñas en la bóveda izquierda y parte del hastial izquierdo que se pueden activar en las zonas débiles del túnel.

En la Figura 8 Se muestra el posible tipo de

Input	Description	Parameters assumed
Depth		Depend in how far you are in the tunnel
Tunnel Radius	The tunnel shape change for the construction of the load camera	From 0+000 to 0+468 the tunnel radius is 2m. From 0+468 to 0+615 the tunnel radius is 5m.
Y	It is consider a maximum density of 0.025 MN/m ³	0.025 MN/m ³ for low slope angle 0.023 MN/m ³ for medium slope angle 0.020 MN/m ³ for high slope angle
UCS	Schmidt hammer values	160 Mpa for low and medium slope angle 100 Mpa for high slope angle
GSI	Quality rock between fair and poor and very blocky	25 for low slope angle 35 for high slope angle 45 for high slope angle
mi	Is assume that we only have andesite rock 25±5	25 for low slope angle 20 for high slope angle
D	Consider a very poor quality blasting	0.8
v		0.3

Tabla 5: Parámetros asumidos para el Túnel

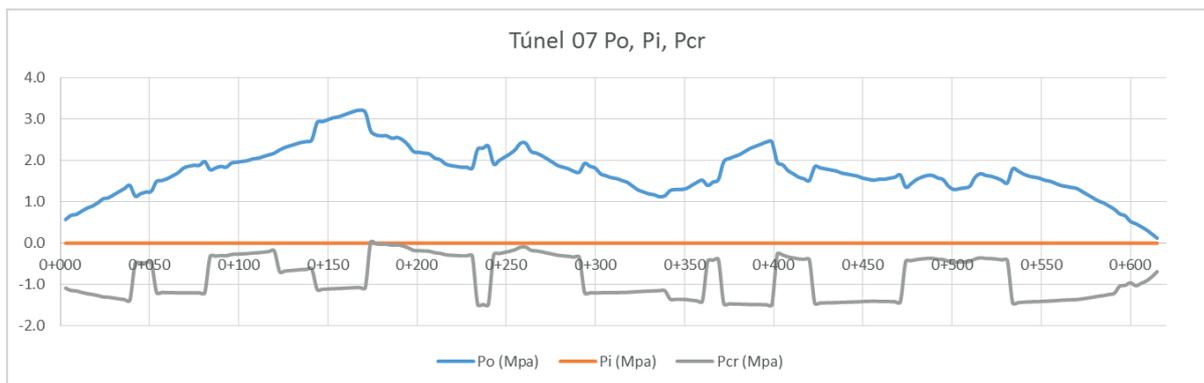


Figura 5: Comportamiento del túnel

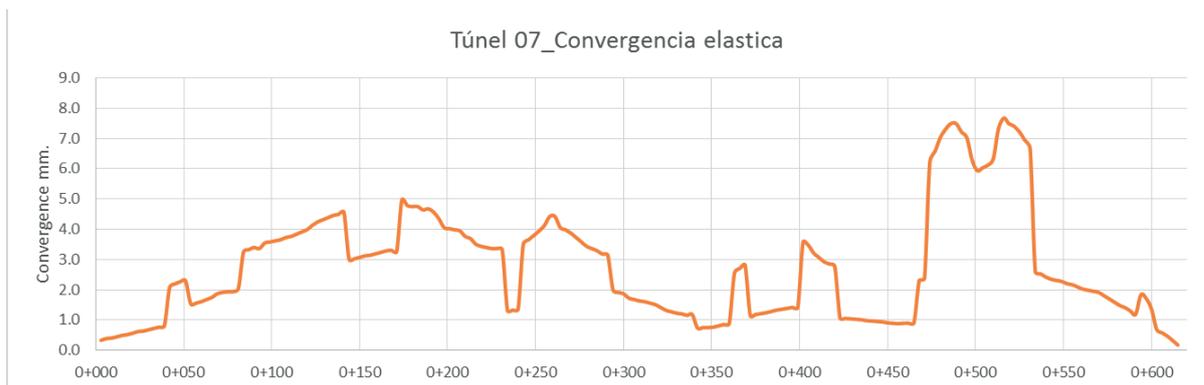


Figura 6: Proyección asumida para el Túnel

Sistema de soporte que se necesita para el túnel,

3 COMPORTAMIENTO REAL DEL TÚNEL DURANTE SU CONSTRUCCIÓN

Durante el proceso constructivo del túnel, se confronto la realidad observando que la geología real en el túnel no era andesita, sino una intercalación de andesita con tonalita, con mayor

presencia de tonalita que andesita, esto cambia el valor de mi a 29±3, en el criterio de falla de Hoek Brown.

Se consideró 5 tipos de soporte, cada uno de ellos serán usados dependiendo de la geología que tengamos en el túnel. Tabla 6 describe el soporte usado en el túnel.

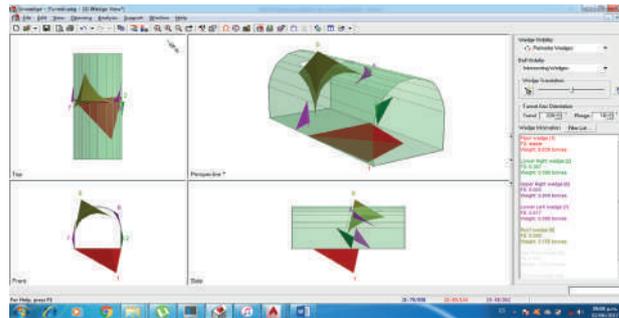


Figura 7: Cuñas alrededor del túnel

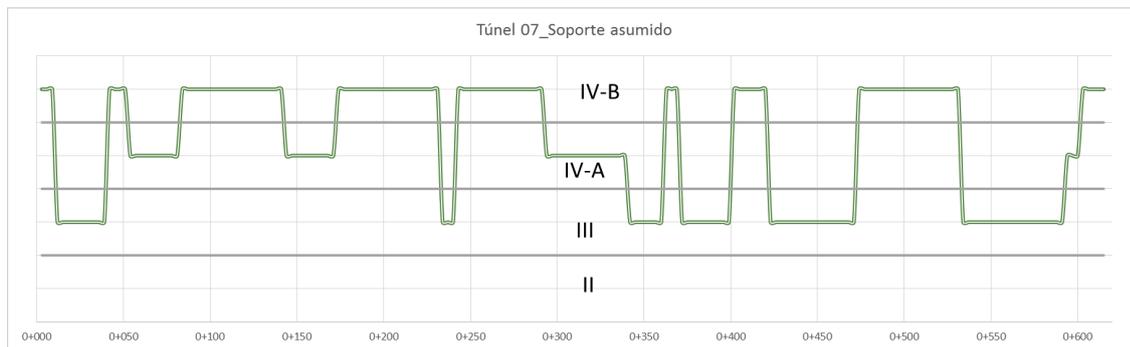


Figura 8: Soporte asumido en el túnel

El soporte utilizado en el túnel fue desde tipo II a Tipo IV-B y la decisión del cambio del soporte fue hecho en el campo y por interpretación de los ingenieros. Tabla 7, compara los porcentajes de soporte entre la realidad y lo asumido. Se observa que tan cerca estamos de la realidad, soporte tipo IV-A y Tipo IV-B, el criterio para elegir entre estos dos tipos de sostenimiento es muy cercano y puede ser fácilmente confundido uno por el otro.

Tabla 7: Porcentaje de soporte entre el real y el asumido.

De acuerdo a las proyecciones estereográficas, se forman bloques en el techo del túnel. En la Figura 11 se presentan las principales cuñas y en la realidad la cuña número 7 y numero 8 juegan un papel importante en la estabilidad del túnel las cuales se encuentran en la bóveda y hastial izquierdo, creando cavidades por el propio proceso de inestabilidad.

Se tomaron datos en el túnel con el martillo de Schmidt, para ver los valores reales de resistencia insitu. Los valores de resistencia cambian, con un

Tipo de soporte	Descripción
I	Perno puntual de 2.00 m. si es necesario.
II	0.05 m de shotcrete en el techo y pernos en el techo, separación de pernos de 2.00 m.
III	0.05 m de shotcrete en el techo y 3 x 2 pernos en el techo , separación de pernos de 1.50 m.
IV-A	0.10 m de Shotcrete y malla de acero en la sección y pernos en la bóveda, separación de 1.50 m.
IV-B	Cimbra tipo H, esta cimbra es cubierta con cemento.

Tabla 6: Tipo de soporte en el proyecto.

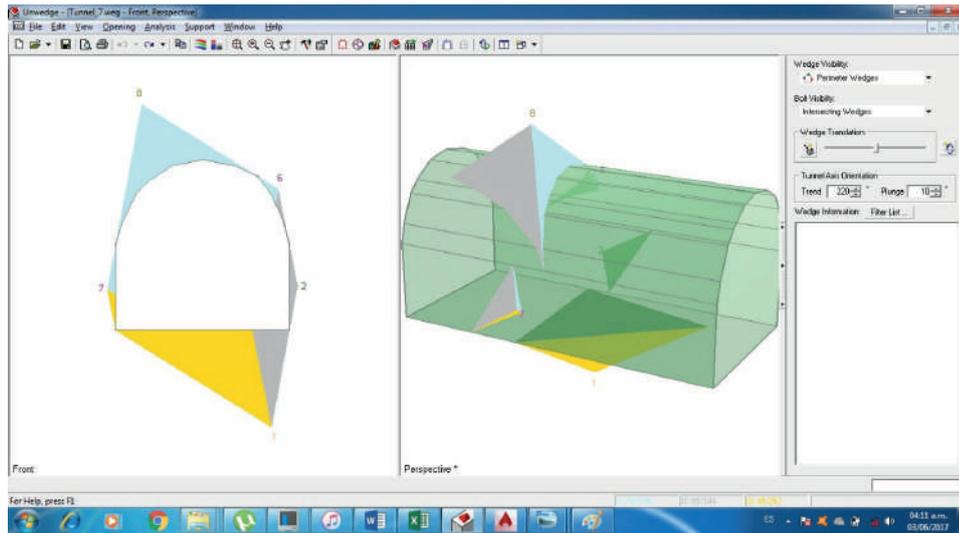


Figura 11: Cuñas en el túnel.



Figura 12: Cuñas formadas durante la excavación.



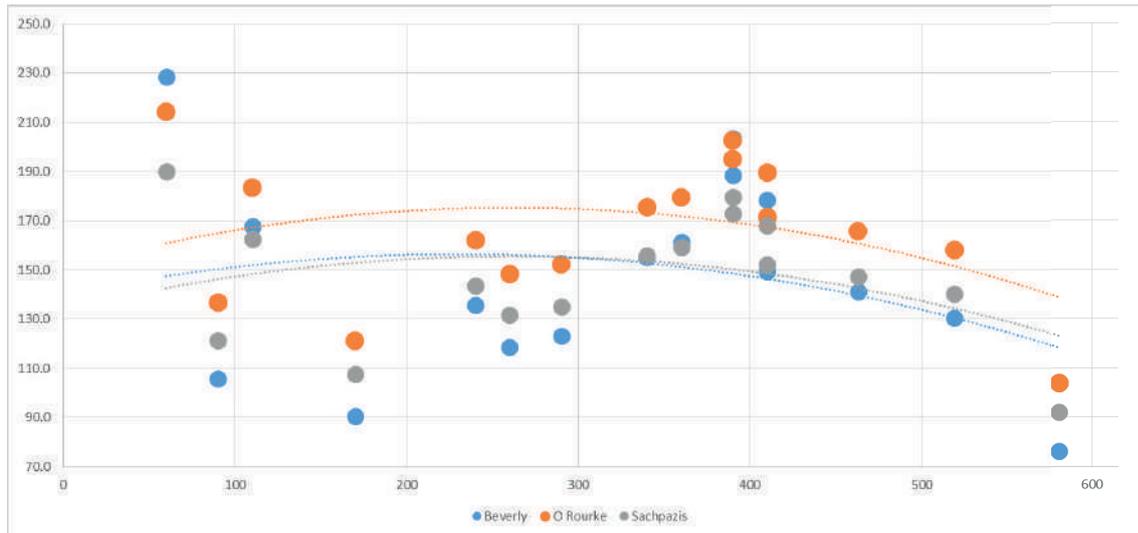


Figura 13: Valores Del martillo de Schmidt

valor promedio de 150 mpa y un valor mínimo de 75 mpa.

3.1 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA EN EL ÉXITO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL.

Algunas ideas tienen que tomarse en cuenta para entender porque con solo información preliminar el túnel fue terminado de forma exitosa. Del analisis se muestran tres ideas del porque el éxito.

Cobertura. Se tiene una cobertura media. Esto hace que no se tenga problemas relacionados a tensiones o acumulaciones de energía, además que no se tenga colapsos por gravedad por baja cobertura dando también un comportamiento elástico en su mayoría la máxima cobertura es de 140 metros y la mínima es de 20m..

Tipo de roca. En el túnel se tiene presencia de tonalita y roca andesita. Una es ígnea y la otra volcánica, ambas tienen gran resistencia y sus valores resistencia a la compresión son altos. Comparando este tipo de roca con otros, que por su origen tienen zonas de debilidad como metamórficas o sedimentarias que tienen estratificación y pseudo-estratificación, esta roca es más estable.

Tamaño de la sección del túnel. El radio de la sección del túnel es en su mayoría menor a 3 m. Este tamaño nos permite disturbar la roca en una

mínima forma, haciendo que no se genere grandes bloques o desprendimiento muy grandes de roca.

4 CONCLUSIONES

El entendimiento de la geología relacionada a la excavación y la inferencia, nos ayudan a utilizar apropiadamente la información preliminar levantada en campo. El criterio y la experiencia en este caso juega un gran papel ya que nos ayuda generar una interpretación más concienzuda.

Se debe siempre pensar que una apropiada investigación preliminar en un proyecto es una gran herramienta para la idea de cómo el túnel se comportará, también en lo posible debemos evitar quedarnos solo en esa etapa, una apropiada investigación siempre es necesaria, pues nunca sabremos como realmente se comportará el túnel.

La influencia de un túnel en un proyecto justifica el gasto de una apropiada investigación, para así de esta manera evitar problemas que puedan ser más costosos en el futuro.

Después de comparar, el soporte real con el soporte asumido, se considera que se debe siempre sustraer 20 mpa al valor más bajo para así acercarse a la realidad, esto es en el caso de roca dura.

5 BIBLIOGRAFÍA

Application of Schmidt rebound number for estimating rock strength under specific geological conditions. S.R. Torabi, M. Ataei, M. Javanshir. 2010. 2, Shahrood Iran : Journal of Mining & Environment, 2010, Vol. 1.

Hoek, Ever. 1993. Support of underground

- excavation in hard rock. Pp 107-120. Support of underground excavation in hard rock. Vancouver, Canada : s.n., 1993.
- IRENA. 2012. Renewable Energy Technologies; Cost Analysis Series. Pp-5-10. United Arab Emirates : s.n., 2012.
- ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version. Aydin, Adnan. 2008. Oxford USA : ISRM, 2008.
- Osinergmin. 2015. Central Hidroeléctrica Chancay. Gerencia de fiscalización eléctrica. Unidad de supervisión de Post Privatización. Lima, Perú : s.n., 2015.
- R. Steiger, M. R. Henzinger and W. Schubert. 2017. 3D numerical stability analysis of a power plant cavern. Pp 1-8. Graz, Austria : Graz University of technology, institute of Rock Mechanics and Tunnelling, 2017.
- Robles, Nerio. 1994. Excavación y Sostenimiento De Tuneles en Roca. Lima : CONCYTEC, 1994.
- Sinersa. 2010. Estudio de aprovechamiento hídrico de la central hidroeléctrica Chancay estudio definitivo. Pp12-19. Lima Perú : s.n., 2010.
- Sunyovszky, G. 2017. Contractual and scheduling problems at the metro line 4 in Budapest. Pp 3-7. Graz : s.n., 2017.