



CLAF
Centro Latinoamericano de Física
Rio de Janeiro
Brasil

LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES

Ingeniería Básica de Anteproyecto



Informe geológico, geotécnico e hidrogeológico

6198.1-R-03

 **Lombardi**

Minusio, mayo de 2019

0.2	15.05.2019	SMI	GHo
Versión	Fecha	Redactado	Verificado

Informe elaborado por:

Geoconsult ZT GmbH, Consulting Engineers
Hözlstrasse 5
5071 Wals bei Salzburg
Teléfono +43 - 662 - 65 9 65 - 0
www.geoconsult.eu, office@geoconsult.eu



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Descripción del proyecto	1
1.2	Antecedentes	1
2.	GEOLOGÍA	3
2.1	Introducción [3]	3
2.2	Estratigrafía	4
2.3	Tectónica local	5
3.	TIPOS DE ROCA	7
3.1	Introducción	7
3.2	Riolita porfírica	8
3.3	Dacita porfírica	9
3.4	Andesita porfírica (posible)	9
3.5	Diques de basalto (posible)	10
3.6	Resumen	11
4.	ESTRUCTURAS	12
5.	TIPOS DE MACIZO ROCOSO DEL ÁREA DEL PROYECTO	13
5.1	Introducción	13
5.2	Tipos de macizo rocoso (según TAN [6])	14
6.	TENSIONES IN SITU Y MOVIMIENTOS TECTÓNICOS	16
6.1	Marco tectónico regional y local	16
6.2	Sismicidad	16
6.3	Estimación para el diseño	16
7.	HIDROGEOLOGÍA	17
7.1	Introducción	17
7.2	Hidroquímica	17
7.3	Geotermia	17

7.4	Estimación de Infiltraciones a los túneles	18
7.5	Agresividad al Hormigón	18
9.	COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO	19
10.	TEMAS ESPECIALES	23
10.1	Abrasividad	23
11.	SUGERENCIAS	24
12.	BIBLIOGRAFÍA	26
12.1	Literatura	26
12.2	Estudios anteriores	26
12.3	Normas y recomendaciones	26

Anexos:

- 1 Perfiles geológicos-geotécnicos longitudinal y horizontal
- 2 Perforaciones propuestas

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto

En el curso de la construcción del Túnel de Agua Negra (TAN), se planea la construcción de un laboratorio geofísico (Laboratorio Andes) desde el Túnel Sur, en el área de mayor cobertura (ubicación ver Ilustración 1). Este Laboratorio cuenta con túneles de acceso y salida, un túnel principal, un túnel de escape y ventilación y varios laboratorios con coberturas entre 1650 y 1850 m. Una descripción detallada del proyecto se puede encontrar en el informe 6198.1-R-02-Informe técnico general.

La información subyacente a este informe proviene exclusivamente de investigaciones anteriores realizadas para el Túnel de Agua Negra (TAN).

1.2 Antecedentes

1.2.1 Estudios anteriores

Para el túnel de Agua negra se realizaron por parte de Geoconsult y Lombardi, las siguientes campañas de investigación:

- Campaña de mapeo de terreno 2008 [3]
- Campaña de perforaciones 2009 (S02 – S08) y 2010 (S01, S01a, S10, S10a) [4], [5]
- Ingeniería básica 2011-2012 [6]
- Campaña de perforaciones 2013/2014 (S13, S14, P02) [7]

1.2.2 Proyecto Laboratorio Andes

La provincia de San Juan contrató en julio de 2018 a Lombardi SA para el diseño del proyecto de los túneles del “Laboratorio Andes”. Lombardi, a su vez, ha subcontratado a Geoconsult ZT GmbH para la elaboración de un informe que resume las condiciones geológicas del área del Proyecto.

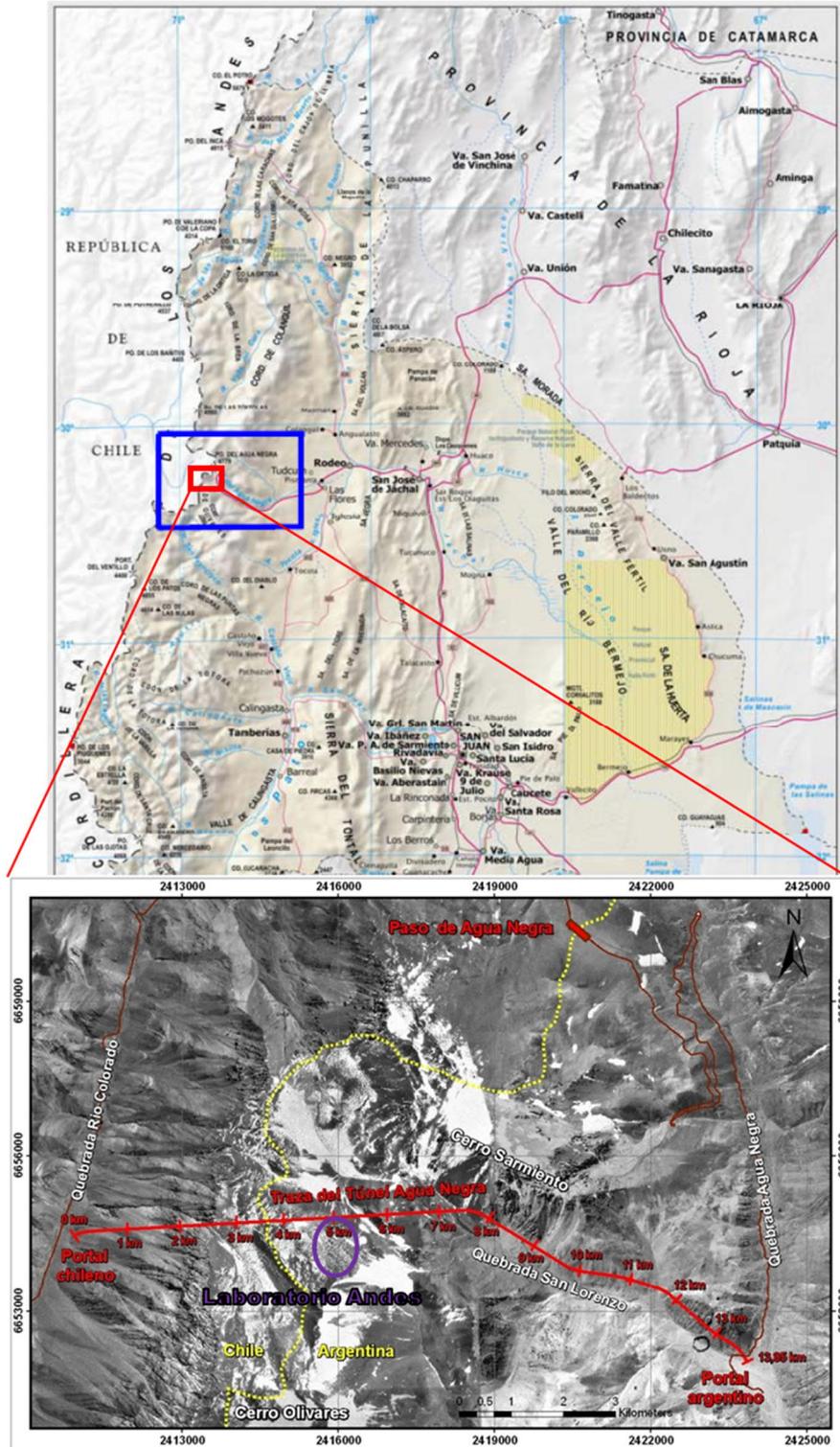


Ilustración 1: Ubicación de los proyectos TAN y Laboratorio Andes

2. GEOLOGÍA

2.1 Introducción [3]

La zona del Agua Negra, departamento Iglesia, provincia San Juan pertenece a la Provincia Tectono-Estratigráfica o Provincia Geológica de Cordillera Frontal, en Chile denominada Alta Cordillera, que se ubica entre la Precordillera por el este y Cordillera Principal por el oeste. Abarca desde los 27° hasta los 35° de latitud sur, lo que hace una longitud de unos 800 km, estando su límite con la Cordillera Principal desde los 27° hasta 31° dentro de Chile. Luego, por los 31° (provincia de San Juan) cruza hacia la Argentina, donde mantiene un rumbo subparalelo al límite internacional. Se trata de escarpados cordones montañosos, cuyos cerros frecuentemente superan los 5.000 msnm, algunos inclusive los 6.000 msnm. En San Juan la integran, de norte a sur las Cordilleras: del Cajón de la Brea, de Santa Rosa, San Guillermo, Colangüil, Cordillera de Olivares, de Manrique, la Titora, de Ansilta, la Ramada, del Espinacito y del Tigre. Esta última forma el límite interprovincial con Mendoza. A las Cordilleras de Colangüil y Olivares las separa el arroyo del Agua Negra y su punto de contacto es el paso homónimo.

A esta Provincia Geológica la separa de la Precordillera un ancho valle de unos 350 km de longitud con rumbo meridional, que se extiende desde Uspallata, pasando por Barreal, Calingasta, hasta Iglesia, que luego se estrecha limitándose al cauce del río Jáchal – río Blanco. A esta altura -el norte de San Juan y La Rioja- ambos ambientes están en contacto neto, contrastantes. En cambio su borde occidental no es tan claro, solapándose sus litologías y no hay una clara separación morfológica.

Sin embargo desde el punto de vista litológico su borde este no es tan simple y claro como su límite geomorfológico, ya que existen formaciones que son comunes a las dos unidades, como es el caso de las rocas efusivas del Grupo Choiyoi. De igual manera se encuentran rocas sedimentarias clásticas del Paleozoico de ambos lados del extenso valle, rocas que forman el basamento sobre el que yacen las rocas volcánicas y que son instruidas por los plutones de Cordillera Frontal. Estas características crean una cierta semejanza entre estas dos provincias geológicas.

El límite occidental de la Cordillera Frontal con Cordillera Principal está marcado por el contacto entre las rocas paleozoicas y el magmatismo gondwánico que caracterizan a la primera con las rocas del Mesozoico, que definen a la segunda unidad. El basamento de la cuenca marina y marino-continental del Jurásico y Cretácico lo constituyen las rocas de la Cordillera Frontal. Dicha cuenca se extiende desde el norte hasta los 31° de latitud sur en el territorio chileno, a partir de donde ingresa a la Argentina. Por lo tanto todo el flanco occidental de la Cordillera Frontal se encuentra en Chile hasta esa latitud, y sus rocas desaparecen cubiertas por las intrusiones marinas. En síntesis, el límite oeste de la Cordillera Frontal es el borde oriental de la cuenca mesozoica.

2.2 Estratigrafía

2.2.1 Grupo Choiyoi – Permotriásico

El Grupo Choiyoi está compuesto de volcanitas de edad permotriásica y es correlacionable con la Formación Pastos Blancos del territorio Chileno. Durante las campañas de investigaciones para el TAN se reconocieron diferentes, denominados Miembro inferior y Miembro superior (durante la primera campana también se observó un Miembro de Medio) [3],[6].

El miembro inferior muestra una composición predominantemente andesítica con textura porfírica y a veces afanítica, de color gris claro y tonalidad verdosa. Además, hay variaciones litológicas de composiciones un poco más básicas del tipo basáltico, o un poco más ácidas, con fenocristales de plagioclasas de mayor tamaño.

En el miembro superior predominan las brechas volcánicas andesíticas y riolíticas, también hay intercalaciones ignimbríticos, piroclásticos y volcanitas porfíricas (riolitas, traquitas, dacitas); estos últimos predominan en la base de este miembro.

Se observaron muchos cuerpos intrusivos de andesitas, basaltos, aplitas y riolitas; muchos de ellos en forma discordante, constituyendo los conductos de alimentación de las coladas que se encuentran estratigráficamente más arriba. También se muestran algunas masas rocosas concordantes (paralelas a las volcanitas), que tienen claras características geológicas de ser intrusivas. Posiblemente algunas de estas masas intrusivas no pertenezcan al Grupo Choiyoi sino tienen edad terciaria.

2.2.2 Formación Doña Ana – Terciario

La formación Doña Ana es de edad terciaria y está compuesta por rocas volcánicas, brechas volcánicas, tobas e ignimbritas que se encuentran depositadas en discordancia por encima del Grupo Choiyoi. [3], [6]

2.2.3 Áreas de Alteración hidrotermal

Se encuentran zonas en el área del proyecto TAN en las cuales las rocas presentan alteración de origen hidrotermal e intensidad variable. En los siguientes párrafos se cita del Capítulo 3.2.4 de la IB-TAN [6].

“Los procesos de alteración hidrotermal transforman los minerales originales de las rocas en nuevos minerales por efecto de reacciones químicas que genera la circulación de agua caliente, disolviéndose así algunos elementos químicos y precipitando otros, lo que determina la formación de las zonas de alteración (silícea, argílica, sericítica, propilítica) que toman su nombre de la asociación de minerales que la constituyen.

Algunas alteraciones debilitan la resistencia de la roca y otras la incrementan.

La principal causa del incremento de la resistencia es debida al relleno y cierre de las fisuras, o por la recristalización de cuarzo y feldespato en las masas rocosas, estando ambos fenómenos presentes en este lugar y confiriéndole a la roca un comportamiento más frágil y más duro.

La principal debilitación de las rocas es por la alteración argílica, que transforma los feldespatos en arcillas y a la vez fractura la roca, favoreciendo la posterior alteración meteórica.

En general, la presencia de sulfuros en las rocas alteradas hidrotermalmente es muy limitada, observándose en un porcentaje inferior al 1% y en muy pocas muestras de roca, lo que permite suponer que el drenaje ácido, si existiera, sería un fenómeno bien localizado y poco relevante.

En forma preliminar se considera que la alteración hidrotermal asociada a fallas se extiende a una profundidad de entre 5 y 10 m, como máximo, desde la superficie de falla, y las zonas extensas que se observaron y mapearon están vinculadas a niveles específicos de coladas de andesitas, las cuales probablemente tenían condiciones de porosidad, permeabilidad y composición mineralógica más favorable a la alteración que el resto.

La alteración meteórica de las rocas es poco intensa, principalmente criogénica, sólo alcanzando proporciones significativas en los sectores que tienen una alteración hidrotermal previa. Se estima que la alteración meteórica puede alcanzar una profundidad máxima de 20 m en sus condiciones más favorables.”

2.3 Tectónica local

En las investigaciones previas a la ingeniería básica del TAN [6] se estimó que la tectónica predominante del área era del tipo extensional:

“A causa de la subducción presente de la placa de Nazca por debajo del flanco occidental de la placa Sudamericana, se conforma la cadena montañosa de los Andes a lo largo de la línea de subducción, acompañada de un levantamiento de la parte central de la cordillera. Este levantamiento da origen a una relajación del macizo con la aparición de fracturas frágiles y un deslizamiento o subsidencia (estructura de Horst Graben) de los estratos volcánicos Permo-triásicos/terciarios sub-horizontales del Grupo Choiyoi y de la formación Doña Ana en el área del proyecto. De este modo se formaron grandes fallas normales con discordancias estimativas de hasta 2 km (Falla Río Colorado).” La subducción de la placa de Nazca causa un régimen compresivo orientado oeste-este, que es confirmado por los ensayos de hidrofracturamiento de S02 [7].

En un modelo generalizado se pudo diferenciar 3 juegos de fallas principales según la interpretación de los datos del mapeo geológico-geotécnico, la interpretación de fotografías aéreas y la interpretación de los datos geofísicos de los sondeos realizados. Los juegos de fallas fueron denominados correspondientemente a las quebradas y valles principales que se formaron a lo largo de estas orientaciones principales:

- **Orientación San Lorenzo** (Tipo de Falla San Lorenzo, rumbo NO-SE a ONO-ESE) Fallas paralelas/subparalelas a la Quebrada San Lorenzo
- **Orientación Río Colorado** (Tipo de Falla Río Colorado, rumbo aprox. N-S) Fallas paralelas/subparalelas a la Quebrada del Río Colorado. También la falla grande a lo largo de la Quebrada Agua Negra fue asignada a esta orientación.
- **Orientación Sarmiento** (Tipo de Falla Sarmiento, rumbo NE-SO a ENE-OSO) Fallas paralelas/subparalelas a la Quebrada Sarmiento.

Todas las fallas encontradas durante las campanas de 2008-2010 fueron asignadas a estas tres orientaciones [6].

En los testigos de la P02 fueron encontradas discontinuidades con un buzamiento hacia el Nornordeste con un ángulo de aprox. 25-30° y con indicios de falla inversa. Podrían estar relacionados con la falla de Valle de Cura, mencionado en este informe como **Orientación Valle de Cura**.

3. TIPOS DE ROCA

3.1 Introducción

Durante el desarrollo de la Ingeniería básica del TAN y sus investigaciones anteriores se nombraron varios tipos de roca según la caracterización realizada en terreno y en los testigos de perforación, (minerales macroscópicamente visibles, matriz, color, dureza (estimada en MPa), textura, porosidad, grado de alteración hidrotermal y meteorización, forma de los bloques en los afloramientos complementado esto con una interpretación petrográfica y ensayos de laboratorio [4], [5], [6]. De estos mismos se eligieron los que mayor probabilidad tienen de encontrarse en la zona del proyecto. Al no tener información adicional de esta zona se proyectó la información del mapeo realizado del lado chileno según la tectónica esperada [3], [6] y a pesar de la nueva información del P02 [7] no fue necesario modificarlos.

La clasificación de las rocas volcánicas y volcanoclásticas se realiza de manera estándar mediante el diagrama de "Streckeisen" o "QAPF" (Q = cuarzo, A = feldespato alcalino, P = plagioclasas y F = foides, Ilustración 2) de la "International Unión of Geological Sciences" (IUGS), sólo teniendo en cuenta cristales, no la matriz/pasta de las rocas [1].

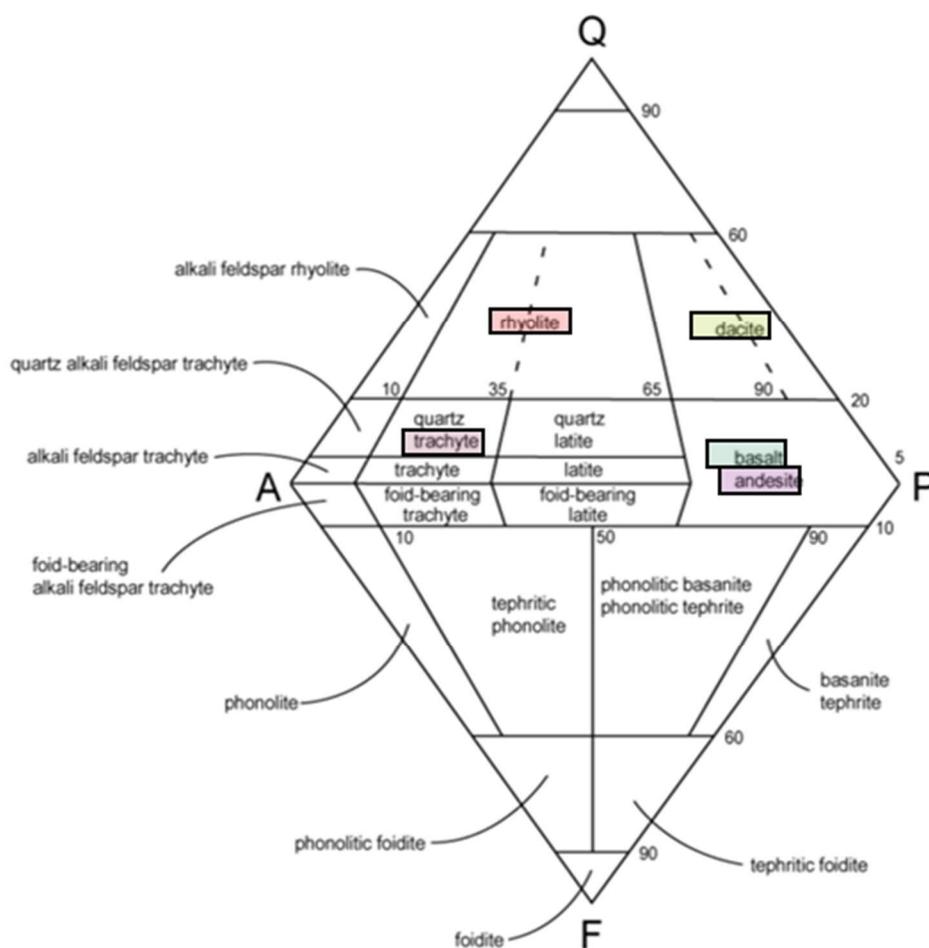


Ilustración 2: Diagrama QAPF ("Streckeisen") [1],

Cabe señalar que durante el trabajo de campo, y más tarde durante las fases de sondeos, se encontraron numerosas áreas hidrotérmicamente alteradas. Esta alteración puede cambiar significativamente las propiedades geotécnicas de las rocas [3], [4], [5], [6].

3.2 Riolita porfírica

Las riolitas porfíricas son rocas de color rojo hasta rojizo-gris o gris-verdoso con fenocristales compuestos mayormente de cuarzo y feldespatos en una pasta de la misma composición. Las riolitas porfíricas muestran bloques en su mayoría cúbicos o irregulares con un espaciamiento entre las discontinuidades entre moderado (20-60 cm) y ancho (60-200 cm), con sus superficies escalonadas a onduladas y suaves a rugosas. Las riolitas pueden encontrarse no solo de volcanitas efusivas sino también en forma de diques.

La Tabla 1 muestra los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio de la campaña de sondeos 2009/2010 y la Tabla 2 muestra los resultados de 2013/2014 a modo de comparación.

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	2,64	100,67	32739,75	21,37	3,25	72,39	11,63	54,72	0,23
Desviación estándar	0,07	42	6790,04	11,64	0,30	38,,83	2,99	10,88	0,02
No. de muestras	30	26	26	6	3	29	17	6	5

Tabla 1: Parámetros geotécnicos para la riolita porfírica obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2009/2010 del TAN [4], [6]

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	2,49	58,1	22882	-	-	132,7	-11,1?	-	-
Desviación estándar	-	-	-	-	-	95,7	2,6	-	-
No. de muestras	1	1	1	-	-	¿?	2	-	-

Tabla 2: Parámetros geotécnicos para la riolita porfírica obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2013/2014 del TAN (solo S02) [7]

3.4 Dacita porfírica

La dacita porfírica se muestra en colores gris, rojo, verdoso hasta azulado y contiene fenocristales de feldespatos, cuarzo y máficos. Sus bloques en terreno son de forma cúbica y columnar. Las superficies de las discontinuidades (de espaciamiento ancho en su mayoría) son planares a escalonadas y rugosas.

La Tabla 3 muestra los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio de la campaña de sondeos 2009/2010 y en la Tabla 4 los sondeos del año 2013/2014 a modo de comparación.

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	2,69	82,80	33,65	-	3,98	46,58	7,87	-	0,24
Desviación estándar	0,05	47,91	8,69	-	0,38	34,76	2,9	-	-
No. de muestras	12	12	12	-	3	11	9	-	1

Tabla 3: Parámetros geotécnicos para la dacita porfírica obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2009/2010 del TAN [4], [6]

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	-	-	-	-	-	89,3	-	-	-
Desviación estándar	-	-	-	-	-	50,9	-	-	-
No. de muestras	-	-	-	-	-	¿?	-	-	-

Tabla 4: Parámetros geotécnicos para la dacita porfírica obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2013/2014 del TAN (solo S02) [7]

3.5 Andesita porfírica (posible)

Las andesitas porfíricas son rocas de color verde y verde-gris hasta rojo-gris, gris, rojizo-verdoso y pardo con bloques de formas cúbicas e irregulares con un espaciamiento entre las discontinuidades moderadas (20-60 cm) a minoradas extremadamente cercanas (2cm).

La Tabla 5 muestra los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio de la campaña de sondeos 2009/2010 y la Tabla 6 los de 2013/2014 a modo de comparación.

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	2,67	74,13	30835,98	39,87	-	28,16	7,43	51,90	-
Desviación estándar	0,05	29,05	6246,22	-	-	17,76	3,92	-	-
No. de muestras	8	8	8	1	-	5	4	1	-

Tabla 5: Parámetros geotécnicos para la andesita porfírica obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2009/2010 del TAN [4], [6]

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	25,9	154-	25049	-	-	160,5	-15	-	-
Desviación estándar	0	22-	800	-	-	108,3	7,6	-	-
No. de muestras	2	2	2-	-	-	¿?	10	-	-

Tabla 6: Parámetros geotécnicos para la andesita porfírica obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2013/2014 del TAN (solo S02) [7]

3.6 Diques de basalto (posible)

En la zona del proyecto se prevé la aparición de basaltos, solo en forma de diques de hasta unos metros de ancho. Los basaltos tienen color negro a verde. La forma de los bloques es en su mayoría irregular a cúbica.

La Tabla 7 muestra los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio de la campaña de sondeos 2009/2010.

	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	Módulo E (MPa)	Cohesión (MPa)	Abrasividad (CAI)	Punta de Carga (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Ángulo de fricción (°)	Número de Poisson (-)
Promedio	2,73	110,71	31,99	7,82	2,21	40,64	7,74	48,7	0,2
Desviación estándar	0,05	55,58	6,86	2,81	0,52	22,27	2,91	7,5	-
No. de muestras	11	10	10	2	4	9	9	2	1

Tabla 7: Parámetros geotécnicos para el basalto obtenidos de ensayos de laboratorio durante la campaña 2009/2010 del TAN [4], [6]

3.7 Resumen

La comparación de los valores obtenidos durante la campaña 2013/2014 [7] con los valores de la campaña de 2009/2010 de la IB del TAN [6] no muestran grandes diferencias, y en su mayoría se encuentran en un rango aceptable. La Andesita muestra en los nuevos 2 ensayos un valor de UCS mucho más alto que el valor determinado en 2009/10. Hay que aclarar que los Andesitas del muestreo 2009/2010 son de otra formación (más baja/más antigua) de los de la zona del S02 y de la zona de este proyecto, donde también muestran allí una alteración hidrotermal más fuerte (con más presencia de fallas y diques) [3].

Para el proyecto Laboratorio Andes, los valores característicos geotécnicos para la roca intacta se definen de la siguiente manera:

Tipo de roca	Densidad (g/cm ³)	UCS (MPa)	mi – Constante de Hoek	Ei_Módulo de elasticidad (GPa)
Riolita porfírica	2,64	100	25	40
Andesita	2,67	150	18	37
Dacita	2,69	80	25	33
Basalto	2,73	110	20	36

Tabla 8: Parámetros geotécnicos para la roca intacta para el proyecto Laboratorio Andes

4. ESTRUCTURAS

Las perforaciones más próximas se encuentran a varios km de distancia (Portal Chileno: S01, S01a, S10, S10a, S13, S14, Final del Quebrada San Lorenzo: P02), tanto como los afloramientos mapeados de la Fm. Choiyoi en los años 2008-2010. Además, el grupo Choiyoi está cubierto en la zona del Altiplano por gruesos depósitos de Fm. Dona Ana. Por esta razón, las estructuras importantes solo pueden estimarse a partir de levantamientos aéreos e interpolaciones de los afloramientos más cercanos.

Estratificación:

La estratificación se estima sub-horizontal en el área del proyecto.

Fallas:

De los sistemas de fallas se estima la ocurrencia de:

- Sistema de San Lorenzo con 1-2 fallas de un espesor entre 1-5 m, orientación aprox. 205-225/75-85
- Sistema de Sarmiento con 1-2 fallas de un espesor entre 1-5 m, orientación aprox. 300/75-85 y 120/75-85
- Sistema de Vale de Cura con 1-2 fallas de un espesor <1 m, orientación aprox. 025/25-30

Diaclasas:

Las diaclasas principales se orientan paralelas a los sistemas de fallas antes mencionadas.

5. TIPOS DE MACIZO ROCOSO DEL ÁREA DEL PROYECTO

5.1 Introducción

El próximo paso del proceso de clasificación según NATM [8], después de definidos los “Tipos de Rocas”, es clasificar los “Tipos de Macizos Rocosos”, denominado de aquí en más como TMR´s. Este paso comienza con la evaluación y descripción de la arquitectura básica de la geología en el área, y continúa con la definición de parámetros geomecánicos relevantes para cada tipo de macizo rocoso. Los valores de los parámetros clave y las distribuciones de los TMR´s son determinados por varias fuentes de información (en este proyecto solo datos del mapeo de afloramientos) y parcialmente estimados por el propio juicio del consultor, a través de sus Ingenieros geotécnicos.

En la definición de un macizo rocoso, el que es un volumen geotécnicamente relevante para la construcción del túnel, se contempla además de las características de la matriz del macizo (la roca), las discontinuidades y las estructuras tectónicas. Macizos asociados / asignados a un determinado “Tipo de Macizo Rocosos” son similares con respecto a los siguientes parámetros:

- En roca firme: Propiedades geomecánicas (roca intacta – macizo rocoso), propiedades y características de discontinuidades, tipo de roca, condiciones de los tipos de roca y de los macizos y propiedades hidráulicas.
- En suelo: Propiedades geomecánicas, distribución del tamaños de grano, densidad, composición mineralógica, parámetros de los componentes del suelo, parámetros de la matriz del suelo, contenido de agua y propiedades hidráulicas.

En base a lo citado anteriormente, para determinar los diferentes Tipos de Macizos Rocosos, hay que evaluar y definir los “parámetros clave” que son relevantes. Diferentes macizos, con propiedades similares y con parámetros clave similares son por lo tanto unificados y clasificados como un único “Tipo de Macizo Rocosos” (TMR) [8].

Algunos ejemplos de parámetros clave para describir las propiedades relevantes de los TMR's son: Composición mineralógica, tamaño de grano, contenido de matriz, textura, porosidad, alteración/meteorización, rangos de resistencia, forma y tamaño de bloques.

Algunos ejemplos de parámetros clave para describir las propiedades de las estructuras (estratificaciones, diaclasas y fallas) son: Rumbos, buzamientos, alineación, separación, persistencia y frecuencia de las discontinuidades, abertura y relleno, textura e índice de rugosidad, propiedades inferidas GSI (relación entre el fracturamiento, meteorización superficial y dureza).

Los TMR se determinaron durante la campaña de la ingeniería básica del túnel de Agua Negra (IB-TAN) [6] y no se modificaron para ese proyecto, considerándolos como valores aptos y útiles.

5.2 Tipos de macizo rocoso (según TAN [6])

TMR 2a, TMR 2b y TMR 2c: Volcanitas masivas

Este tipo de macizo rocoso contiene a las volcanitas masivas de riolitas, dacitas y traquitas porfíricas. Se han definido dos subtipos según su valor de GSI: el tipo 2a con GSI entre 65 y 75, 2b con GSI entre 55 y 65 y 2c con GSI 45-55. Los parámetros geotécnicos calculados y definidos se muestran en la Tabla 9.

TMR 3a y TMR 3b: Andesita

Este tipo de macizo rocoso contiene solo Andesita porfírica. Se han definido dos subtipos según su valor de GSI: el tipo 3a con GSI entre 60 y 70 y 3b con GSI entre 50 y 60. Los parámetros geotécnicos calculados y definidos se muestran en la Tabla 9.

TMR 4a y TMR 4b: Basalto

Este tipo de macizo rocoso contiene solo Basalto. Se han definido dos subtipos según el valor de GSI: el tipo 3a con GSI entre 60 y 70 y 3b con GSI entre 50 y 60. Los parámetros geotécnicos calculados y definidos se muestran en la Tabla 9.

TMR 7: Roca fallada I: "damage zone"

Se trata de roca muy fragmentada con tamaño de grano en su mayoría de grava a arena y parcialmente rocas/bloques de tamaño entre dm y varios metros (este último no se espera en este proyecto). El espesor de la zona de falla en la zona de este proyecto se espera entre varios dm hasta 5-10 m. Los parámetros geotécnicos calculados y definidos se muestran en la Tabla 9.

TMR 8: Roca fallada II: "core zone"

Se trata de roca fuertemente fragmentada hasta desintegrada con tamaño de grano en su mayoría entre limo y grava, formada parcialmente por rocas/bloques de tamaño entre dm y varios metros (el último no se espera en este proyecto). El espesor de la zona de falla de este tipo, en la zona de este proyecto, se espera entre varios dm hasta 1-5 m. Los parámetros geotécnicos calculados y definidos se muestran en la Tabla 9.

TMR	GSI	Resistencia a la Compresión del macizo (Mpa)	Ángulo de fricción en 1750 m de profundidad (°)	C Cohesión en 1750 m de profundidad (MPa)	E -módulo de deformación (Gpa)
2a	70	42	47	8	25
2b	60	33	44	7	17
2c	50	30	40	6	15
3a	65	39	45	8	23
3b	55	30	42	7	15
4a	65	39	45	8	23
4b	55	31	42	7	15
7	15	9	27	2,6	1
8	10	7	25	2,2	1

Tabla 9: Parámetros geotécnicos calculados y estimados para las TMR (tipos macizo rocoso) del proyecto Laboratorio Andes

6. TENSIONES IN SITU Y MOVIMIENTOS TECTÓNICOS

6.1 Marco tectónico regional y local

La tectónica regional está dominada por la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa sudamericana con un régimen de compresión Oeste-Este. Esta causa fallas inversas en caso de compresión (s_1 horizontal), como es el caso del denominado sistema Valle de Cura (capítulos 2.3, 4) en las partes basales de la cadena montañosa. Por otro lado, puede haber casos de distensión en la parte alta de la cordillera con un s_1 vertical que causa fallas normales, como los sistemas de San Lorenzo y Sarmiento (capítulos 2.3, 4).

Durante la campaña 2013/14 se pudo determinar el esfuerzo en 8 profundidades del sondeo P02. Como resultado del análisis realizado se puede especificar una orientación de esfuerzo horizontal mayor s_H , casi Este-Oeste ($s_H=91^\circ$ y $s_h=359^\circ$). La relación entre el esfuerzo horizontal y vertical resultó de $s_H/s_z= 1.3-1.4$ y de $s_h/s_z= 0.6-0.8$. [7]

6.2 Sismicidad

La subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana provoca una fuerte actividad sísmica, entre otras, en las provincias argentinas de Cuyo, Mendoza, San Juan y La Rioja y en las regiones chilenas adyacentes III, IV, V y RM, que superaron varias veces la fuerza 7,5 de la escala de Richter. Las más fuertes ocurrieron en Chile entre Copiapó y Valparaíso, y con un menor grado de intensidad entre Niquivil (Jachal) y Albardon/San Juan. En [3] se puede encontrar una explicación detallada de la situación tectogeosísmica, así como una lista detallada de los terremotos más fuertes de los últimos siglos en esta zona. El autor vivió el terremoto con una fuerza de 8,8 el 27.10.2010 en la región de Maule, que causó a cientos kms de distancia, en la zona de Agua Negra, derrumbes de rocas sobre la ruta entre Rodeo y la Serena.

6.3 Estimación para el diseño

En base a la buena geología esperada (ver capítulos 3, 4, 5 y 8) y las pequeñas diferencias que existen entre la tensión horizontal y vertical (ver [7]), no se espera un impacto importante en la construcción de túneles teniendo en cuenta el conocimiento actual del tipo de roca. Estallido de roca es posible (ver 8).

Para las cavernas se esperan las siguientes tensiones:

- Tensión vertical: aprox. 45 MPa
- Tensión máxima: aprox 55 MPa, en dirección OSO-ENE
- Tensión mínima: aprox. 45 MPa, en dirección NNO-SSE

7. HIDROGEOLOGÍA

7.1 Introducción

En este punto, se hace referencia a la descripción detallada en el Capítulo 7 de la IB del TAN [6], donde se realiza un resumen de los temas más importantes.

Durante la campaña anterior se tomaron muestras de manantiales, ríos y perforaciones que fueron analizadas en laboratorio. Se realizó un análisis sobre hidrografía, hidrología, hidroquímica, elaborando un modelo hidrogeológico y geotérmico donde se calcularon las infiltraciones estimadas al túnel inicial, transitoria y estacionario [3][4][5][6]. No hay información sobre una campaña de mediciones mensuales, como es usual en proyectos de gran envergadura como es el TAN.

7.2 Hidroquímica

Los análisis de las muestras de manantiales y ríos indican como aguas dominantes en toda la zona Agua Negra (con mayor concentración de cationes y aniones en orden descendente, en donde las concentraciones en %meq/l superan el 20%) las siguientes [6]:

- 1) Ca-Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃-SO₄ a Ca-Na-HCO₃-SO₄, en general con mineralización baja a media (<250 μ S/cm) y un contenido significativo de Mg (10–20 %meq/l) y Cl (5–15 %meq/l).
- 2) Ca-HCO₃ a Ca-HCO₃-SO₄ o Ca-SO₄-HCO₃, generalmente con mineralización baja a moderada, (<250 μ S/cm) y cantidades significativas de Na (10–20 %meq/l) y Cl (5–15 %meq/l).
- 3) Ca-SO₄, Na-HCO₃-SO₄ a Ca-Mg-SO₄, con mineralización moderadamente elevada (500–1850 μ S/cm) y cantidades significativas de Na (5 – 10 %meq/l).

La comparación de las aguas de manantiales y ríos con las aguas subterráneas de los sondeos muestra fuentes geoquímicas similares a los distintos tipos de agua. Sin embargo, las muestras de agua subterráneas contienen una mayor mineralización (más desarrolladas) que aquellas encontradas en los arroyos y manantiales por tener un mayor tiempo de retención, y que no están circulando rápidamente o siendo rejuvenecidas en gran relación.

Para la zona del proyecto se estimó agua con iones Na-Ca-Mg-HCO₃ [6].

7.3 Geotermia

Para la IB, se diseñó un modelo geotérmico detallado, que fue confirmado por el P02 [6], [7]. Se espera que la temperatura en el área del proyecto a la profundidad del laboratorio esté entre 50° y 60° C, lo que impone exigencias especiales en la ventilación y el enfriamiento, así como en el enfriamiento del hormigón proyectado para evitar daños. Debido a temperaturas tan altas, se debe prestar atención especial a la seguridad y la salud de los trabajadores.

7.4 Estimación de infiltraciones en los túneles

Con los parámetros hidráulicos de permeabilidad o conductividad del macizo rocoso (controlada por las discontinuidades en el macizo rocoso y su interconexión), la presión hidrostática (dependiendo de la altura de la napa freática sobre el túnel) y el índice de recarga hidráulica de los acuíferos, se estimó la infiltración de agua subterránea en túneles durante las 3 fases (inicial, transitoria y estado estacionario) para la IB del TAN. Para la zona donde se realizaría la construcción del laboratorio se estimó una afluencia inicial de 0,1-0,6 l/s*10m y en caso de fallas 50-100 l/s*10 m [6]. En el primer caso el flujo de agua va a disminuir rápidamente hasta casi desaparecer en estado estacionario. En el caso de fallas se espera una persistencia larga del agua que fluye, y puede llegar a encontrarse situaciones en las cuales la afluencia permanente sea más de 10 l/s.

7.5 Agresividad al hormigón

Sobre la base de la información actual, no es posible mencionar algún tipo de agresividad del agua de infiltración al hormigón en el área del laboratorio, siendo esto una posibilidad. Por lo tanto, se recomienda realizar los análisis correspondientes durante los sondeos previstos, desde la obra del TAN.

9. COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO

El próximo paso del diseño geotécnico según NATM [8] incluye y abarca la evaluación de los comportamientos potenciales de los macizos, considerando cada “Tipo de Macizo Rocoso” y los “factores locales de influencia” que actúan sobre él, incluyendo entre éstos la orientación relativa de discontinuidades relevantes a la excavación, condiciones del agua subterránea y el régimen de tensión primaria del macizo respecto de la geometría particular de excavación de cada sección transversal del túnel.

El comportamiento del macizo fue evaluado para la traza completa, no considerándose por el momento factores como el método de excavación, la secuencia de perforación y el sostenimiento u otras medidas auxiliares, los que serán determinados en la Ingeniería Básica.

Basado en las recomendaciones del Grupo de Trabajo “Túnel Convencional” de la Sociedad Austriaca de Geomecánica [8], son necesarias las siguientes informaciones para establecer los “Tipos de Comportamiento de Macizo Rocoso” (TCMR, por sus siglas en inglés, Rock Behaviour Types) para los que las antes citadas recomendaciones propone 11 tipos básicos (véase Tabla 10).

Tipos de macizo rocoso (TMR), y la influencia de, al menos, los siguientes factores:

- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de discontinuidades
- Tensiones primarias en el macizo
- Tamaño, forma, emplazamiento del túnel y método constructivo del túnel

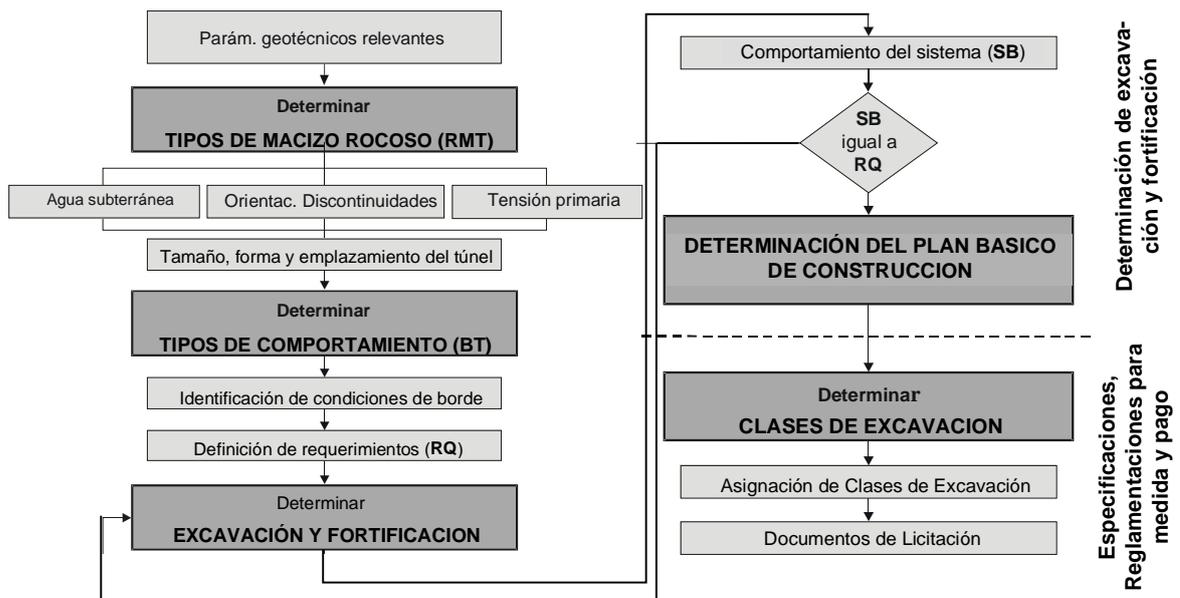


Ilustración 3: Diagrama de Flujo descriptivo del Diseño geomecánico (RMT = TMR, BT = TCMR).

Considerando los comentarios antes citados, los tipos de comportamientos más característicos se pueden ordenar en los tipos mencionados en Tabla 10. Estos tipos (siempre tomados como base para el diseño geomecánico de túneles de gran longitud) pueden y tienen que ser subdivididos en subtipos, lo que será posible a medida que se va adquiriendo mayor conocimiento sobre las rocas y su comportamiento, conforme sea el avance en los estudios geológicos y el propio diseño del túnel.

Tipo de Comportamiento de Macizo Rocoso (TCMR)		Descripción del modo / mecanismo potencial de falla durante la excavación no fortificado
1	Estable	Macizo estable, con potencial de caída de pequeños bloques locales por acción de la gravedad o por deslizamientos de cuñas
2	Estable con potencial de caída de bloques controlados por discontinuidades	Caída y deslizamiento de bloques y cuñas por efecto de discontinuidades de profundidad importante, con fallas por corte del macizo ocasionales
3	Falla por corte poco profunda	Fallas por corte del macizo poco profundas, combinadas a grandes deformaciones
4	Falla por corte profunda	Fallas por corte del macizo profundas, asociadas a grandes deformaciones
5	Estallido de roca	Falla repentina y violenta del macizo, ocasionada por rocas muy frágiles sometidas a elevadas presiones y la repentina relajación de energía acumulada
6	Falla por pandeo	Pandeo del macizo constituido por rocas con familias de discontinuidades de espaciamiento reducido, frecuentemente asociado con fallas por corte
7	Falla por corte con baja presión de confinamiento	Sobre excavaciones potenciales y fallas progresivas por corte del macizo, con desarrollo de fallas del tipo chimeneas, causadas preponderantemente por una falta de presión lateral de confinamiento
8	Subsuelo que se desgrana	Flujo de roca intensamente fracturada o suelos sin cohesión, secos o húmedos
9	Subsuelo que fluye	Flujo de roca intensamente fracturada o suelos con alto contenido de agua
10	Expansión del subsuelo	Incremento del volumen del macizo diferido en el tiempo, causado por reacciones fisicoquímicas de la roca con agua, en combinación con relajación de tensión, tendiendo a la deformación de la cavidad hacia su interior
11	Macizo heterogéneo, con características de deformación muy cambiantes	Rápidas variaciones de tensión y deformación, causadas por una configuración de macizo del tipo "bloque dentro de matriz" aplicable a zonas de falla geológica frágiles

Tabla 10: Tipos de comportamiento típicos predefinidos por la recomendación austríaca [8]

En el presente proyecto del "Laboratorio Andes" se esperan en su mayoría un TCMR 1 (estable) y un TCMR 2 (Estable con potencial de caída de bloques) y también subordinado un TCMR 3 (Falla por corte poco profunda), el último en zonas falladas o con fuerte fracturamiento. TCMR 5 (Estallido de roca) es posible si se encuentra roca poca fracturada por la gran cobertura que puede ocurrir en todas las obras, que requiere las medidas de protección para este caso en cada avance. Se elaboró

una estimación de distribuciones de TCMR para cada obra, ver Tabla 11. La estimación más favorable, en comparación a la IB del TAN, que pronostica solo un TCMR 3 (y posiblemente 5) en esta zona del TAN, está basando en la nueva información del P02. En esta perforación se ve roca muy buena y estable (aparte de las zonas más fracturadas por la influencia de la falla de San Lorenzo, que no se estima en gran volumen en la zona de este proyecto).

Obra	TCMR1 (%)	TCMR2 (%)	TCMR3 (%)	TCMR5
TAN – Túnel Norte		70	30	posible
Galería de Ventilación/Central de Ventilación Oeste incluyendo Escalera y Salida Laboratorio	20	60	20	posible
TAN – Túnel Sur		70	30	posible
Galería de interconexión (oeste)	20	60	20	posible
Canal de ventilación (este)	20	60	20	posible
Acceso al laboratorio (oeste)		70	30	posible
Salida (este)		70	30	posible
Zona de tránsito y estacionamiento		70	30	posible
Sala de emergencia, comedor, oficina	60	40	posible	posible
Túnel de conexión central		70	30	posible
Galería de escape (dirección N-S)	20	60	20	posible
Galería de escape (dirección E-O)	20	60	20	posible
Acceso al fondo del pozo principal		70	30	posible
Pozo principal		70	30	posible
Caverna secundaria		70	30	posible
Caverna principal		70	30	posible
Salas limpias	60	40	posible	posible
Laboratorio biología	60	40	posible	posible
Sala experimental adicional	60	40	posible	posible
Deposito (A)	60	40	posible	posible
Sala compresor (C)	60	40	posible	posible
Túnel de acceso (F) (Sector geofísica)		70	30	posible
Sala de instrumentos (D)	60	40	posible	posible
Sala de instrumentos SG (E)	60	40	posible	posible
Sala para otros experimentos (G)	60	40	posible	posible
Sala para sensores de largo periodo (H)		60	40	posible
Sector para extensómetros y clinómetros (J)		60	40	posible

Tabla 11: Tipos de comportamiento típicos para cada obra

En este proyecto se esperan en su mayoría un TCMR 2 (Estable con potencial de caída de bloques) y TCMR 3 (Falla por corte poco profunda), el último en zonas falladas o con fuerte fracturamiento.

TCMR 5 (Estallido de roca) es posible si se encuentra roca poca fracturada por la gran cobertura. La estimación más favorable, en comparación a la IB del TAN, que pronostica solo un TCMR 3 (y posiblemente 5) en esta zona del TAN, está basando en la nueva información del P02. En esta perforación se ve roca muy buena y estable (aparte de las zonas poco más fracturadas por la influencia de la falla de San Lorenzo, que no se estima en gran volumen en la zona de este proyecto).

10. TEMAS ESPECIALES

10.1 Abrasividad

La abrasividad de las rocas es un factor importante con relación a la eficacia y el desgaste de las herramientas seleccionadas para la excavación de los túneles y del pozo del laboratorio. La siguiente tabla presenta los resultados del parámetro CAI (índice de Cerchar) [13] y el potencial de desgaste de las herramientas.

Índice de Cerchar (CAI)	Clasificación de abrasividad	Potencial de desgaste
0 – 0,3	no abrasivo	muy bajo
0,3 – 0,5	muy poco abrasivo	bajo
0,5 -1,0	poco abrasivo	intermedio
1,0 – 2,0	abrasivo	alto
2,0 – 4,0	muy abrasivo	muy alto
4,0 – 6,0	extremadamente abrasivo	extremadamente alto

Tabla 12: Clasificación de Abrasividad.

Por la cantidad de cuarzo se puede considerar para todo el largo de las excavaciones la predominancia de una abrasividad **muy alta** (en Riolitas, Andesitas y Dacitas: CAI 3,5-4,0), que se puede extender a extremadamente alto en caso de rocas muy ricas de cuarzo.

11. SUGERENCIAS

Como se describió anteriormente, falta información básica para un pronóstico geológico detallado, necesaria para proyectos de gran envergadura. La información se basa totalmente en interpolaciones de los afloramientos y perforaciones más cercanas, lo cual representa el escenario más concluyente para los autores en base a su conocimiento de la geología de la zona.

Por lo tanto, se propone llevar a cabo las siguientes medidas antes de la construcción de las respectivas estructuras subterráneas:

- Perforaciones horizontales con ensayos in-situ y laboratorio (equivalente a los sondeos del TAN) en el eje de los túneles principales desde el túnel de ventilación (que se anticipa a los tubos principales) en dirección perpendicular. En caso de que la geología en la zona de implementación del laboratorio no sea favorable se puede modificar el sitio de instalación. También se puede volver a realizar el diseño del sostenimiento según los nuevos parámetros geotécnicos obtenidos en los ensayos.
- Perforaciones para cada caverna de laboratorio, especialmente para las cavernas más grande y su posible reubicación.
- Cuantificación propuesta para perforaciones y ensayos In-Situ (ver Anexo 2):

Nr° Perf.	Inclinación [° de la horizontal]	Longitud [m]	Observaciones	Ensayos In-Situ (cuantificación)
P1	0	590		O/A, C, G, BA; D (5)
P2	0	370		O/A, C, G, BA; D (4)
P3	+27	40		O/A, C, G, BA; D (2)
P4	+35	50		O/A, C, G, BA; D (2)
P5	-8	120		O/A, C, G, BA; D (3)
P6	0	30	eventual	O/A, C, G, BA
P7	0	30	eventual	O/A, C, G, BA
P8	0	20	eventual	O/A, C, G, BA
P9	0	15	eventual	O/A, C, G, BA
P10	0	15	eventual	O/A, C, G, BA
P11	0	15	eventual	O/A, C, G, BA
P12	0	10	eventual	O/A, C, G, BA
P13	0	60	eventual	O/A, C, G, BA; D (2)
P14	0	60	eventual	O/A, C, G, BA; D (2)
P15	0	30	eventual	O/A, C, G, BA
P16	0	30	eventual	O/A, C, G, BA
P17	0	70	eventual	O/A, C, G, BA

Tabla 13: Perforaciones y ensayos In-situ: O/A...optical/acustical log, C...Cáliper, G...Gama natural, BA...borehole alignment, D...Dilatómetro

- Los ensayos optical/acustical log, Cáliper, Gama natural, borehole alignment se efectúan en todo lo largo de las perforaciones, los ensayos Dilatómeter se ejecuten en lugares elegidos por geólogos
- En caso de que se deba reubicar el laboratorio entero o algunas partes del laboratorio se deberá repetir la perforación correspondiente en la nueva ubicación.

12. BIBLIOGRAFÍA

12.1 Literatura

- [1] Streckeisen, A. L. (1978): IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitite Rocks. Recommendations and Suggestions. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, Vol. 141, 1-14.
- [2] <http://www.andeslab.org/>

12.2 Estudios anteriores

- [3] GEOCONSULT & D.&A. CONSULTORA (2008): Informe definitivo del estudio topográfico preliminar y desarrollo de mapeo geológico-geotécnico e hidrogeológico para posible ubicación túnel internacional Ruta Nacional 150 – Departamento Iglesia, Provincia de San Juan
- [4] GEOCONSULT & D.&A. CONSULTORA (2009): Informe fáctico correspondiente al “Servicio de supervisión de obra para el estudio geológico-geotécnico e hidrogeológico de profundidad mediante perforaciones y ensayos para el proyecto del túnel de Agua Negra, fase I y II, departamento Iglesia, Provincia de San Juan”
- [5] GEOCONSULT & D.&A. CONSULTORA (2010): Informe final de terreno correspondiente al “Servicio de supervisión de obra para el estudio geológico-geotécnico e hidrogeológico de profundidad mediante perforaciones y ensayos para el proyecto del túnel de Agua Negra, fase I y II, departamento Iglesia, Provincia de San Juan”
- [6] GEOCONSULT & BUREAU (2011): Proyecto de ingeniería básica y ejecución de galería de exploración del túnel de Agua Negra y sus accesos Quebrada de San Lorenzo – Llanos de las Liebres – San Juan (República Argentina) – Elqui (República de Chile) - Informe interpretativo de Geología previo a la etapa III de exploración
- [7] LOMBARDI (2015): Túnel Agua Negra – Ingeniería Básica de Anteproyecto – Interpretación Datos geológicos y geotécnicos campaña 2013/2014

12.3 Normas y recomendaciones

- [8] AUSTRIAN SOCIETY OF GEOMECHANICS (2009): Recomendación Austríaca para el diseño geotécnico de obras subterráneas de excavación cíclica (convencional) emitido por la Asociación Austríaca de Geomecánica (ÖGG-Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagearbeiten mit zyklischem Vortrieb)
- [9] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2001): ÖNORM B2203-1 Untertagebauarbeiten - Werkvertragsnorm – Teil 1: Zyklischer Vortrieb, 2001 (Norma Austríaca (ÖNORM) B2203-1 Obras subterráneas – Parte 1: Excavación cíclica, Año 2001)
- [10] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2005): ÖNORM B2203-2 Untertagebauarbeiten - Werkvertragsnorm – Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb, 2005 (Norma Austríaca (ÖNORM) B2203-2 Obras subterráneas – Parte 2: Excavación continua o mecanizada, Año 2005)
- [11] AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2004): RN-ISO 14689-1 Geotechnical Investigation and testing – Identification and classification of rock – Part1: Identification and description
- [12] HOEK E., MARINOS V., MARINOS P. (2005): The geological strength index: applications and limitations; Springer Verlag

- [13] CERCHAR – CENTRE D' ETUDES ET RECHERCHES DE CHARBONN AGES DE FRANCE (1986): The Cerchar Abrasivness Index; Verneuil
- [14] BIENIAWSKI, Z.T. (1988): The Rock Mass Rating (RMR) System (Geomechanics Classification) in Engineering Practices. In: Rock Classification Systems for Engineering Purposes. 17–34. Philadelphia, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials

Pfunds(A)/Salzburg(A), Espartinas (ES),

Stefan Molterer

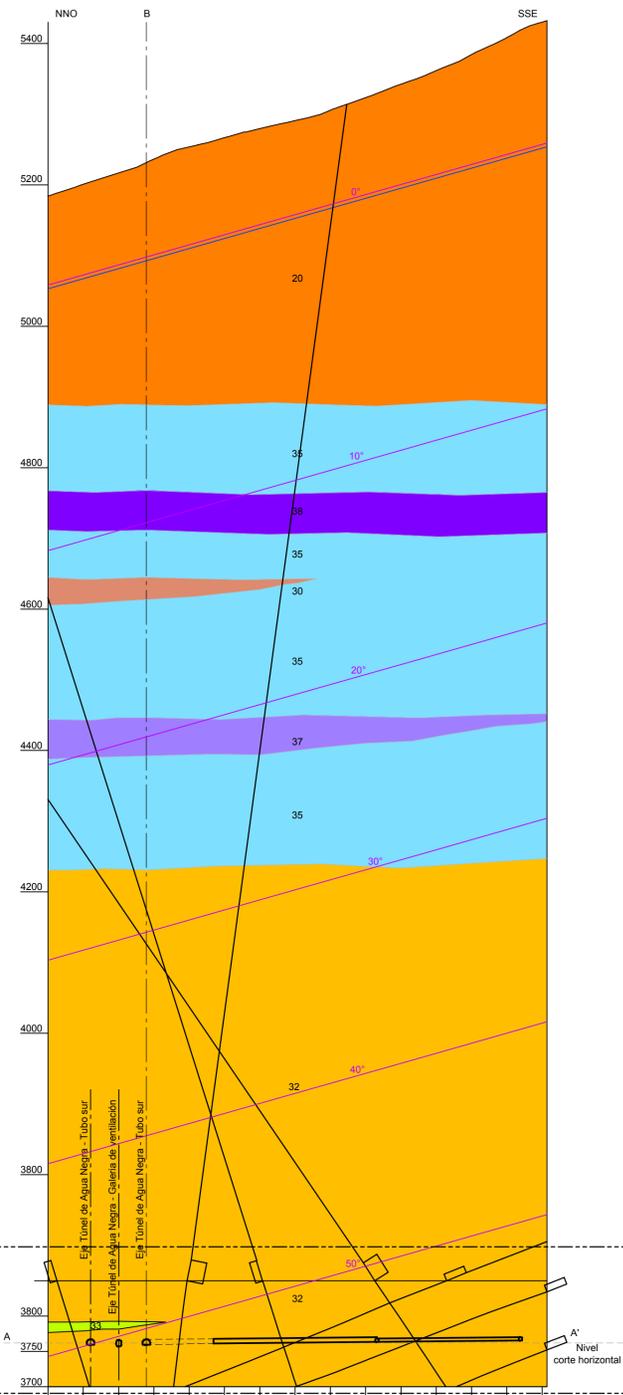
Giorgio Höfer-Öllinger

ANEXO 1

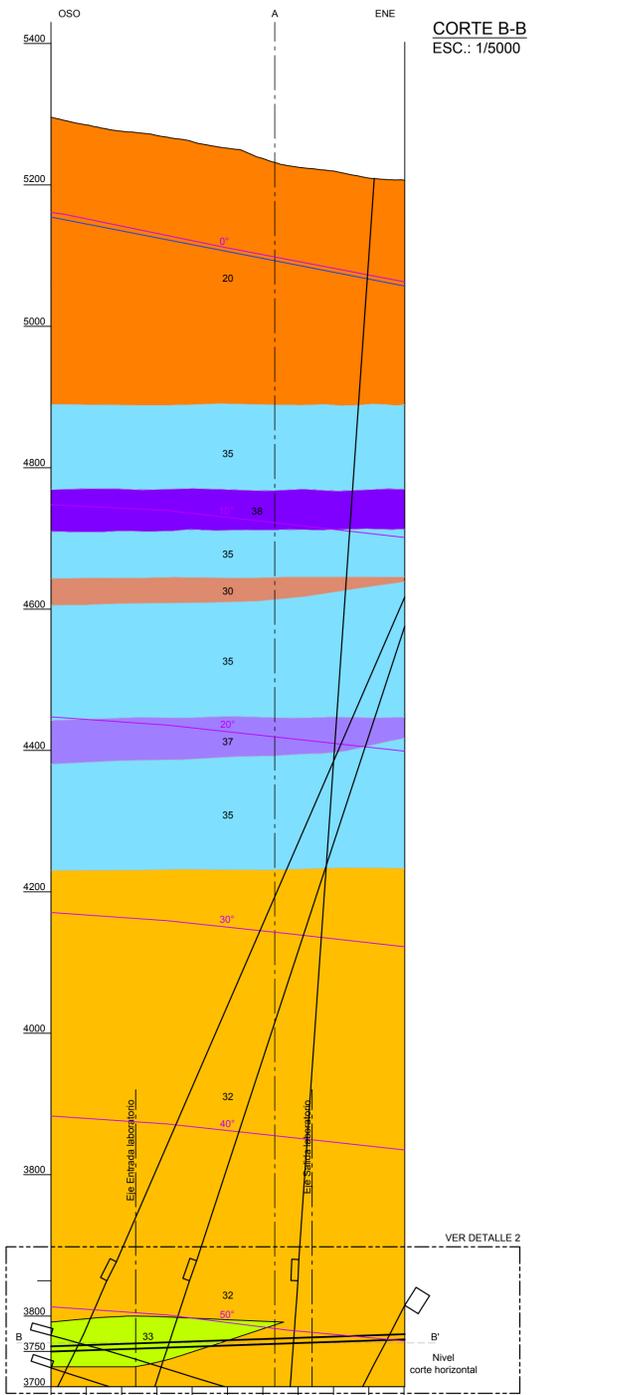
Perfiles geológicos y corte horizontal

[Plano 6198.1-P-050-Perfil geológico y geotécnico]

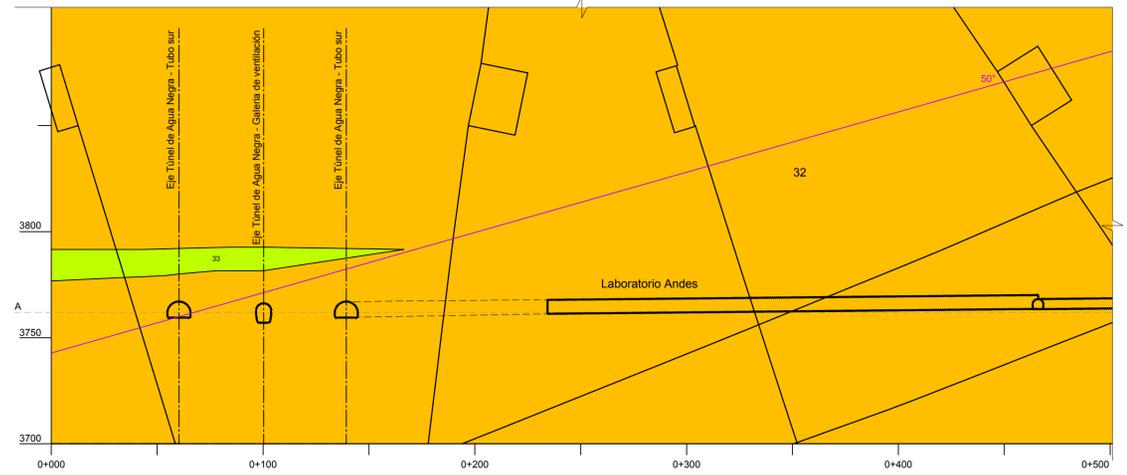
CORTE A-A
ESC.: 1/5000



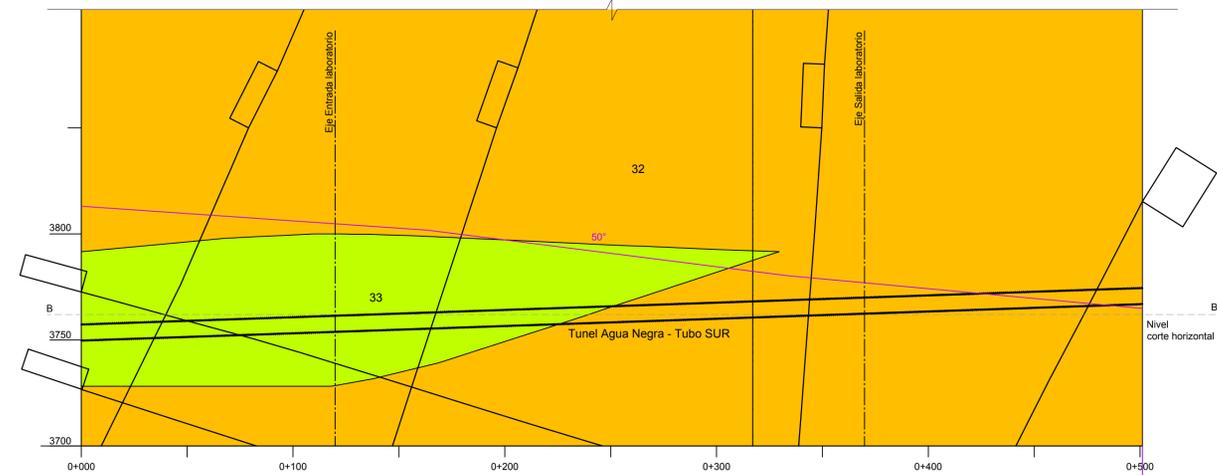
CORTE B-B
ESC.: 1/5000



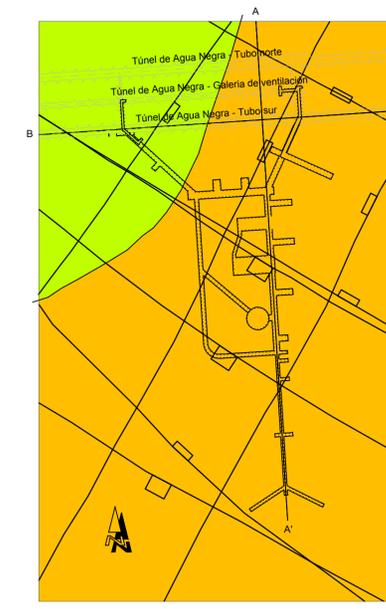
DETALLE 1
ESC.: 1/15000



DETALLE 2
ESC.: 1/15000



CORTE HORIZONTAL EN 3.762m DE ALTURA
ESC.: 1/5000



Leyenda:

- Terciario
 - Formación Dona Ana
- Permotriásico
 - Riolita ignimbrítica
 - Riolita porfírica
 - Brecha volcánica y tobáceo
 - Andesita porfírica
 - Basalto
 - Dacita
- Fallas
- Isotermas

geología elaborada por



GEOMETRÍA	PROGRESIVA [m]	1640	1765	1840
	PENDIENTE [%]	3.43%	3.25%	3.98%
SEGURIDAD DE PROGNOSIS	COBERTURA [m]	ALTA	MODERADA	BAJA
	UNIDAD TECTÓNICA [-]	GRUPO CHOIYOI		
GEOLOGÍA	ZONA GEOTÉCNICA [-]	ZG 6 (IB-TAN)		
	TIPO DE ROCAS [-]	RIOLITA PORFÍRICA		
	ORIENTACIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN [-]	ESTRATIFICACIÓN EN GENERAL SUBHORIZONTAL		
	RUMBO DE LA DIACLASA PRINCIPAL AL EJE DEL TÚNEL [°]	30-60° (ESTIMADO)		
	POSIBLES FALLAS [-] (TIPOS SEGÚN INGENIERÍA BÁSICA TAN)	1-2 TIPO SAN LORENZO (1-5m) / 1-2 TIPO SARMIENTO (1-5m) / 1-2 TIPO VALLE DE CURA (<1m)		
	SEPARACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES [m]	>0.6m 0.2-0.6m <0.2m		
	SENSIBILIDAD AL AGUA [-]	SIN MEDIO FUERTE		
	ABRASIVIDAD [CAI]	3.98		
	PRESIÓN HIDROSTÁTICA MAX. TEORETICA [bar]	149-169		
	AFLUENCIA DE AGUA DE MACIZO INICIAL ESTIMATIVO [l/s/10m]	0.1-0.6 (fallas 50-100)		
TIPO DE QUIMISMO [-]	TDS 0.5-1.0 gl, Na-Ca-Mg-HCO3			
PARÁMETROS ROCA CARACTERIZACIÓN MACIZO ROCOSO	UCS [MPa]	100		
	GSi [MPa]	50-70 (fallas 15-20)		
	TIPOS DE MACIZO ROCOSO (TMR)	TMR 2a (70%), TMR 2b (20%), TMR 7/8 (10%)		
	TIPOS DE COMPOR. TAMIENTO DE MACIZO ROCOSO (TCMR)	TCMR 2 (70%) TCMR 3 (30%) TCMR 5 (POSIBLE)		
	BIENAVSKI (1989)	I (100:RMR>81) II (80:RMR>61) III (60:RMR>41) IV (40:RMR>21) V (20:RMR>0)		
	PRINCIPAL	PRINCIPAL		
	SUBORDENADO	SUBORDENADO		
	OBSERVACIONES			

GEOMETRÍA	PROGRESIVA [m]	1745	1685	1640
	PENDIENTE [%]	3.43%	3.25%	3.98%
SEGURIDAD DE PROGNOSIS	COBERTURA [m]	ALTA	MODERADA	BAJA
	UNIDAD TECTÓNICA [-]	GRUPO CHOIYOI		
GEOLOGÍA	ZONA GEOTÉCNICA [-]	ZG 6 (IB-TAN)		
	TIPO DE ROCAS [-]	DACITA / RIOLITA PORFÍRICA		
	ORIENTACIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN [-]	ESTRATIFICACIÓN EN GENERAL SUBHORIZONTAL		
	RUMBO DE LA DIACLASA PRINCIPAL AL EJE DEL TÚNEL [°]	40-70° (ESTIMADO)		
	POSIBLES FALLAS [-] (TIPOS SEGÚN INGENIERÍA BÁSICA TAN)	0.5-1 TIPO SAN LORENZO (1-5m) / 0.5-1 TIPO SARMIENTO (1-5m) / 0-1 TIPO VALLE DE CURA (<1m)		
	SEPARACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES [m]	>0.6m 0.2-0.6m <0.2m		
	SENSIBILIDAD AL AGUA [-]	SIN MEDIO FUERTE		
	ABRASIVIDAD [CAI]	3.98		
	PRESIÓN HIDROSTÁTICA MAX. TEORETICA [bar]	149-160		
	AFLUENCIA DE AGUA DE MACIZO INICIAL ESTIMATIVO [l/s/10m]	0.1-0.6 (fallas 50-100)		
TIPO DE QUIMISMO [-]	TDS 0.5-1.0 gl, Na-Ca-Mg-HCO3			
PARÁMETROS ROCA CARACTERIZACIÓN MACIZO ROCOSO	UCS [MPa]	80		
	GSi [MPa]	50-70 (fallas 15-20)		
	TIPOS DE MACIZO ROCOSO (TMR)	TMR 2a (70%), TMR 2b (20%), TMR 7/8 (10%)		
	TIPOS DE COMPOR. TAMIENTO DE MACIZO ROCOSO (TCMR)	TCMR 2 (70%) TCMR 3 (30%) TCMR 5 (POSIBLE)		
	BIENAVSKI (1989)	I (100:RMR>81) II (80:RMR>61) III (60:RMR>41) IV (40:RMR>21) V (20:RMR>0)		
	PRINCIPAL	PRINCIPAL		
	SUBORDENADO	SUBORDENADO		
	OBSERVACIONES			

CLAF Centro Latinoamericano de Física Rio de Janeiro, Brasil	Lombardi			
LABORATORIO SUBTERRÁNEO ANDES				
INGENIERÍA BÁSICA DE ANTEPROYECTO				
Perfil geológico y geotécnico				
Cortes y detalles				
FECHA	DIBUJADO	CONTROLADO	APROBADO	6198.1-P-050
15.05.2019	Molterer	Höfer-Ollinger	...	
Formato:	84x60	Escala:	1:5000	

ANEXO 2

Perforaciones propuestas

ANEXO 2: Perforaciones propuestas

